

**PENGARUH AIR LAUT TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON DAN  
SIFAT FISIK BETON**

**(Skripsi)**

**Oleh :**

**DONI IRAWAN  
1915011010**



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

## **ABSTRACT**

### **THE INFLUENCE OF SEAWATER ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE AND THE PHYSICAL PROPERTIES OF CONCRETE**

**By**

**DONI IRAWAN**

*Concrete is one of the most commonly used building materials in infrastructure, including buildings in marine environments. This research aims to provide an overview of the influence of sea water on the mechanical properties of concrete and the physical properties of concrete. The research was carried out experimentally using the mix design method SNI 03 – 2834 – 2000. The mechanical properties tested were compressive strength, split tensile strength and the physical properties tested were concrete permeability. Three methods are used to determine the permeability of concrete, namely the DIN EN12390-8:2009-07 standard method, the natural method and the Gound Penetrating Radar (GPR). The total number of test objects was 42 samples, each test used 3 samples. The concrete is given a protected treatment and submerged in sea water. The results of research on the compressive strength of protected concrete aged 28, 56 and 90 days were respectively 22, 56 MPa, 24.35 MPa and 25.84 MPa, while submerged in sea water were respectively 22.27 MPa, 17.67 MPa and 16.10 MPa. Tests for split tensile strength of protected concrete at 28, 56 and 90 days were respectively 6.80 MPa, 7.22 MPa and 8.05 MPa, for concrete submerged in sea water respectively 8.89 MPa, 7.65 MPa and 7.23 MPa. The results of concrete permeability testing using the DIN EN12390-8:2009-07 standard method showed a permeability of 26.57 mm. This shows the concrete is watertight for strong aggressive environments. The permeability of concrete using the natural method at 28, 56 and 90 days was 27.7 mm, 35.0 mm and 40.7 mm, respectively. GPR results show that concrete submerged in sea water produces increasingly weakened amplitude values. This indicates that sea water penetration is increasing and the concrete is experiencing strength degradation. Sea water can reduce the compressive strength of concrete based on the soaking time.*

*Keywords: compressive strength, concrete, permeability, seawater, tensile strength,*

## **ABSTRAK**

### **PENGARUH AIR LAUT TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON DAN SIFAT FISIK BETON**

**Oleh**

**DONI IRAWAN**

Beton adalah salah satu bahan bangunan yang paling umum digunakan dalam infrastruktur termasuk bangunan yang ada dalam lingkungan laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gambaran mengenai pengaruh air laut terhadap sifat mekanik beton dan sifat fisik beton. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan metode mix design SNI 03 – 2834 – 2000. Sifat mekanik yang diuji adalah kuat tekan, kuat tarik belah dan sifat fisik yang diuji adalah permeabilitas beton. Digunakan 3 metode untuk mengetahui permeabilitas beton yaitu metode standar DIN EN12390-8:2009-07, metode alami dan metode *Gound Penetrating Radar* (GPR). Jumlah semua benda uji sebanyak 42 sampel, setiap pengujian menggunakan 3 sampel. Beton diberikan perlakuan terlindung dan terendam air laut. Hasil penelitian kuat tekan beton terlindung umur 28, 56 dan 90 hari berturut – turut sebesar 22, 56 MPa, 24,35 MPa dan 25,84 MPa, sedangkan terendam air laut berturut -turut sebesar 22,27 MPa, 17,67 MPa dan 16,10 MPa. Pengujian kuat tarik belah beton terlindung pada umur 28, 56 dan 90 hari berturut – turut sebesar 6,80 MPa, 7,22 MPa dan 8,05 MPa, untuk beton terendam air laut berturut – turut sebesar 8,89 MPa, 7,65 MPa dan 7,23 MPa. Hasil pengujian permeabilitas beton metode standar DIN EN12390-8:2009-07 diperoleh permeabilitas sebesar 26,57 mm. Hal ini menunjukkan beton kedap air untuk lingkungan agresif kuat. Permeabilitas beton menggunakan metode alami pada umur 28, 56 dan 90 hari berturut – turut sebesar 27,7 mm, 35,0 mm dan 40,7 mm. Hasil GPR menunjukkan beton terendam air laut menghasilkan nilai amplitudo yang semakin melemah. Hal ini mengindikasikan penetrasi air laut yang semakin besar dan beton mengalami degedrasi kekuatan. Air laut dapat menurunkan kuat tekan beton berdasarkan lama perendaman.

Kata kunci : air laut, beton, kuat tarik belah, kuat tekan, permeabilitas

**PENGARUH AIR LAUT TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON DAN  
SIFAT FISIK BETON**

Oleh

**DONI IRAWAN**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar  
**SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

Judul Skripsi : **PENGARUH AIR LAUT TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON DAN SIFAT FISIK BETON**

Nama Mahasiswa : **Doni Irawan**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915011010

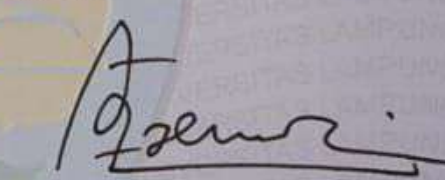
Program Studi : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

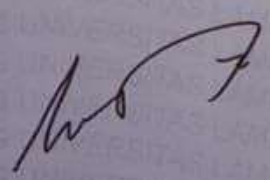
**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

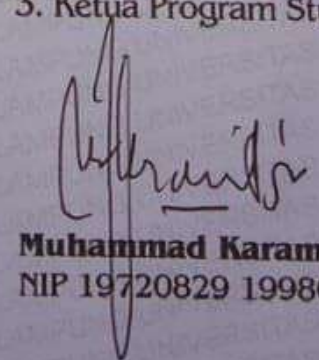
  
**Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U, M.T.**  
NIP 19580613 198403 2 003

  
**Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.**  
NIP 19580613 198403 2 003

**2. Ketua Jurusan Teknik Sipil**

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

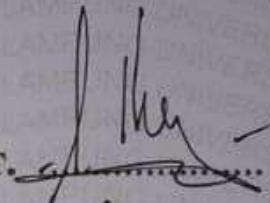
**3. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil**

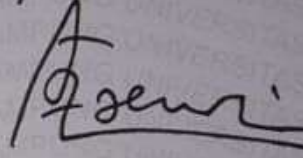
  
**Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19720829 199802 1 001

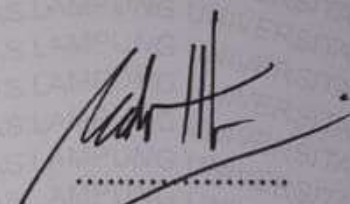


## MENGESAHKAN


### 1. Tim Penguji

Ketua : **Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U, M.T.** 

Sekretaris : **Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.** 

Penguji  
Bukan Pembimbing : **Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.** 

### 2. Dekan Fakultas Teknik

  
**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.** }  
NIP 19750928/200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **11 Desember 2023**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Doni Irawan  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1915011010  
Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul "*PENGARUH AIR LAUT TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON DAN SIFAT FISIK BETON*" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka. Ide penelitian didapatkan dari pembimbing I, oleh karena itu baik atas data penelitian berada pada Saya dan Pembimbing I, Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U. M.T.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 11 Desember 2023

Penulis



**DONI IRAWAN**  
**NPM. 1915011010**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Braja Caka, Way Jepara Lampung Timur pada tanggal 08 Oktober 2000, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Putra dari pasangan Bapak Tawirin dan Ibu In Irawati. Penulis memiliki satu orang adik yang bernama Azis Setiawan. Penulis memulai jenjang pendidikan tingkat Taman Kanak - Kanak di TK Pertiwi Braja Caka pada tahun 2006-2007. Kemudian penulis melanjutkan Pendidikan ke Sekolah Dasar di SD N 1 Braja Caka pada tahun 2007-2013. lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMP Negeri 1 Way Jepara yang diselesaikan pada tahun 2016. Setelah tamat SMP penulis melanjutkan Pendidikan tingkat atas di SMA Negeri 1 Way Jepara pada tahun 2016 – 2019. Selama menempuh Pendidikan di SMA penulis aktif mengikuti ekstrakurikuler Olimpiade Matematika.

Pada tahun 2019 penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi seorang mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS UNILA) sebagai anggota Departemen Penelitian dan Pengembangan Periode 2020-2021 dan menjadi Kepala Divisi Penelitian di Departemen Penelitian dan Pengembangan di Periode 2021-2022. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Labuhan Ratu Baru, Kecamatan Way Jepara, Kabupaten Lampung Timur selama 40 hari, Januari – Februari 2022. Di tahun yang sama, tepatnya di bulan Juli sampai Oktober penulis juga telah melakukan Kerja Praktik (KP) di Proyek Pembangunan Gedung Laboratorium Teknik 5.3 Institut Teknologi Sumatera selama 3 bulan.



Selama masa perkuliahan, penulis pernah diangkat menjadi asisten dosen pada mata kuliah Balok Beton Bertulang, Pelat dan Kolom Beton Bertulang, Analisa Statis Tak Tentu, dan Mekanika Bahan. Pada tahun 2023 Penulis mengambil tugas akhir sebagai syarat kelulusan menjadi Sarjana Teknik dengan melakukan penelitian mengenai beton dengan judul “Pengaruh Air Laut Terhadap Sifat Mekanik Beton dan Sifat Fisik Beton”. Penulis melakukan penelitian ini Bersama teman - teman satu tim.

## **MOTTO**

“...Sesudah kesulitan pasti ada kemudahan...”

(QS. Al Insyirah:6)

“Menuntut ilmu adalah takwa. Menyampaikan ilmu adalah ibadah. Mengulang-ulang ilmu adalah zikir. Mencari ilmu adalah jihad.”

(Abu Hamid Al Ghazali)

“Permata tidak dapat dipoles tanpa gesekan. Orang tidak sempurna tanpa cobaan”

(Konfusius)

“Jangan ubah dirimu hanya agar mereka menyukaimu. Hebatkan dirimu agar mau tidak mau mereka harus menerimamu”

(Penulis)

“Berjuanglah terus sampai titik akhir, karena keajaiban Allah pasti akan selalu ada disetiap hari”

(Penulis)

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah, Puji Syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT, atas Anugerah serta Karunia yang selalu diberikan, yang selalu memberikan kekuatan serta menunjukkan jalan terbaik untuk menyelesaikan semua ini.

### **Ku Persembahkan Setulus Hati Kepada:**

Bapak dan Ibu ku Tercinta

Terima kasih atas dukungan dan kasih sayang yang tidak pernah putus untuk anakmu ini. Terima kasih untuk selalu memberikan kepercayaan atas apa yang anakmu lakukan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Semua ini tidak akan terwujud tanpa dukungan dan doa Bapak dan Ibu. Skripsi ini aku persembahkan kepada kalian yang telah melakukan banyak pengorbanan untuk anakmu ini. Panjang umur Bapak dan Ibu, Aamiin.

Adik ku Tersayang

Terima kasih kepada Azis Setiawan yang selalu memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.

Bapak dan Ibu Guru serta Bapak dan Ibu Dosen

Terima kasih atas ilmu yang telah Bapak dan Ibu berikan, semoga jasa Bapak dan

Ibu dapat selalu membawa keberkahan, Aamiin.

Angkatanku 2019 Tercinta yang Sangat Luar Biasa

Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung

Almamater Tercinta Universitas Lampung

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul “Pengaruh Air Laut Terhadap Sifat Mekanik Beton dan Sifat Fisik Beton” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil di Universitas Lampung. terselesaikannya Skripsi ini tentu tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan dalam penyusunan Skripsi ini. Untuk itu, Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. 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, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku ketua Program Studi SI Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Ashruri, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan, masukan, dan motivasi kepada penulis selama perkuliahan.
5. Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U, M.T. selaku pembimbing utama atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran, dan motivasi dalam proses penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T., selaku pembimbing kedua yang selalu memberikan masukan dan saran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Bapak Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D., selaku dosen penguji. Terima kasih untuk masukan dan saran dalam penyempurnaan skripsi ini.

8. Seluruh dosen Program Studi S1 Teknik Sipil atas semua ilmu pengetahuan dan didikannya selama masa perkuliahan.
9. Seluruh staf dan karyawan Program Studi S1 Teknik Sipil atas segala bantuannya dalam hal administrasi.
10. Kedua orang tua Bapak Tawirin dan Ibu Iin Irawati serta adik yang selalu mendoakan, memotivasi, memberikan dukungan dalam semua hal dan selalu memberikan segala hal demi kelancaran dan keberhasilan penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan perkuliahan dengan baik.
11. Patner diskusi penulis, Rika Rizki Yamada Septiyani yang menemani penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dan yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
12. Teman-teman penelitian Aditya Wisnu Nugraha, Anggita Yuliana Lestari, Aji Saputra dan Fatwa Aditya Putra terima kasih atas kebersamaannya, bantuan, dan dukungan selama proses penelitian penulis.
13. Teman-teman seperjuangan SOLID 19. Terima kasih atas empat tahunnya susah senang menjadi mahasiswa Teknik Sipil. Menjadi keluarga selama mengarungi kehidupan kampus dan memberikan banyak pengalaman serta kenangan selama perkuliahan.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, terima kasih atas semua bantuan dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Besar harapan penulis agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya bagi penulis dalam mengembangkan dan mengamalkan ilmu pengetahuan.

Bandar lampung, 11 Desember 2023

Penulis,



Doni Irawan



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>v</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Beton.....	5
2.2 Air Laut.....	14
2.3 Pengaruh Kimia Air Laut terhadap Beton.....	15
2.4 Landasan Teori.....	18
2.5 Penelitian Sebelumnya.....	21
<b>III. MATERIAL DAN PERALATAN</b>	
3.1 Umum.....	30
3.2 Lokasi Penelitian.....	30
3.3 Persiapan Alat.....	30

3.4	Pesiapan Bahan.....	33
3.5	Prosedur Penelitian.....	33
3.6	Analisis Data Hasil Penelitian.....	41
3.7	Diagram Alir Penelitian.....	43

#### **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Umum.....	45
4.2	Hasil Pengujian Material Penyusun Beton.....	46
4.3	Perhitungan <i>Mix Design</i> .....	47
4.4	Keleccakan ( <i>Workability</i> ).....	47
4.5	Berat Volume Beton.....	48
4.6	Kuat Tekan Beton.....	54
4.7	Kuat Tarik Belah Beton.....	59
4.8	Permeabilitas Beton.....	63
4.9	Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton.....	86
4.10	Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton.....	87

#### **V. PENUTUP**

5.1	Kesimpulan.....	89
5.2	Saran.....	91

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1. Pengujian kuat tekan .....	37
Gambar 3.2. Posisi sampel saat pengujian kuat tarik belah .....	38
Gambar 3.3. Alat GPR ( <i>Ground Penetrating Radar</i> ) .....	39
Gambar 3.4. Skema kerja GPR .....	40
Gambar 3.5. Contoh pengujian permeabilitas secara alami .....	40
Gambar 3.6. Alat <i>permeability test</i> .....	41
Gambar 3.7. Diagram alir penelitian.....	43
Gambar 3.8. Diagram alir pengujian sampel .....	44
Gambar 4.1. <i>Outlying</i> berat volume beton terlindung.....	48
Gambar 4.2. <i>Outlying</i> berat volume beton terendam air laut.....	49
Gambar 4.3. Perbandingan berat volume beton terlindung dan berat volume beton terendam air laut terhadap umur beton .....	51
Gambar 4.4. Kondisi benda uji pada umur 28 hari (a) terlindung (b) terendam air laut .....	52
Gambar 4.5. Kondisi benda uji pada umur 56 hari (a) terlindung (b) terendam air laut .....	53
Gambar 4.6. Kondisi benda uji pada umur 90 hari (a) terlindung (b) terendam air laut .....	53
Gambar 4.7. <i>Outlying</i> kuat tekan beton terlindung .....	55
Gambar 4.8. <i>Outlying</i> kuat tekan beton terendam air laut .....	56
Gambar 4.9. Perbandingan kuat tekan beton terlindung dan kuat tekan beton terendam air laut .....	58
Gambar 4.10. <i>Outlying</i> kuat tarik belah beton terlindung.....	60
Gambar 4.11. <i>Outlying</i> kuat tarik belah beton terendam air laut.....	60
Gambar 4.12. Perbandingan kuat tarik belah beton terlindung dan beton terendam air laut berdasarkan umur beton .....	62

Gambar 4.13. <i>Outlying</i> permeabilitas beton terlindung.....	64
Gambar 4.14. Ilustrasi pengukuran penetrasi air pada sampel beton.....	65
Gambar 4.15. Sampel beton yang telah dibelah.....	65
Gambar 4.16. <i>Outlying</i> permeabilitas beton terendam air laut .....	67
Gambar 4.17. Penetrasi air pada benda uji setelah terendam air laut selama 28 hari .....	68
Gambar 4.18. Penetrasi air pada benda uji setelah terendam air laut selama 56 hari .....	69
Gambar 4.19. Penetrasi air pada benda uji setelah terendam air laut selama 90 hari .....	69
Gambar 4.20. Radargram beton terendam air laut umur 28 hari .....	71
Gambar 4.21. Radargram beton terendam air laut umur 56 hari .....	71
Gambar 4.22. Radargram beton terendam air laut umur 90 hari .....	71
Gambar 4.23. Analisis warna amplitudo pada lapisan 1 .....	77
Gambar 4.24. Nilai amplitudo lapisan 1 .....	77
Gambar 4.25. Analisis warna amplitudo lapisan 2 .....	78
Gambar 4.26. Nilai amplitudo lapisan 2 .....	79
Gambar 4.27. Analisis warna amplitudo lapisan 3 .....	79
Gambar 4.28. Nilai amplitudo lapisan 3 .....	80
Gambar 4.29. Analisis warna amplitudo lapisan 4 .....	80
Gambar 4.30. Nilai amplitudo lapisan 4 .....	81
Gambar 4.31. Analisis warna amplitudo lapisan 5 .....	82
Gambar 4.32. Nilai amplitudo lapisan 5 .....	82
Gambar 4.33. Analisis warna amplitudo lapisan 6 .....	83
Gambar 4.34. Nilai amplitudo lapisan 6 .....	84
Gambar 4.35. Hubungan nilai amplitudo setiap lapisan dan lama perendaman beton pada air laut .....	84
Gambar 4.36. Hubungan kuat tekan dan kuat tarik beton.....	86
Gambar 4.36. Hubungan kuat tekan beton dan permeabilitas beton.....	88

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi Oksida Semen Portland .....	10
Tabel 2.2 Komposisi Semen PCC Tiga Roda .....	11
Tabel 2.3 Batas Gradasi Agregat Kasar .....	12
Tabel 2.4 Pembagian Zona Agregat Halus .....	13
Tabel 2.5 Komposisi Air Laut.....	16
Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu Terkait Penelitian Ini .....	21
Tabel 2.7 Penelitian Tedahulu Terkait <i>Mix Design</i> SNI 03-2834-2000 .....	27
Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu Terkait Proses Pengecoran .....	28
Tabel 3.1 Jumlah dan Kode Benda Uji .....	34
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Material Campuran Beton .....	46
Tabel 4.2 Proporsi Komposisi Material Penyusun Beton Per m <sup>3</sup> .....	47
Tabel 4.3 Hasil <i>slump test</i> .....	47
Tabel 4.4 Berat Volume Beton Terlindung.....	49
Tabel 4.5 Berat Volume Beton Terendam Air Laut.....	50
Tabel 4.6 Kuat Tekan Beton Terlindung .....	55
Tabel 4.7 Kuat Tekan Beton Terendam Air Laut .....	57
Tabel 4.8 Kuat Tarik Belah Beton Terlindung .....	61
Tabel 4.9 Kuat Tarik Belah Beton Terendam Air Laut .....	61
Tabel 4.10 Hasil Uji <i>Permeability Test</i> .....	64
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Permeabilitas Beton dengan Metode Kuat Tarik belah .....	67
Tabel 4.12 Analisis Hasil Pengujian GPR Umur 28 Hari.....	74
Tabel 4.13 Analisis Hasil Pengujian GPR Umur 56 Hari.....	75
Tabel 4.14 Analisis Hasil Pengujian GPR Umur 90 Hari.....	76



# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia merupakan negara maritim, dimana Indonesia memiliki kawasan teritorial laut yang sangat luas. Hal ini membuat banyaknya bangunan konstruksi yang berada di perairan laut. Beton adalah salah satu bahan bangunan yang paling umum digunakan dalam infrastruktur dan bangunan. Faktor kunci yang mempengaruhi kualitas beton antara lain kondisi lingkungan di mana ia ditempatkan. Pembangunan struktur dan infrastruktur di sepanjang pantai dan di daerah banjir rob perlu mempertimbangkan pengaruh lingkungan laut pada elemen strukturnya. Beton yang digunakan untuk struktur bangunan dituntut memiliki sifat yang kuat dalam menahan beban atau gaya-gaya bekerja. Selain itu, beton juga harus memiliki durabilitas tinggi agar beton tidak cepat rusak dan dapat bekerja sebagai struktur untuk jangka waktu lama.

Di bidang struktur, durabilitas didefinisikan sebagai kemampuan untuk mempertahankan fungsi, stabilitas, dan estetika akibat paparan lingkungan tanpa menimbulkan biaya perawatan dan perbaikan yang signifikan selama masa layan yang direncanakan (Akmaluddin & Murtiadi, 2018). Durabilitas suatu beton dapat berkurang antara lain disebabkan akibat polusi atmosfer di kota besar, serangan air laut, serangan sulfat, erosi gerakan air atau terbentuknya retak rambut (Murdock, 1991 dalam Indriyanto dkk 2020). Bangunan-bangunan yang menggunakan struktur beton yang berada di lingkungan pantai perlu mendapat perhatian khusus, terutama pada rumah-rumah penduduk, dermaga struktur beton dan bagian pondasi yang terkena pasang-surut air laut warna betonnya berubah menjadi putih. Hal tersebut menunjukkan telah terjadi kerusakan pada beton akibat pengaruh air laut.

Komponen air laut terdiri dari natrium (31%), magnesium (4%), klorida (55%), sulfat (8%), kalium (1%), kalsium (1%), dan sisanya 1% fluorida, bikarbonat, strontium, asam borat, bromida (Anwar dkk., 2019). Merendam atau memaparkan beton ke air laut mempengaruhi kekuatan dan daya tahannya. Air laut memiliki salinitas yang sangat tinggi dan sifat agresif yang memungkinkannya menembus ke dalam pori-pori beton, menyebabkan korosi beton dimana sebagian massa beton hilang, dan tulangan beton secara bertahap terkorosi. Kehilangan atau penurunan kekuatan dan kekakuan beton dapat mempercepat proses korosi beton (Hidayat, 2011).

Air laut dapat mengurangi kuat tekan beton dan menyebabkan kerusakan pada mikrostruktur beton. Beton yang terkonsentrasi air laut yang tinggi dapat mempercepat kerusakan pada beton dan mengurangi kuat tekannya. Kerusakan beton yang terpapar air laut disebabkan karena laut yang mengandung klorida (Tijani dkk, 2015). Garam yang terkandung dalam air laut dapat menyebabkan korosi pada beton. Korosi pada beton dapat menyebabkan kerusakan pada struktur beton, yang dapat mengurangi kekuatan beton secara signifikan. Selain itu, garam juga dapat mempengaruhi reaksi kimia dalam beton, yang dapat mengurangi kekuatan beton secara keseluruhan.

Dengan adanya fenomena ini dan mengingat bahwa banyak sekali konstruksi di Indonesia yang terbuat dari beton yang terpapar oleh air laut, maka diperlukan penelitian yang membahas tentang pengaruh air laut terhadap sifat mekanik beton dan sifat fisik beton.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari uraian latar belakang di atas maka penulis merumuskan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh paparan air laut terhadap sifat mekanik dalam jangka waktu tertentu?
2. Bagaimanakah pengaruh paparan air laut terhadap sifat fisik dalam jangka waktu tertentu?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka diperlukan tujuan untuk menjawab rumusan masalah yang terjadi, Tujuan Penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh air laut pada beton, terhadap sifat mekanik beton yaitu kuat tekan beton dan kuat tarik belah.
2. Menganalisis pengaruh air laut pada beton, terhadap sifat fisik beton yaitu permeabilitas beton.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan antara lain semen PCC dengan merek Semen Tiga Roda.
2. Mutu beton rencana K-250 (20,75 MPa) pada pengujian setelah umur beton 28 hari.
3. Umur pengujian sampel beton dilakukan pada umur 28 hari, 56 hari dan 90 hari.
4. Pada penelitian ini dilakukan tiga pengujian yaitu, pengujian sifat mekanik beton (kuat tekan dan kuat tarik beton). Pengujian sifat fisik beton (permeabilitas) dilakukan menggunakan 3 metode, dengan permeabilitas standar, *Ground Penetrating Radar* (GPR) dan menggunakan permeabilitas alamiah (dengan pengujian tarik belah).
5. *Mix design* dilakukan dengan menggunakan acuan SNI 03 – 2834 – 2000, dengan metode pencampuran material *dry mixing* (pencampuran kering atau pencampuran air dilakukan pada tahapan terakhir).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat pada penelitian ini adalah:

1. Dapat digunakan sebagai referensi untuk pembangunan konstruksi di lingkungan laut.

2. Dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai pengaruh air laut terhadap beton.
3. Dapat digunakan sebagai landasan dalam pemilihan perawatan konstruksi beton yang terendam air laut.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika dalam penulisan pada penelitian ini terdiri dari sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat, dan sistematika penulisan laporan.

### **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

#### 2.1.1 Pengertian Beton

Beton adalah campuran pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat lainnya yang dicampur dengan semen dan air untuk membentuk massa seperti batu (SNI 2847, 2019; Cormac, 2004). Satu atau lebih aditif (*admixtures*) dapat ditambahkan untuk membuat beton dengan sifat khusus seperti *workability*, daya tahan, dan waktu *curing* (Asroni, 2010).

Beton mengeras seiring bertambahnya usia dan mencapai kekuatan desainnya ( $f_c$ ) pada usia 28 hari. Karena kuat tekannya yang sangat baik, beton banyak digunakan dalam pemilihan jenis struktur terutama pada struktur gedung, jembatan dan jalan.

#### 2.1.2 Sifat – Sifat Beton

Untuk perencanaan dan konstruksi struktur beton perlu diketahui sifat-sifat campuran beton dan sifat-sifat beton setelah pengerasan. Sifat beton dibagi menjadi dua yaitu sifat mekanik dan sifat fisik.

Beberapa sifat mekanik beton antara lain:

##### a. Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah tegangan akibat beban uniaksial benda uji beton berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dalam satuan MPa ( $N/mm^2$ ). Benda uji standar British yang digunakan adalah kubus dengan sisi 150 mm. Menurut SNI



1974:2011 pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Benda uji dengan ukuran berbeda dapat juga dipakai namun perlu dikoreksi terhadap *size* efek.

b. Kuat Tarik

Kekuatan tarik beton adalah tegangan tarik yang ditentukan dengan uji tekuk atau belah. Kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dari kekuatan tekannya, sekitar 10% sampai 15% dari kekuatan tekannya. Kekuatan tarik beton merupakan sifat penting untuk memprediksi retak dan lendutan balok. Metode pengujian kekuatan tarik beton dijelaskan pada bab berikutnya.

c. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton adalah perbandingan antara kuat tekan beton dengan regangan beton, biasanya ditentukan sebesar 25-50% dari kuat tekan beton.

Beberapa sifat fisik beton antara lain:

a. Permeabilitas Beton

Permeabilitas yaitu mudahnya cairan yang masuk ke dalam beton yang diakibatkan oleh porositas beton itu sendiri, faktor utama yang berpengaruh bagi durabilitas (daya tahan) adalah faktor air-semen. jika faktor air-semen semakin kecil maka nilai porositas juga menjadi kecil dan beton lebih impermeabel.

b. Daya Tahan (*Durability*)

Ini adalah kemampuan beton untuk menahan kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi dalam periode waktu yang dirancang. Daya tahan ini, tergantung pada kondisi lingkungan, karenanya nilai faktor air-semen maksimum harus dibatasi atau dosis semen minimum yang digunakan harus dibatasi dan tebal selimut beton harus memenuhi ketentuan.

c. Rengkak (*creep*)

Sifat beton yang mengalami deformasi terus menerus dari waktu ke waktu di bawah beban.

d. Susut (*shrinkage*)

Ini adalah perubahan volume yang terjadi pada beton karena proses alamiah.

e. Keleccakan (*Workability*)

*Workability* adalah tingkat kemudahan suatu campuran beton atau mortar untuk dituang dan memenuhi cetakan beton. Lama waktu pengangkutan adukan beton mempengaruhi perubahan *workability* pada adukan beton.

### 2.1.3 Bahan Penyusun Beton

Beton umumnya terdiri dari tiga komponen: semen, agregat, dan air. Agregat terdiri dari agregat kasar dan agregat halus. Masing-masing bahan tersebut memiliki ketentuan yang sesuai untuk digunakan dalam campuran beton. Penjelasan dari ketiga komponen tersebut adalah sebagai berikut :

a. Semen

Semen adalah bahan campuran yang menjadi aktif secara kimia setelah kontak dengan air. Ada dua jenis semen: non-hidrolik dan hidrolik. Semen non-hidrolik adalah semen yang mengeras, tetapi tidak stabil di dalam air. Semen hidrolik adalah semen yang mengeras bila bereaksi dengan air, tahan air, dan stabil dalam air setelah mengeras. Semen hidrolik yang biasa digunakan dalam konstruksi adalah semen *portland*. Semen *Portland* adalah semen hidrolik yang dibuat dengan menggiling klinker, yang terutama mengandung kalsium silikat hidrolik dan gipsum sebagai aditif (PUBI-1982; Tjokrodinuljo, 1996). Semen Portland adalah pengikat penting dan banyak digunakan dalam konstruksi.

Menurut SNI 15-2049 (2004), membagi kembali semen menjadi beberapa tipe, yaitu:

1. Tipe I: Semen *Portland* digunakan untuk tujuan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis lainnya.

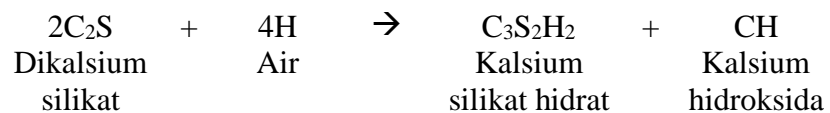
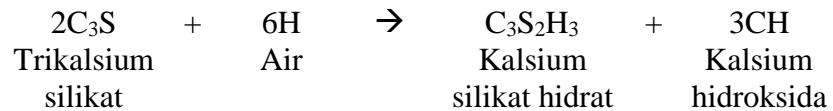
2. Tipe II: Semen *Portland* yang membutuhkan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III: Semen *Portland* membutuhkan kekuatan tinggi pada tahap awal pengerasan.
4. Tipe IV: Semen *Portland* yang membutuhkan panas hidrasi rendah.
5. Tipe V: Semen *Portland* yang membutuhkan ketahanan sulfat.

Fungsi semen adalah mengikat partikel agregat menjadi massa yang keras dan mengisi celah antar partikel agregat. Itu juga digunakan untuk mengisi rongga antara partikel agregat. Semen hanya dapat mengisi sekitar 10% dari volume beton, tetapi sebagai bahan aktif harus diselidiki dan dikontrol secara ilmiah. Semen *portland* umumnya terdiri dari empat senyawa kimia utama yang membentuknya, yaitu:

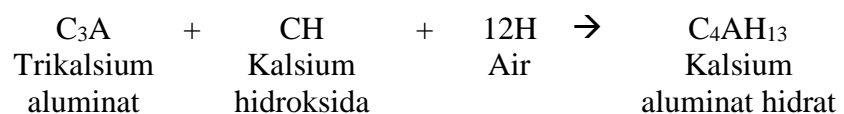
1. Tricalcium silica ( $3\text{CaO} - \text{SiO}_2$ ), disingkat  $\text{C}_3\text{S}$ . Semakin tinggi kandungan  $\text{C}_3\text{S}$  dalam komposisi semen, semakin tinggi kualitas semen tersebut maka semakin tinggi kekuatan beton serta semakin cepat pengerasannya.
2. Dicalcium silica ( $2\text{CaO} - \text{SiO}_2$ ), disingkat  $\text{C}_2\text{S}$ , adalah senyawa mineral semen yang mengandung 32% -52% berat semen.
3. Tricalcium aluminate ( $3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ ) disingkat menjadi  $\text{C}_3\text{A}$ .
4. Tetrakalsium aluminoforit ( $4\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_4\text{AF}$ .

Senyawa ini memiliki sifat yang berbeda.  $\text{C}_3\text{S}$  dan  $\text{C}_2\text{S}$  adalah senyawa dengan sifat perekat.  $\text{C}_3\text{A}$  merupakan senyawa dengan tingkat hidrasi tercepat dibandingkan dengan senyawa lainnya.  $\text{C}_4\text{AF}$  memiliki sifat katalisator. Senyawa ini membentuk kristal yang berikatan satu sama lain. Komposisi  $\text{C}_3\text{S}$  dan  $\text{C}_2\text{S}$ , yaitu 70% sampai 80% dari berat semen, sangat penting dalam memberikan sifat semen (Mulyono, 2004).

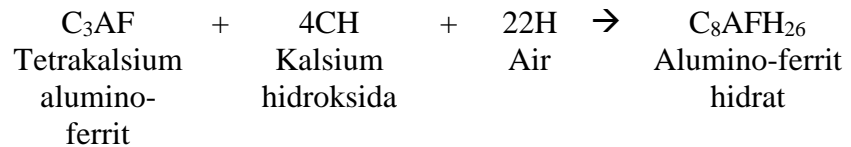
Ketika kalsium silikat ( $C_3S$  atau  $C_2S$ ) beraksi dengan air maka akan menghasilkan kalsium silikat hidrat atau sering disebut gel C-S-H dan kalsium hidroksida. Kalsium hidroksida yang dihasilkan bersifat basa ( $pH = 12,5$ ), membuat semen peka terhadap asam dan mencegah korosi baja (Nugraha dan Antoni, 2007).



Senyawa selanjutnya yang terkandung pada semen, yaitu  $C_3A$ .  $C_3A$  bereaksi dengan air menghasilkan kristal kalsium aluminat terhidrasi yang mengakibatkan pengerasan pada pasta semen. Proses ini disebut *quick set*, sehingga gipsium harus ditambahkan untuk mengurangi reaktivitas  $C_3A$ . Dalam proses ini  $C_3A$  pertama kali bereaksi dengan gipsium membentuk kalsium sulfoaluminat. Kristal yang terbentuk seperti jarum dan disebut *ettringite*. *Ettringite* memiliki kemampuan untuk memblokir air dari permukaan  $C_3A$ , sehingga menunda hidrasi. Kalsium aluminat hidrat terbentuk setelah gipsium bereaksi penuh. Kandungan  $C_3A$  yang tinggi dalam semen, jika kontak dengan sulfat dalam air dan tanah akan melepaskan  $C_3A$  yang bereaksi dengan sulfat dan mengembang yang menyebabkan keretakan pada beton (Tjokrodimulyo, 1992).



Senyawa keempat, yaitu  $C_4AF$  yang bereaksi dengan gipsum dan kalsium hidroksida pada tahap awal senyawa ini. Hasil dari reaksi ini, yaitu kristal kalsium sulfo-aluminat hidrat dan kalsium sulfo-ferrit hidrat yang berbentuk seperti jarum. Tingkat hidrasi  $C_4AF$  menurun seiring waktu. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya gel C-S-H pada kristal semen.



Salah satu jenis semen adalah semen PCC (*Portland Composite Cement*) atau Semen *Portland* Komposit. Semen PCC adalah perekat hidrolis yang dibuat dengan menggiling klinker semen *Portland* dan gipsum dengan satu atau lebih bahan anorganik (SNI 15-7064-2004). Bahan anorganik ini termasuk terak tanur sembur, *pozzolan*, senyawa silikat dan batu kapur, dengan kandungan anorganik total 6% hingga 35% dari massa semen Portland (SNI 15-7064-2002). Semen PCC merupakan semen tipe I, sehingga tidak diperlukan perlakuan khusus untuk penggunaannya. Secara umum, komposisi oksida utama yang membentuk semen Tipe I ditunjukkan pada Tabel 2.1 di bawah ini

Tabel 2.1 Komposisi Oksida Semen Portland

Oksida	Komposisi %
CaO	60 – 65
SiO <sub>2</sub>	17 – 25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 – 8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5 – 6
MgO	0,5 – 4
SO <sub>3</sub>	1 – 2
K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O	0,5 – 1

(Sumber : Kardiyono Tjokromulyo, 2007)

Sedangkan komposisi semen PCC Tiga Roda menurut PT. Tiga Roda dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut :



Tabel 2.2 Komposisi Semen PCC Tiga Roda

No	Parameter	Kadar (%)
1	SiO <sub>2</sub>	23,04
2	Fe	3,36
3	SO <sub>4</sub>	2,00
4	Ca	57,38
5	Mg	1,91
6	Al	7,40

(Sumber : PT. Tiga Roda)

#### b. Agregat

Agregat adalah bahan mineral alam berbentuk butiran yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat tidak berperan penting dalam reaksi kimia, tetapi berperan sebagai pengisi anorganik yang mencegah perubahan volume beton setelah pencampuran selesai dan meningkatkan daya tahan beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004). Agregat pada umumnya digunakan dalam suatu campuran beton dalam jumlah 60% sampai 75% dari jumlah keseluruhan campuran beton. Agregat ini semakin penting karena komposisinya yang besar. Oleh sebab itu, kekuatan beton dipengaruhi oleh mutu agregatnya. Gradasi agregat harus dibuat sedemikian sehingga beton mencapai kepadatan maksimum dengan jumlah pori minimum, sehingga seluruh massa beton berperilaku sebagai satu kesatuan yang konsisten dan homogen (Nawy, 1998). Agregat terbagi menjadi dua jenis yaitu agregat kasar dan agregat halus.

##### 1. Agregat kasar

Menurut (Mulyono, 2004), agregat kasar adalah batuan dengan ukuran butir lebih besar dari 4,80 mm. Menurut (SNI 1970-2008), butiran kasar adalah hasil penguraian alami batuan atau batu pecah dari industri pengalihan dan memiliki ukuran partikel dari 4,75 mm (No. 4) hingga 40 mm (No 1½ inci).

Agregat kasar harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Tidak bereaksi dengan alkali saat digunakan pada beton yang kontak dengan lingkungan basah atau lembab, atau pada bahan yang kontak dengan semen alkali dengan kandungan natrium oksida 0,6% atau kurang.
- Sifat fisika, termasuk kekerasan total yang diuji dengan mesin *los angeles*. Untuk agregat kasar, batas toleransi untuk partikel yang mempengaruhi sifat beton yang diijinkan (Mulyono, 2004). Kekerasan butiran agregat tidak boleh berkurang lebih dari 50% berat saat diuji di mesin *los angeles*.
- Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dari berat kering. Jika lebih dari itu, maka harus dibersihkan.

SK SNI T-15-1990-03 memuat syarat-syarat agregat kasar pada tiga zona atau area seperti terlihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Persentase berat butir yang lewat ayakan		
	4,8 – 38	4,8 – 19	4,8 – 9,6
38	95 – 100	100	100
19	35 – 70	95 – 100	100
9,6	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

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

## 2. Agregat halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir antara 0,15 mm sampai 5 mm (Tjokrodimuljo, 2007). Agregat halus dikumpulkan dari tanah, dasar sungai, pantai, dll. Menurut (SNI 03 - 2847 - 2002), agregat halus adalah pasir alam yang merupakan hasil penguraian alami dari batuan atau pasir yang

terjadi di industri batu pecah, dengan ukuran butir maksimal 5,0 mm.

*British Standards* (BS) menentukan persyaratan penilaian pasir. Pengujian agregat halus memiliki beberapa persyaratan standar, antara lain: menurut standar ASTM C 566-89 kadar air pasir yang diijinkan berada pada kisaran <0,1% dan menurut ASTM C 128-78 berat jenis pasir berada pada kisaran 2,4-2,7 g/dm<sup>3</sup>. Kriteria kelembaban pasir yang dapat diterima menurut ASTM C 566-89 berkisar antara 1 sampai 4%.

SK SNI T-15-1990-03 memuat syarat-syarat agregat halus yang dikelompokkan menjadi empat zona atau wilayah seperti terlihat pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4 Pembagian Zona Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persentase berat butir yang lewat ayakan			
	I	II	III	IV
10	100	100	100	100
4.8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2.4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1.2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0.6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0.3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0.15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

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

- Dimana :
1. Daerah Gradasi I : Pasir Kasar
  2. Daerah Gradasi II : Pasir Agak Halus
  3. Daerah Gradasi III : Pasir Halus
  4. Daerah Gradasi IV : Pasir Agak Halus

c. Air

Air merupakan unsur yang sangat penting dalam campuran beton karena bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta yang membantu mengikat bahan lain (agregat kasar dan halus) bersama-sama. Pasta adalah hasil reaksi kimia antara campuran air dan semen.

Air yang digunakan dalam produksi beton harus air bersih, tidak tercemar dan tidak mengandung asam, basa atau komponen lain yang dapat mempengaruhi mutu beton. Beton prategang dan air yang digunakan dalam produksi beton tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang berbahaya (Mulyono, 2004).

Tjokrodinuljo (2007), menyatakan persyaratan yang harus dipenuhi untuk penggunaan air dalam beton adalah sebagai berikut:

1. Tidak mengandung lumpur lebih dari 2g/L.
2. Tidak mengandung garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 g/L.
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 g/L.

## 2.2 Air Laut

Air laut mengandung salinitas 3,5%, gas terlarut, organik dan partikel tak terlarut. Kehadiran garam mempengaruhi sifat fisik air laut (densitas, kompresibilitas, titik beku, suhu saat terjadi densitas maksimum). Beberapa sifat (viskositas, penyerapan cahaya) kurang sensitif terhadap salinitas. Ada dua hal yang sangat ditentukan oleh kandungan garam (salinitas) laut yaitu, daya hantar listrik (konduktivitas) dan tekanan osmosis. Osmosis adalah perpindahan air melewati membran permeabel selektif dari larutan yang konsentrasi airnya tinggi ke larutan yang konsentrasinya airnya rendah. Perpindahan ini terjadi dikarenakan adanya perbedaan konsentrasi zat terlarut, melintasi membran yang membolehkan air untuk menembus membran sedangkan zat terlarut tidak. Tekanan osmosis adalah tekanan yang jika diberikan kepada larutan dengan konsentrasi tinggi akan mencegah terjadi perpindahan air (Syaifi, 2011).

Garam utama yang ditemukan dalam air laut adalah klorida, natrium, sulfat, magnesium, kalsium, dan kalium, sedangkan sisanya terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borat, strontium, dan fluorida. Tiga sumber garam utama di lautan adalah pelapukan batuan terestrial, gas vulkanik, dan lubang hidrotermal yang bersirkulasi di laut dalam.

Idealnya, Salinitas sering diartikan sebagai kadar garam dari air laut, namun hal ini tidak tepat karena sebenarnya ada perbedaan antara kedua salinitas tersebut (Maarif, 2022). Definisi tentang salinitas pertama kali dikemukakan oleh Forch dkk (1902). Salinitas didefinisikan sebagai berat dalam gram dari semua zat padat yang terlarut dalam 1 kilo gram air laut jikalau semua brom dan yodium digantikan dengan khlor dalam jumlah yang setara, semua karbonat diubah menjadi oksidanya dan semua zat organik dioksidasikan. Nilai salinitas dinyatakan dalam g/kg yang umumnya dituliskan dalam % atau ppt yaitu singkatan dari part-per-thousand.

### 2.3 Pengaruh Kimia Air Laut terhadap Beton

Pengaruh kimia air laut pada beton terutama disebabkan oleh serangan magnesium sulfat ( $MgSO_4$ ), yang diperburuk oleh adanya klorida. Reaksinya menghambat perkembangan beton. Biasanya diklasifikasikan sebagai bagian dari serangan sulfat oleh air laut yang membuat beton terlihat keputihan. Selain itu, beton akan mengembang. Hal itu mendahului munculnya *spalling* dan *cracking*. Akhirnya, bagian beton yang terkena sulfat melunak dan membentuk lapisan seperti lumpur (Wedhanto, 2017).

Serangan sulfat awal meningkatkan kuat tekan beton, kemudian secara bertahap kehilangan kekuatan dan akhirnya mengembang. Serangan ini diduga akibat adanya kandungan kalium (KS) dan magnesium sulfat (MgS) dalam air laut yang dapat menyebabkan serangan sulfat pada beton. Korosi dimulai ketika beton siap bereaksi dengan kalsium hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ) dalam semen. (Bryant, 1964).

Serangan magnesium sulfat (MgS) harus diperhatikan. Hal ini karena ketika bereaksi dengan kalsium sulfat (CSH) akan bersifat ambivalen. Disatu sisi, kekuatan reaksi menghasilkan gipsium dengan sifat yang bermanfaat bagi semen, sedangkan disisi lain, reaksi MgS dengan kalsium hidroksida yang dicampur dengan hidrat silika sebagai hasil reaksi dengan gel semen, salah satu jenis bahan dengan sifat perekat, membentuk bahan baru, yaitu ( $M_4SH_8$ ).

Bahan ini tidak lengket seperti bahan semen (Emmanuel dkk, 2012). Perkiraan komposisi dalam air laut pada umumnya disajikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Komposisi Air Laut

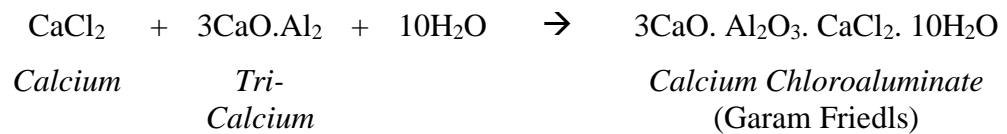
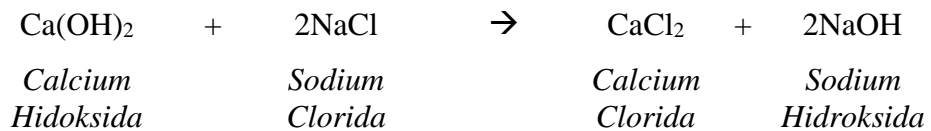
<b>Nama Umum</b>	<b>Ion</b>	<b>Ppm</b>	<b>Presentase</b>
Oksigen	O <sub>2</sub>	883,000	86,0341%
Hidrogen	H	110,000	10,7177%
Klorin	Cl	19,400	1,8902%
Sodium	Na	10,800	1,0523%
Magnesium	Mg	1,290	0,1257%
Belerang	S	0,904	0,0881%
Kalsium	Ca	0,411	0,0400%
Kalium	K	0,392	0,0382%
Brom	Br	0,067	0,0066%
Karbon	C	0,028	0,0027%
Nitrogen	N	0,016	0,0015%
Fluor	F	0,013	0,0013%
Strontium	Sr	0,0081	0,0008%
Boraks	B	0,0045	0,0004%
Silicon	Si	0,0029	0,0003%

(Emmanuel dkk, 2012)

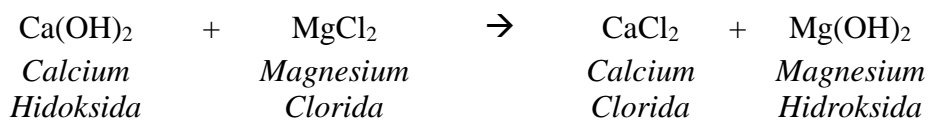
Dalam lingkungan yang dipengaruhi oleh air laut, partikel klorida dan sulfat merembes ke dalam lapisan beton, akibatnya terjadi reaksi kimia yang sangat kompleks, yang merupakan awal dari perubahan sifat fisik dan kimia beton. Perubahan sifat ini menyebabkan penurunan kualitas beton yang dimulai dengan munculnya retakan di permukaan, kemudian beton mengalami pengelupasan dan tulangan mulai berkarat. Permeabilitas adalah sifat penting lainnya yang terkait dengan kualitas beton. Proporsi campuran beton yang kurang dari yang direncanakan merupakan awal dari melemahnya kualitas beton. Penurunan permeabilitas pada beton yang terkena air laut berdampak negatif pada mutu beton. Biasanya berdasarkan sifat fisik bahan yang sifatnya berpori, bahwa berkurangnya permeabilitas beton menyebabkan ion garam agresif yang terkandung dalam air laut memasuki lapisan beton, menyebabkan semen PC menjadi tidak stabil (Beaudoin dkk, 1999 dalam Wedhanto, 2017).

Ion klorida dapat menyerang dengan berbagai cara yang berakibat mengurangi kekuatan beton. Pada umumnya serangan itu menyebabkan terbentuknya jenis

garam yang disebut garam *Friedl* (*Calcium Chloroaluminate*) yang dihasilkan oleh reaksi kimia yang bersifat ekspansif (mengembang). Rumus kimia garam *Friedl* ditulis sebagai  $(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ . Garam ini memiliki kemampuan untuk mengembang dari konsentrasi rendah hingga sedang. Garam *Friedl* dihasilkan dari penetrasi larutan kalsium klorida ke dalam beton karena peningkatan kapasitas penyerapan air. Proses serangan klorida pada beton dalam reaksi kimia dijelaskan sebagai berikut (Islam dkk, 2010).



$\text{MgCl}_2$  setelah bereaksi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  membentuk kalsium klorida dari hidrat semen. Kalsium klorida larut dan menembus beton seiring bertambahnya usia dan pelunakan material. Reaksi kimia ditulis sebagai berikut (Mehta, 1986).



Munculnya *ettringite* yang mengembang (kalsium aluminat sulfat) umumnya dikaitkan dengan serangan sulfat. *Ettringite* dan gipsum menepati 20% dari volume kristal pori beton. Kristal ini menginduksi tegangan pada beton yang menyebabkan retakan pada permukaan beton. Ini dikenal sebagai serangan sulfat lunak. Retakan biasanya dikaitkan dengan pembentukan rekahan *ettringite* (Wedhanto, 2017).

## 2.4 Landasan Teori

### 2.4.1 Kuat Tekan

Pengertian kuat tekan beton adalah besarnya tegangan per satuan luas yang menyebabkan beton runtuh ketika dikenai gaya tekan tertentu yang ditimbulkan oleh suatu tekan pada benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur 28 hari. Kuat tekan beton merupakan sifat beton yang paling penting dibandingkan dengan sifat lainnya karena menunjukkan mutunya. Kuat tekan beton ditentukan dengan mengatur perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus dan air. Sejumlah air diperlukan untuk mendapatkan efek kimiawi saat beton mengeras. Kelebihan air meningkatkan kemampuan kerja tetapi mengurangi kekuatan (Wang dan Salmon, 1990).

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari, 56 hari, dan 90 hari. Dengan menggunakan sampel silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya kuat tekan beton sebagai berikut:

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

Dengan :

$f_c'$  : Kuat tekan (MPa)

P : Beban tekan (N)

A : Luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

### 2.4.2 Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dengan memberikan beban pada benda uji yang diletakkan mendatar di atas meja tekan mesin uji (SNI 03-2491-2002).

Kekuatan tarik belah merupakan alternatif dari kekuatan tarik langsung dengan melakukan pengujian kekuatan tarik dengan gaya aksial



langsung (BJBPI, 2008). Benda uji yang digunakan dalam uji belah berbentuk silinder atau kubus seperti pada uji kuat tekan. Namun, biasanya benda uji yang berbentuk silinder digunakan pada uji belah.

Ketika beban  $P$  mencapai nilai maksimumnya, silinder atau kubus beton yang diuji akan terbelah. Pada umumnya nilai kuat tarik pecahan beton adalah  $1/8$  sampai  $1/12$  dari nilai kuat tekan beton. Kekuatan tarik belah dihitung sebagai berikut:

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot D}$$

Dengan :

$f_{ct}$  : Kuat tarik belah (MPa)

$P$  : Beban uji maksimum (N)

$L$  : Panjang benda uji (mm)

$D$  : Diamter atau lebar benda uji (mm)

### 2.4.3 Permeabilitas

Permeabilitas beton adalah kemudahan air untuk menembus beton. Jika beton dapat ditembus air, maka dikatakan permeabel. Jika sebaliknya, beton dianggap kedap air (impermeabel). Oleh karena itu, sifat permeabilitas yang penting pada beton adalah permeabilitas air.

Permeabilitas beton terjadi dalam dua cara yaitu terjebaknya gelembung udara akibat pemadatan beton yang belum sempurna dan rongga yang terbentuk akibat air dalam campuran beton yang menguap pada saat pelaksanaan pekerjaan beton. Akibat adanya rongga dan udara pada beton keras maka beton tidak kedap terhadap air, beton yang tidak kedap air mengakibatkan tulangan pada beton akan korosi dan berkurangnya volume air karena air memasuki rongga beton (Rizky & Saelan, 2019).

Faktor utama yang menentukan permeabilitas beton adalah faktor air-semen dan kadar semen (Rizky & Saelan, 2019). Zat cair dan gas akan masuk ke dalam beton melewati pori-pori yang dipengaruhi oleh faktor air semen, semakin tinggi faktor air-semen semakin banyak pula pori-pori yang saling berhubungan sehingga beton memiliki permeabilitas tinggi atau zat cair atau gas yang masuk ke dalam beton semakin banyak. Karena itu agar beton dapat bertahan dengan waktu yang lama maka permeabilitas beton perlu diturunkan, yaitu dengan memperkecil faktor air-semen.

Perhitungan permeabilitas menggunakan Hukum Darcy. Hal ini dinyatakan dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$K = \frac{\rho g L Q}{P A}$$

Dimana:

K : koefisien permeabilitas (cm/det)

$\rho$  : massa jenis air (kg/cm<sup>3</sup>)

g : percepatan gravitasi (cm/s<sup>2</sup>)

L : panjang atau tinggi sampel (cm)

Q : debit aliran air (cm<sup>3</sup>/det)

P : tekanan air (kg cm/s<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>)

A : luas penampang sampel (cm<sup>2</sup>)

Alat yang digunakan dalam mengidentifikasi permeabilitas beton antara lain:

#### 1. GPR (*Ground Penetrating Radar*)

*Ground Penetrating Radar* (GPR) adalah teknik survei geofisika yang menggunakan gelombang elektromagnetik, tidak merusak, dan beresolusi tinggi terhadap kontras dielektrik material, serta formasi geologi yang relatif dangkal (Putro dkk, 2019). Prinsip dasar metode ini tidak jauh berbeda dengan metode seismik refleksi yang banyak digunakan di berbagai bidang seperti: Konstruksi dan

rekayasa, pencarian benda purbakala untuk melihat kondisi geologi di bawah tanah dan permasalahan lingkungan.

Sistem GPR terdiri dari pemancar (*transmitter*) yaitu antena yang terhubung ke sumber pulsa (generator pulsa) dengan adanya pengaturan *timing circuit*, dan penerima (*receiver*), antena yang terhubung ke LNA dan ADC. Kemudian terhubung ke unit pengolahan (*data processing*) dan *display* sebagai tampilan hasilnya (Bahri S. Ayi, 2009). *Ground Penetrating Radar* (GPR) merupakan teknologi pengukuran yang tidak merusak struktur bawah tanah karena menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi objek yang terkubur di bawah tanah, dan banyak digunakan karena tidak memerlukan proses penggalian bawah tanah (Abiyoga dkk, 2022).

## 2.5 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian ini disajikan pada Tabel 2.6. Penelitian sebelumnya terkait *mix design* 03 – 2834 – 2000 disajikan pada Tabel 2.7. Sedangkan untuk penelitian sebelumnya terkait metode pencampuran dan durasi pengadukan disajikan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu Terkait Penelitian Ini

No	Tahun	Judul Artikel	Penulis	Nama Jurnal
1.	2023	Durability of Seawater Coral Aggregate Concrete under Seawater Immersion and Dry-Wet Cycles	Bai Zhang, Hong Zhu	Journal of Building Engineering
Ketika spesimen terkena lingkungan siklus kering air laut pada 60 °C selama 12 bulan, kuat tekan kubik, kuat tekan aksial, dan modulus elastisitas CAC terdegradasi masing-masing sekitar 14,4%, 16,9%, dan 13,0%. Selain itu,				

Tabel 2.6 (lanjutan)

	<p>dibandingkan dengan lingkungan perendaman air laut, <b>penurunan sifat mekanik CAC lebih signifikan dipengaruhi oleh lingkungan siklus kering-basah air laut.</b></p> <p>Ketika spesimen terkena berbagai lingkungan korosif air laut, <b>struktur mikro antarmuka antara matriks bubuk dan agregat tidak berubah secara signifikan, tetapi produk hidrasi dari matriks bubuk mengalami beberapa perubahan.</b> Ketika suhu paparan meningkat, gel C-(A)-S-H dalam produk hidrasi sampel CAC mengalami peningkatan tertentu, yang disebabkan oleh lingkungan suhu tinggi yang mendorong reaksi hidrasi. Namun, gipsum dan Ca(OH)<sub>2</sub> dalam produk hidrasi sampel CAC relatif tidak stabil dan bereaksi secara kimiawi dengan ion korosif dalam air laut membentuk garam Friedel atau ettringite.</p>			
2.	2019	Kajian Kuat Tekan Beton di Lingkungan Laut Tropis Banyuwangi	Syarifah Khirunnisa, Mirza Ghulam Rifqi, dan M. Shofiul Amin	Jurnal Sipil Politeknik
	<p>Pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari berturut-turut benda uji yang di-curing air tawar (BAT) memiliki kuat tekan sebesar 25.84 MPa; 32.82 MPa; 35.05 MPa, benda uji di atmospheric zone (BAZ) sebesar 24.82 MPa; 25.80 MPa; 32.22 MPa, benda uji di tidal zone (BTZ) sebesar 23.01 MPa; 24.67 MPa; 29.80 MPa, dan benda uji di submerged zone (BSZ) sebesar 22.71 MPa; 24.97 MPa; 27.16 MPa. <b>Dapat ditarik kesimpulan Semakin besar kontak yang terjadi antara beton dengan air laut maka semakin besar pula penurunan kuat tekan beton yang terjadi.</b></p>			
3.	2019	Kuat Tekan Beton dan Nilai Penyerapan dengan Variasi Perawatan Perendaman Air Laut dan Air Sungai	As'at Pujiyanto, Hakas Prayuda, Berkat Cipta Zega, Besty Afriandini	SEMESTA TEKNIKA

Tabel 2.6 (lanjutan)

	<p>Penelitian kuat tekan beton dengan variasi perendaman air laut dan air sungai adalah nilai workability menggunakan bahan tambah superplasticizer lebih tinggi daripada beton menggunakan fly ash. <b>Perawatan beton menggunakan air laut menghasilkan kuat tekan tertinggi pada Semen Tiga Roda dengan bahan tambah superplatisizer yaitu dengan kuat tekan sebesar 33,96 MPa.</b> Perawatan beton menggunakan air sungai menghasilkan kuat tekan tertinggi pada beton dengan jenis Holcim dengan bahan tambah superplastisizer yaitu dengan kuat tekan sebesar 28,87 MPa. Beton dengan menggunakan bahan tambah fly ash hanya menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 24,03 MPa dengan merk semen Holcim. <b>Nilai penyerapan pada umur beton 28 hari secara keseluruhan pada beton dengan perendaman air laut lebih tinggi dibandingkan dengan air sungai.</b></p>			
4.	2019	Mechanical Degradation of Normal Concrete due to Seawater Intrusion	F Hamdi and H A Imran	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering
	<p>Penelitian ini menggunakan mutu kuat rencana <math>f_c' = 25</math> MPa. Dengan menggunakan umur uji 14, 28, 56, 90 hari untuk beton terendam air laut dan terendam air tawar. <b>Hasil dari penelitian ini beton mengalami degradasi mekanis akibat intrusi air laut, dalam hal ini kuat tekan beton sebesar 12,063% saat direndam 28 hari dan 16,809% saat direndam 90 hari.</b> Hasil grafik degradasi mekanik akibat intrusi air laut, dalam hal ini grafik hubungan antara kuat tekan beton mutu normal <math>f_c = 25</math> MPa dengan lama perendaman (hari) menghasilkan grafik logaritmik.</p>			
5.	2019	Sifat Mekanik Beton Serat Ijuk Yang Terendam Air Laut	Chaeril Anwar, Erniati Bachtiar, Nur Khaerat Nur	Indonesian Journal of Fundamental Sciences
	<p>Nilai kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur pada beton serat serat (25 mm, 50 mm, 75 mm, dan 100 mm) yang terendam air laut yang menggunakan serat ijuk yakni nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 28,87 MPa; 25,48 MPa ; 25,05 MPa ; dan 24,63 MPa; untuk nilai kuat tarik belah beton serat ijuk berturut-turut sebesar 4,56 MPa ; 3,77 MPa ; 3,61 MPa ; dan 3,50 MPa; dan untuk kuat</p>			

Tabel 2.6 (lanjutan)

	<p>lentur beton berturut-turut sebesar 4,24 MPa ; 3,56 MPa ; 3,51 MPa ; dan 3,46 MPa. Semakin panjang serat ijuk yang digunakan pada beton maka sifat mekaniknya semakin menurun. <b>Beton serat yang terendam air laut lebih tinggi nilai sifat mekaniknya dibandingkan beton normal.</b> Panjang serat ijuk yang optimum untuk campuran beton yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian sifat mekanik beton serat adalah 25 mm.</p>			
6.	2018	Investigasi Pengaruh Air Laut Sebagai Air Pencampuran dan Perawatan Terhadap Sifat Beton	Syamsul Bahri Ahmad	Journal INTEK
	<p>Pada penelitian ini terdapat 4 sampel, yaitu beton dicampur air laut dan direndam di air laut (BLL), beton dicampur air laut dan direndam air tawar (BLT), Beton dicampur air tawar dan direndam air laut (BTL), serta beton dicampur air tawar dan direndam di air tawar (BTT). Dengan hasil pengujian setelah umur 28 hari sebagai berikut:</p> <p>Kuat tekan beton (BLL) diperoleh 352,29 kg/cm<sup>2</sup> dengan porositas sebesar beton 17,06 %. Kuat tekan beton (BLT) diperoleh 331,61 kg/cm<sup>2</sup> dengan porositas beton 16,87 %. Kuat tekan beton (BTT) sebagai beton pembanding diperoleh 314,05 kg/cm<sup>2</sup> dengan porositas 17,97 %. <b>Kuat tekan beton (BTL) diperoleh 297,80 kg/cm<sup>2</sup> dengan porositas 16,44 %.</b></p>			
7.	2018	Microstructural Investigation of Reinforced Concrete Exposed to Cyclic Wetting and Drying	Wahyu Sutrisno, Priyo Suprobo, Endah Wahyuni, Data Iranata	International Journal on Advenced Science Engineering Information Technology
	<p>Pengujian ini dilakukan <b>selama 5 bulan</b>. Sampel dipaparkan dengan <b>larutan NaCl 5%</b> untuk menstimulasikan air laut. Terdapat 3 variasi, yaitu perendaman 1 jam dan pengeringan 7 jam (&lt;0,5), perendaman 3 jam dan pengeringan 5 jam (&gt;0,5), serta terendam penuh (&gt;1). <b>Beton dengan konfigurasi pembasahan 3 jam dan pengeringan 5 jam memiliki struktur</b></p>			

Tabel 2.6 (lanjutan)

	<p><b>internal dan kondisi permukaan yang paling buruk selama lima bulan terakhir.</b> Karena konfigurasi durasi pembasahan dan pengeringan yang berbeda, sampel dengan paparan semacam ini menunjukkan kandungan klorida terendah dan kandungan silika lebih tinggi. Kondisi ini dikarenakan sampel ini memiliki waktu pembasahan yang paling rendah, sehingga proses difusi tidak dapat terjadi secara sempurna.</p>			
8.	2015	Experimental Study of Influence of Seawater on Strength of Concrete Structures	Moshood N.Tijani, James I. Inim and Saheed O.	Fifth International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Osaka, Japan
	<p>Pada penelitian ini dilakukan 2 campuran perbandingan semen, agregat halus dan agregat kasar, yaitu 1:2:4 dan 1:1,5:3. Dengan menggunakan FAS 0,4 ; 0,45 ; 0,5. Untuk FAS 0,4 dilakukan 2 macam perendaman air tawar dan air laut. <b>Dari penelitian ini didapatkan hasil beton yang terendam air laut memiliki kuat tekan lebih kecil diawal umur pengujian</b> (umur 14,21,28) dibandingkan dengan beton yang direndam air tawar. Namun, <b>ketika pengujian umur 90 hari beton yang terendam air laut mengalami kuat tekan yang lebih tinggi dari pada beton yang terendam air tawar.</b> Hal ini terjadi karena reaksi matriks semen dan kalsium hidroksida membentuk magnesium hidroksida. (<math>Mg(OH)_2</math>) dan kemudian kalsium sulfat terhidrasi (gypsum) dengan penampakan zat lembek putih seperti terlihat pada kubus beton.</p>			
9.	2015	Evolution of Strength and Durability of Scoria Concrete in Sea Environment	K.M.A. Hossain and K.M.Y. Julkarni-ne	Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)
	<p>Penelitian ini membandingkan beton normal dengan beton dengan campuran bubuk scoria (VSC) dengan presentasi 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% dari berat semen. Diperoleh kinerja beton VSC lebih baik dari pada beton normal dengan kandungan abu vulkanik (5%, 10%, 15%) pada kondisi terendam penuh. Selain itu, berdasarkan analisis (XRD) <b>kandungan kalsium hidroksida yang lebih rendah dan pembentukan garam friedel yang</b></p>			

Tabel 2.6 (lanjutan)

	<b>relatif lebih tinggi pada beton VSC dibandingkan beton normal (NC). Jadi beton VSC menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap masuknya klorida.</b>			
10.	2014	The Effect of Sea Water on Compressive Strength of Concrete	Olutoge, F. Adeyemi and Amusan, G. Modupe-ola	International Journal of Engineering Science Invention
	Diamati bahwa beton yang dicampur dan <i>curing</i> dengan air laut (SS) meningkat secara bertahap dibandingkan beton kontrol (FF). Kuat tekan beton kontrol (FF) memiliki kuat tekan yang sesuai dengan campuran 1:2:4 pada umur 28 hari yaitu 20 MPa. Dari grafik didapatkan kesimpulan <b>beton dicampur dan <i>curing</i> dengan air laut (SS) memiliki kuat tekan tertinggi dari sampel lainnya pada umur 7, 14, 28, dan 90 hari.</b> Untuk beton dicampur air tawar dan <i>curing</i> air laut (FS) <b>mengalami penurunan pada umur 21 hari.</b> Namun, kembali mengalami peningkatan pada umur 28 hari dan 90 hari			
11	2018	Volumetric Water Content Estimation of C-30 Concrete Using GPR	I. Kaplanvural, E. Peksen & K. Özkap	Construction and Building Materials
	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memantau variasi kadar air dari waktu ke waktu menggunakan data GPR secara non-destruktif. <b>Kesamaan kandungan air volumetrik yang dihitung dari laboratorium dan pengukuran GPR menunjukkan penerapan yang memuaskan dari metode yang disarankan.</b> Dimungkinkan untuk mendapatkan hubungan antara sinyal GPR dan variasi kadar air dari balok beton C-30.			
12	2008	Use of Capacitive and GPR Techniques for the Non-Destructive Evaluation of Cover Concrete	Xavier De´roberta, Jean Iaquintab, Gilles Klyszc & Jean-Paul Balayssacc	NDT & E International



Tabel 2.6 (lanjutan)

	<p>Studi ini, yang dilakukan dengan menggunakan pendekatan GPR dan kapasitif baik dalam mode eksperimental maupun numerik, telah mengungkap potensi untuk memperkirakan kadar air pelat beton dari sensor yang beroperasi menurut kedua teknik tersebut. Prosedur-prosedur ini tetap sangat saling melengkapi dan perbedaan-perbedaan kecil dapat ditawarkan untuk membuatnya lebih atau kurang cocok untuk survei satu kali atau berkelanjutan, bersama dengan spesifikasi kebutuhan atau tidak untuk pasca-pemrosesan. <b>Dengan demikian dirasakan bahwa teknik kapasitif dapat digunakan secara efisien di tempat untuk memberikan hasil yang akurat sehubungan dengan beton penutup, misalnya sebelum penyelidikan GPR ekstensif.</b></p>
--	--

Tabel 2.7 Penelitian Tedahulu Terkait *Mix Design* SNI 03-2834-2000

No	Tahun	Judul Artikel	Penulis	Nama Jurnal
1.	2019	Analisis Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656: 2012 dengan Kuat Tekan 30 MPa	Helena Dewi Kuntari, Andry Alim Lingga, Asep Supriyadi	Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil
		<p>Penelitian dilakukan agar didapatkan selisih antara SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012 dalam hal modulus elastis, kuat tekan, dan jumlah kebutuhan bahan dengan menggunakan dua variasi nilai slump yaitu variasi I (slump 30-60 mm dan slump 25-20 mm) untuk variasi II (slump 60-180 mm dan slump 75-100 mm) untuk mutu rencana 30 MPa. <b>Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas dan kuat tekan tertinggi didapatkan dengan nilai slump 30-60 mm menggunakan SNI 03-2834-2000.</b></p>		
2.	2017	Studi Perbandingan Rancang Campur Beton Normal Menurut SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012	Agus Santoso, Darmono, Faqih Ma'arif, Sumarjo H.	Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur

Tabel 2.7 (lanjutan)

	Uji kuat tekan dilakukan pada benda uji dengan kuat tekan 35 MPa, 30 MPa dan 25 MPa. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa <b>kuat tekan beton rancangan SNI 03-2834-2000 lebih tinggi dari SNI 7656 2012 miliknya kuat tekan diatas 30 MPa.</b>			
3.	2017	Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012	Elia Hunggu-rami, Margareth E. Bolla, Papy Messakh	Jurnal Teknik Sipil
	Rasio campuran beton yang dibutuhkan untuk ukuran agregat 20cm dan 40cm dibandingkan menggunakan kedua desain campuran. Uji kuat tekan diterapkan pada umur 28 hari dengan kualitas desain ( $f_c'$ ) 25 MPa, 20 MPa, dan 15 MPa. Walaupun dari hasil kajiannya menunjukkan bahwa dua desain campuran menghasilkan kuat tekan tergantung dari kualitas rencana, <b>SNI 7656:2012 menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dari SNI 03-2834-2000.</b>			

Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu Terkait Proses Pengecoran

No	Tahun	Judul Artikel	Penulis	Nama Jurnal
1.	2022	Perbandingan <i>Mix Design</i> SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012 Ditinjau dari Proses Pengecoran Beton Normal	Joerda Foulhudan, Dwi Nurtanto dan Krisnamurti	Jurnal Riset Rekayasa Sipil
	Pada penelitian menunjukkan proses pelaksanaan pengecoran yaitu, kerikil, semen, pasir, dan ditambahkan air pada akhir proses <b>pengecoran (dry mixing) dengan kerikil+semen selama 4 menit, lalu ditambahkan pasir selama 4 menit dan air selama 3 menit menghasilkan kuat tekan paling optimum.</b>			
2.	2018	Analisa Kuat Tekan Beton Terhadap Lamanya Waktu Pengadukan	Irzal Agus	Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil Unidayan

Tabel 2.8 (lanjutan)

	<p>Kuat tekan beton dihasilkan dari lama waktu pencampuran antara 1, 5, 10 dan 15 menit pada umur 3 hari sebesar 95,31 kg/cm<sup>2</sup>, 128,5 kg/cm<sup>2</sup>, 122,7 kg/cm<sup>2</sup>, 111,1 kg/cm<sup>2</sup>, umur 7 hari sebesar 108,3 kg/cm<sup>2</sup>, 142,9 kg/cm<sup>2</sup>, 126,9 kg/cm<sup>2</sup>, 115,5 kg/cm<sup>2</sup>, dan umur 28 hari sebesar 125,6 kg/cm<sup>2</sup>, 196,3 kg/cm<sup>2</sup>, 158,5 kg/cm<sup>2</sup>, 147,2 kg/cm<sup>2</sup>. <b>Berdasarkan nilai kuat tekan yang memenuhi kuat tekan yang direncanakan 190 kg/cm<sup>2</sup> atau 19 Mpa terdapat pada lama waktu pencampuran 5 menit.</b></p>			
3.	2010	Effects of Silica Fume, Ultrafine and Mixing Sequences on Properties of Ultra High Performance Concrete	S. Shihada and M. Arafa	Asian Journal of Materials Science
	<p>Pada penelitian ini menggunakan silica fume, bubuk kuarsa sebagai agregat sangat halus, dan urutan prosedur pencampuran untuk mengetahui pengaruh terhadap sifat utama dari ultra high performance concrete. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengecoran dengan <b>urutan mencampur semua material kering (semen, agregat halus, agregat kasar, agregat sangat halus, dan silica fume) kemudian ditambahkan air dengan 40% superplastisizer setelah itu didiamkan 3 menit lalu ditambahkan 60% superplastisizer</b> mendapatkan hasil kuat tekan tertinggi.</p>			

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Umum**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan untuk mendapatkan data-data hasil penelitian, yaitu kuat tekan, kuat tarik belah dan permeabilitas. Pengujian material dilakukan sesuai dengan prosedur yang ada pada ASTM (*American Society for Testing and Material*) dan SNI. Pada penelitian ini digunakan 2 variasi benda uji, beton terlindung dan beton berada di lingkungan laut. Setelah data didapatkan selanjutnya data akan dianalisis dan dibandingkan antara sampel beton terlindung dengan beton terpapar air laut.

#### **3.2 Lokasi Penelitian**

Penelitian ini merupakan eksperimen yang dilaksanakan ditiga laboratorium, yaitu, Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung, Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung dan Laboratorium Terpadu Universitas Indonesia. Lingkungan laut yang digunakan untuk tempat penempatan sampel beton dipilih Pelelangan Ikan TPI lempasing, Teluk Betung Bandar Lampung.

#### **3.3 Persiapan Alat**

Alat yang akan digunakan pada penelitian ini:

##### **3.3.1 Cetakan Benda Uji**

Cetakan benda uji yang digunakan pada penelitian untuk mencetak beton dengan bentuk silinder dan balok. Bentuk silinder mempunyai

ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang dipakai untuk menguji kuat tekan, kuat tarik belah, mikrostruktur dan permeabilitas. Bentuk balok memiliki ukuran lebar 150 mm, tinggi 150 mm dan panjang 600 mm yang dipakai untuk pengujian menggunakan *Ground Penetrating Radar* (GPR) dan balok ukuran lebar 200 mm, Panjang 200 mm dan tinggi 120 mm untuk pengujian permeabilitas standar.

### 3.3.2 Oven

Oven berguna untuk mengeringkan bahan-bahan pada pengujian material saat kondisi kering, oven yang akan digunakan mempunyai kapasitas suhu maksimum  $110^{\circ}\text{C}$ .

### 3.3.3 Saringan

Saringan ini berfungsi untuk mengukur gradasi agregat supaya mengetahui nilai modulus kehalusan agregat halus dan agregat kasar. Pada penelitian ini gradasi agregat kasar dan agregat halus berlandaskan standar ASTM C-33. Ukuran saringan yang digunakan untuk pengujian ini yaitu 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, dan pan.

### 3.3.4 Timbangan

Timbangan yang digunakan pada persiapan dan pelaksanaan ini adalah timbangan dengan ketelitian 0,1 dengan kapasitas maksimum 30 kg.

### 3.3.5 *Concrete Mixer*

Alat ini sebagai alat pengaduk campuran beton. Dengan memiliki kapasitas  $0,125\text{ m}^3$  mempunyai kecepatan 20 hingga 30 putaran per menit.

### 3.3.6 Kontainer

Kontainer adalah aluminium yang berbentuk persegi yang sering digunakan sebagai wadah atau tempat untuk agregat.

### 3.3.7 Kerucut Pasir

Kerucut pasir yang sering juga disebut kerucut abrams ini digunakan dalam pengujian agregat halus untuk mengetahui apakah agregat sudah berada pada kondisi SSD.

### 3.3.8 *Compressing Testing Machine (CTM)*

Mesin CTM digunakan sebagai alat uji kuat tekan untuk benda uji silinder, dan uji kuat tarik belah pada benda uji silinder. Mesin CTM yang digunakan pada penelitian memiliki kapasitas beban maksimal 3000 kN.

### 3.3.9 Bak Perendam

Digunakan untuk proses curing beton yang bertujuan menjaga kelembaban agar beton tidak cepat kehilangan air dan mengoptimalkan pertumbuhan jembatan silika.

### 3.3.10 Botol *La Chatelier*

Alat ini berguna supaya berat jenis PCC (Portland Composite Cement) dapat diketahui. Kapasitas botol La Chatelier sebesar 250 ml.

### 3.3.11 *Pycnometer*

Pycnometer digunakan sebagai alat untuk menguji kandungan zat organik dalam pasir.

### 3.3.12 *Ground Penetrating Radar (GPR)*

GPR adalah metode untuk mendeteksi objek yang terkubur di bawah permukaan tanah dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik.

### **3.4 Persiapan Bahan**

#### 3.4.1 Semen *Portland*

Semen berguna untuk bahan pengikat agregat dan mengisi ruang kosong antar agregat supaya terbentuk massa yang padat. Penelitian ini menggunakan semen Tiga Roda tipe PCC (*Portland Composite Cement*) dengan keadaan yang masih tertutup rapat dalam kemasan (zak) dan mempunyai berat 50 kg.

#### 3.4.2 Agregat Kasar

Agregat kasar yang akan digunakan pada penelitian ini adalah batu pecah yang lolos dengan ukuran saringan 19 mm, yang didapat dari proses batuan pecah hasil dari industri pemecah batu.

#### 3.4.3 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang diperoleh dari Gunung Sugih, Lampung Tengah. Secara visual, pasir ini memiliki tekstur yang relatif bulat dan berwarna coklat keputihan.

#### 3.4.4 Air

Air pada penelitian ini diperoleh dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

### **3.5 Prosedur Penelitian**

Ada beberapa prosedur penelitian yaitu:

1. Persiapan bahan dan alat

Tahapan pertama menyiapkan bahan-bahan yang akan dibutuhkan. Setelah itu dilakukan pengecekan peralatan kembali, untuk mengetahui alat yang masih berfungsi atau tidak agar penelitian tidak terhambat.

## 2. Pemeriksaan bahan campuran beton

Pada penelitian ini dilakukan pemeriksaan material pada agregat kasar dan agregat halus. Data-data yang didapat kemudian disesuaikan dengan syarat ASTM agar dapat diketahui bahan campuran beton memenuhi persyaratan atau tidak.

## 3. Perencanaan campuran (*mix design*)

Tahap ini adalah tahap pembuatan rencana campuran beton dengan menggunakan metode SNI 03 – 2834 – 2000. Perencanaan campuran beton dengan semen, agregat, dan air sangat utama agar mendapatkan kekuatan beton yang telah direncanakan dengan kuat tekan ( $f'c$ ) = 20,75 MPa atau K-250 pada umur 28 hari.

## 4. Pembuatan sampel benda uji

Sampel benda uji dibuat sebanyak 42 sampel, 36 benda uji silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah. 3 benda uji berbentuk balok ukuran lebar 150 mm, tinggi 150 mm dan panjang 600 mm untuk pengujian permeabilitas menggunakan *Ground Penetrating Radar* (GPR). Serta 3 balok ukuran lebar 200 mm, tinggi 120 mm dan panjang 200 mm untuk pengujian permeabilitas standar. Setiap variasi terdiri dari 3 (tiga) sampel. Semua sampel ini dilakukan pengujian pada umur sampel 28 hari, 56 hari dan 90 hari dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3.1 Jumlah dan Kode Benda Uji

Pengujian	Umur Pengujian		
	28	56	90
Kuat tekan	BTL.1.28	BTL.1.56	BTL.1.90
	BTL.2.28	BTL.2.56	BTL.2.90
	BTL.3.28	BTL.3.56	BTL.3.90
	BN.1.28	BN.1.56	BN.1.90
	BN.2.28	BN.2.56	BN.2.90
	BN.3.28	BN.3.56	BN.3.90
Kuat tarik belah	BTL.4.28	BTL.4.56	BTL.4.90
	BTL.5.28	BTL.5.56	BTL.5.90



	BTL.6.28	BTL.6.56	BTL.6.90
	BN.4.28	BN.4.56	BN.4.90
	BN.5.28	BN.5.56	BN.5.90
	BN.6.28	BN.6.56	BN.6.90
	BN.Bk.7.28	-	-
	BN.Bk.8.28	-	-
Pengujian	BN.Bk.9.28	-	-
permeabilitas	BTL.B.1	BTL.B.1	BTL.B.1
	BTL.B.2	BTL.B.2	BTL.B.2
	BTL.B.3	BTL.B.3	BTL.B.3

Keterangan :

- BN = beton normal
- BN.Bk = beton normal (balok)
- BTL = beton terendam air laut
- BTL.B = beton terendam air laut (balok)

Ada beberapa tahap untuk pembuatan benda uji yaitu:

a. Mempersiapkan bahan adukan beton

Bahan penyusun beton terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan semen dipersiapkan dengan kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*). Hal ini dilakukan supaya bahan-bahan yang telah disiapkan tidak menyerap air.

- b. Setelah bahan campuran beton telah disiapkan, dilanjutkan dengan mencampurkan bahan – bahan penyusun beton. Proporsi dari masing – masing material sesuai dengan perhitungan *mix design*.
- c. Material penyusun beton dimasukkan ke dalam mesin *mixer* sesuai urutan metode percampuran *dry mixing*.

5. Pengujian nilai *slump* adukan beton. Di bawah ini langkah – langkah pengujian nilai *slump* :

- a. Kerucut abrams disiapkan, kemudian adukan beton dimasukkan ke dalam kerucut Abrams hingga 1/3 bagian, dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 25 kali. Adukan ditambah hingga 2/3 bagian, setelah itu ditumbuk kembali sebanyak 25 kali. Setelah itu, adukan dimasukkan sampai penuh, dan ditumbuk kembali sebanyak 25 kali setelah itu kerucut abrams diisi penuh dan diratakan.

- b. Selanjutnya kerucut abrams diangkat ke atas dengan tegak dan dilihat penurunan yang terjadi dengan cara mengukur tinggi beda cetakan kerucut abrams untuk mendapatkan nilai *slump*.
6. Pencetakan benda uji silinder dan balok dilakukan dengan cara sebagai berikut:
    - a. Menyiapkan cetakan benda uji
    - b. Mengoleskan oli pada sisi dalam cetakan sebelum dituangkan adukan beton
    - c. Lalu dilanjutkan dengan menuangkan adukan beton kedalam cetakan silinder hingga penuh dan kemudian dipadatkan menggunakan *vibrator* serta meratakan permukaan cetakan.
    - d. Melepaskan beton dari cetakan setelah berumur 24 jam dari pengecoran.
    - e. Memberikan kode pada setiap sampel pada bagian atas beton.

7. Perawatan benda uji (*curing*)

Perawatan beton untuk membuat beton selalu lembab. Kelembaban membuat proses hidrasi berjalan dengan baik dan proses pengerasan jadi lebih sempurna sehingga mutu beton tercapai. Proses curing ini dilakukan dengan cara perendaman benda uji selama 7 hari dalam bak air.

8. Pengujian sampel benda uji

Pada penelitian kali ini, sampel benda uji ini akan dilakukan 3 pengujian, yaitu pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan permeabilitas beton

- a. Kuat tekan

Uji tekan beton dengan menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*) dengan kapasitas 150 ton dan kecepatan pembebanan 0,14-0,34 MPa/detik seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1. Benda uji silinder setelah proses curing diangkat dan ditimbang, setelah itu dicatat. Benda uji diberi lapisan belerang 1,5-3 mm pada permukaan yang ditekan.

Pengujian ini dilakukan pada umur beton mencapai 28 hari, 56 hari dan 90 hari. Rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya kuat tekan beton sebagai berikut:

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

Dengan :

$f_c'$  : Kuat tekan (MPa)

P : Beban tekan (N)

A : Luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )



Gambar 3.1. Pengujian kuat tekan.

b. Kuat tarik belah

Setelah beton melewati masa perendaman atau *curing*, beton harus dikeluarkan dari bak rendam saat mencapai umur rencana. Silinder beton kemudian dikeringkan dari air, ditimbang untuk menentukan berat isi beton keras, dan kemudian dilakukan pengujian kuat tarik belah beton dengan menggunakan *Compressing Testing Machine* (CTM). Artinya, silinder dibelah oleh gaya kearah diameternya untuk mendapatkan kekuatan tarik belah seperti pada Gambar 3.2. Sebuah batang ditambahkan ke mesin uji untuk mendistribusikan beban secara merata di sepanjang silinder. Kekuatan belahan dihitung dari beban maksimum yang diberikan sebagai berikut:

$$F_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

$F_{ct}$  = kekuatan tarik belah (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  = beban maksimal (N)

$L$  = panjang silinder (mm)

$D$  = diameter (mm)



Gambar 3.2. Posisi sampel saat pengujian kuat tarik belah.

Uji tarik belah beton dilakukan pada beton yang telah mencapai umur rencana. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan yang telah dicapai beton pada umur tertentu dan apakah hasilnya sesuai dengan yang direncanakan sesuai *mix design*. Uji tarik belah beton dilakukan sampai beton tidak dapat lagi menahan beban alat uji tarik belah beton.

c. Pengujian permeabilitas

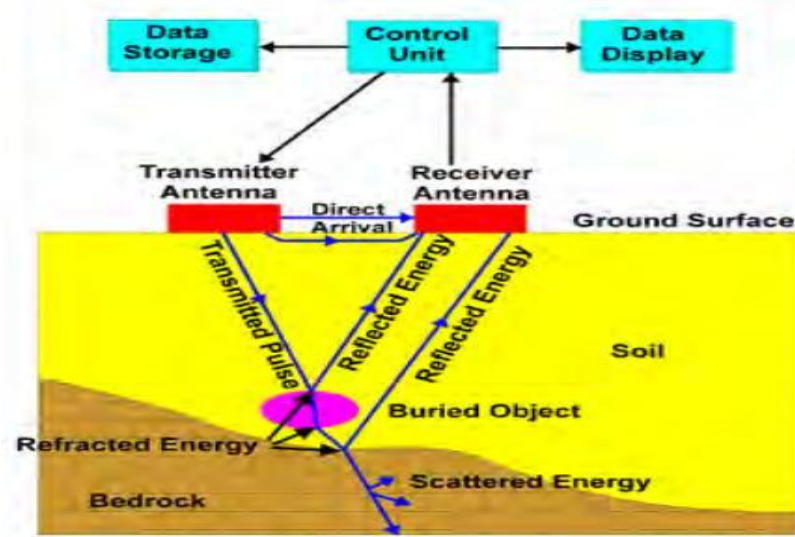
Selain pengujian sifat mekanik beton, pada penelitian ini juga dilakukan pengujian permeabilitas beton. Pengujian permeabilitas beton dilakukan dengan tiga metode, yaitu dengan menggunakan GPR (*Ground Penetrating Radar*), secara alami dengan merendam beton dan menggunakan pengujian permeabilitas standar:

➤ Permeabilitas menggunakan GPR (*Ground Penetrating Radar*)



Gambar 3.3. Alat GPR (*Ground Penetrating Radar*).

Gambar 3.3 merupakan foto dari alat GPR (*Ground Penetrating Radar*) yang digunakan pada penelitian ini. Pengujian menggunakan GPR dilakukan pada beton terendam air laut umur beton 28 hari, 56 hari dan 90 hari. Pada pengujian menggunakan GPR ini bersifat non – destruktif (tanpa merusak benda uji). Prinsip kerja alat GPR yaitu dengan menstransmisikan gelombang radar (*Radio Detection and Ranging*) kedalam medium target dan selanjutnya gelombang tersebut dipantulkan Kembali ke permukaan dan diterima oleh alat penerima radar (*receiver*), dari hasil refleksi diperoleh berbagai macam objek dapat terdeteksi dan terekam dalam radargram. Mekanisme kerja GPR dan contoh rekaman radargram ditunjukkan oleh Gambar 3.4 (Widayanti, 2020).



Gambar 3.4. Skema kerja GPR.  
(Sumber: Widayanti,2020)

➤ Permeabilitas secara alami

Metode ini dilakukan dengan merendam benda uji di air laut pada jangka waktu 28 hari, 56 hari dan 90 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian ini dilakukan menggunakan mesin pengujian kuat tarik belah. Pengujian dilakukan pada saat kondisi benda uji basah. Untuk menjaga kondisi ini, benda uji yang diangkat dari air laut dibungkus menggunakan aluminium foil saat membawa benda uji ke laboratorium. Pengujian ini dilakukan secara visual dengan mengukur menggunakan penggaris kedalam air yang masuk kedalam beton. Contoh pengujian permeabilitas metode alamiah ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Contoh pengujian permeabilitas secara alami.

➤ Permeabilitas standar

Pada metode yang kedua beton diuji menggunakan mesin uji permeabilitas buatan. Pada metode ini memiliki prinsip kerja dengan memberikan tekanan air terhadap benda berbentuk balok (lebar 200 mm, panjang 200 mm dan tinggi 120 mm) dan ditahan selama beberapa selang waktu sebagai berikut:

- 1 bar ( $1 \text{ kg/cm}^2$ ) selama 48 jam.
- 3 bar untuk 24 jam berikutnya.
- 7 bar untuk 24 jam berikutnya.

Setelah diberikan tekanan air sampel balok akan dibelah dan diukur kedalaman resapan air yang terjadi pada sampel yang diberikan tekanan. Alat *permeability test* dapat dilihat pada Gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3.6. Alat *permeability test*.

### 3.6 Analisis Data Hasil Penelitian

Analisis data dilakukan menggunakan kriteria *dyxon*. Uji *dyxon* digunakan untuk data hasil dari laboratorium yang tidak termasuk dalam kelompok besar yang seragam. Cara uji *dyxon* adalah sebagai berikut data disusun mulai dari data terkecil sampai data terbesar.

Untuk jumlah data 3 – 7, uji *dyxon* dihitung dengan rumus:

- Untuk data terendah  $\frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1} > D_n$
- Untuk data tertinggi  $\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1} > D_n$

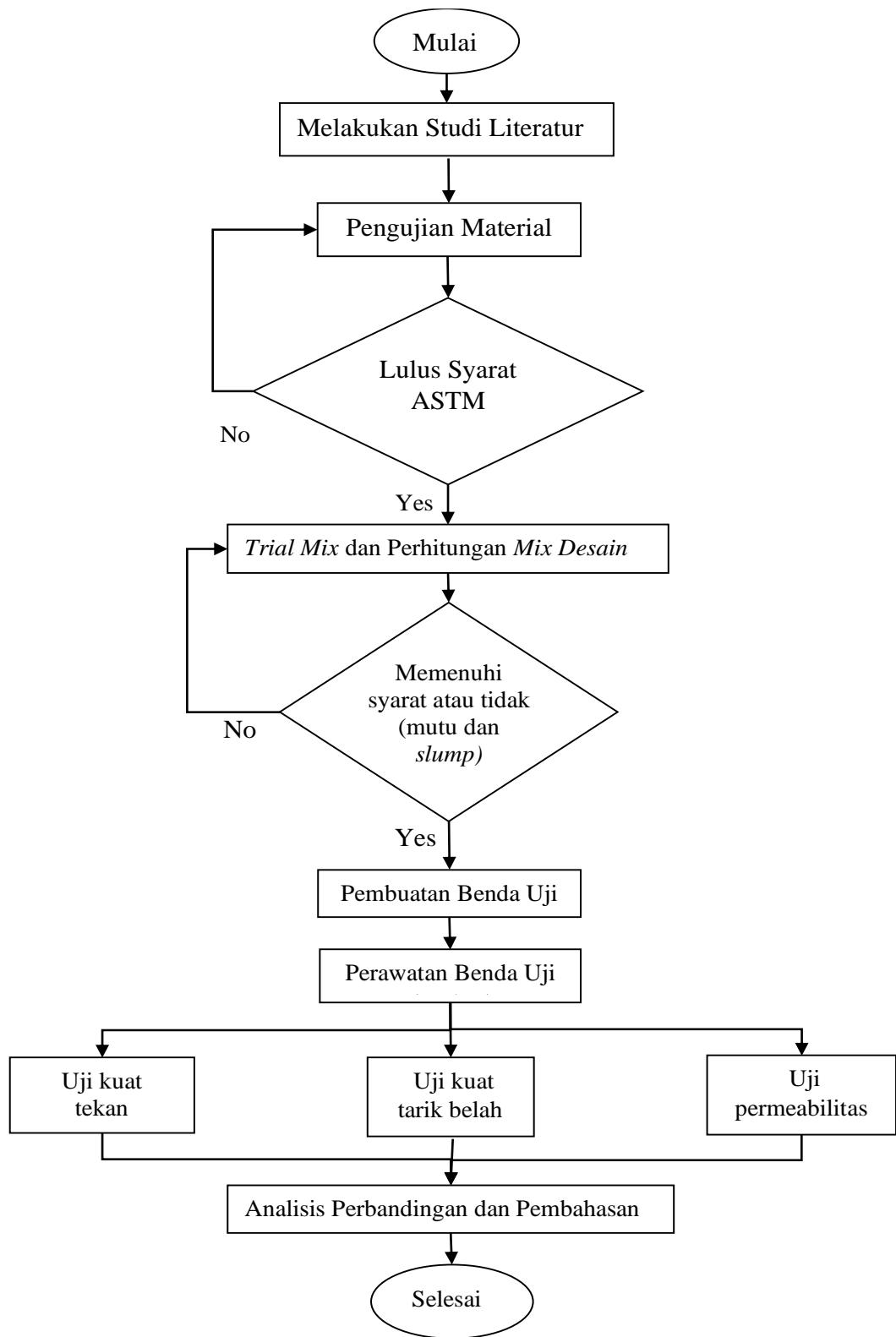
Jika  $D_{hitung} > D_{tabel}$ , maka data tersebut merupakan pencilan dan dapat dibuang. Hal tersebut dilakukan terhadap data selanjutnya hingga tidak ada lagi data pencilan.

Analisis data hasil penelitian dilakukan dengan cara sebagai berikut:

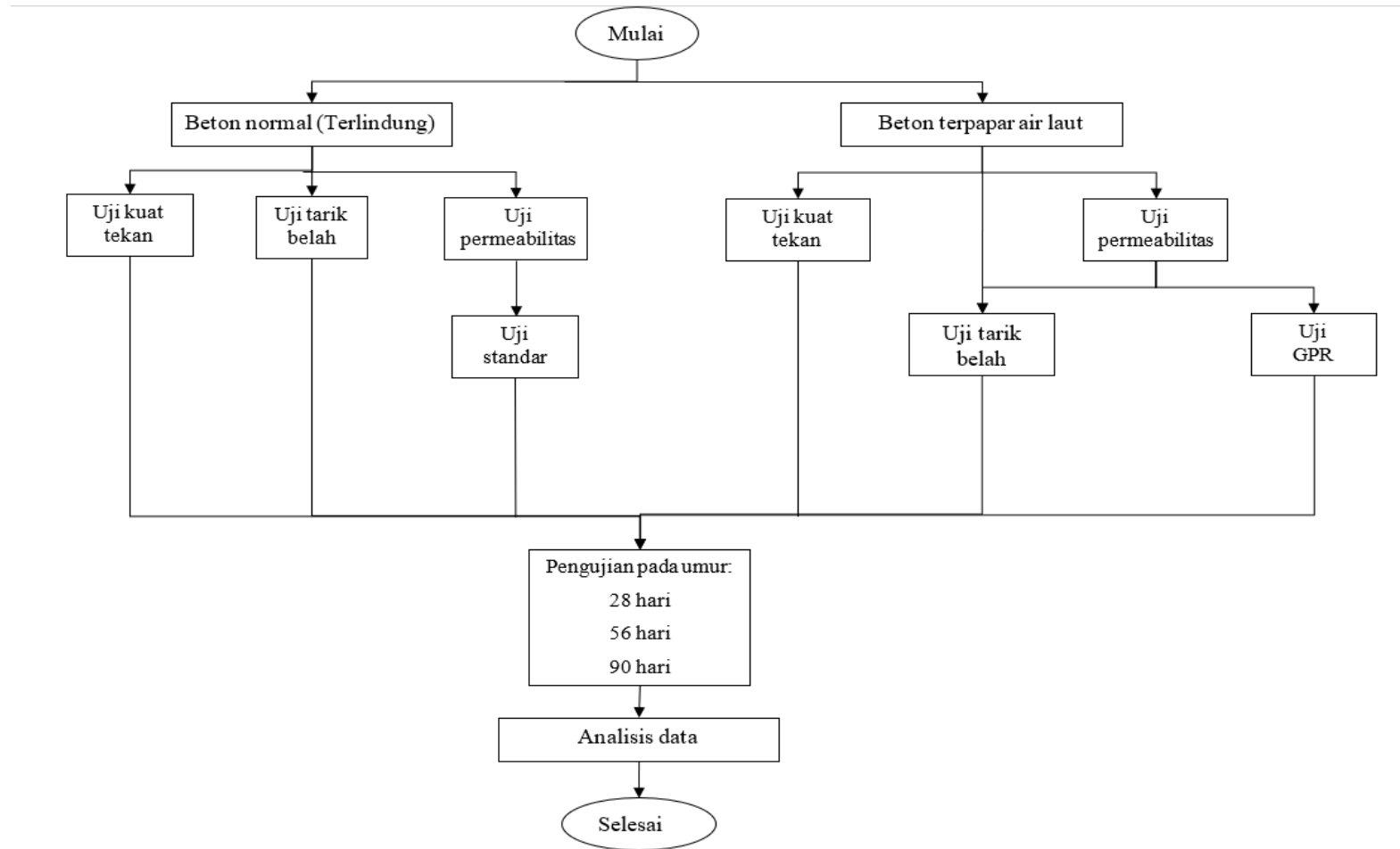
- a. Menghitung kuat tekan beton benda uji silinder dan disajikan dalam bentuk tabel berdasarkan Persamaan 1 dan diolah menggunakan *dyxon* ASTM E 178-02.
- b. Menghitung kuat tarik belah beton benda uji silinder dan disajikan dalam bentuk tabel dengan Persamaan 2 dan diolah menggunakan *dyxon*.
- c. Mencatat kedalaman permeabilitas beton dengan uji permeabilitas buatan dan disajikan dalam bentuk tabel.
- d. Menganalisis hubungan antara uji permeabilitas alamiah (terpapar air laut) menggunakan GPR (*Ground Penetrating Radar*), uji permeabilitas buatan (uji di laboratorium) dan dari uji kuat tarik belah.
- e. Menganalisis hubungan antara sifat mekanik beton dengan sifat fisik beton yang diberikan perlakuan berbeda, yaitu terpapar air laut dan terlindung.



### 3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7. Diagram alir penelitian.



Gambar 3.8. Diagram alir pengujian sampel.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil percobaan yang telah dianalisis didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kuat tekan beton terlindung rata – rata umur 28 hari sebesar 22,56 MPa. Kuat tekan beton memenuhi target kuat tekan rencana dengan perhitungan *mix design* SNI yaitu K-250 (20,75 MPa). Kuat tekan rata – rata beton umur 56 hari dan 90 hari berturut – turut sebesar 24,35 MPa dan 25,84 MPa.
2. Kuat tekan beton terendam air laut rata – rata umur 28 hari sebesar 22,27 MPa memenuhi target kuat tekan rencana yaitu K-250 (20,75 MPa) dari perhitungan *mix design* berdasarkan metode SNI 03-2834-2000. Kuat tekan rata – rata beton umur 56 hari dan 90 hari berturut -turut sebesar 17,67 MPa dan 16,10 MPa. Kuat tekan beton terendam air laut mengalami penurunan terhadap beton terlindung pada umur 28, 56 dan 90 hari berturut – turut sebesar 1,30%, 37,80% dan 60,52%.
3. Pada umur beton 28 hari didapatkan rata – rata kuat tarik belah beton terlindung sebesar 6,80 MPa, pada umur 56 hari sebesar 7,22 MPa dan pada umur 90 hari sebesar 8,05 MPa.
4. Pada pengujian umur beton 28 hari diperoleh kuat tarik belah beton terendam air laut sebesar 8,89 MPa. Kemudian pada umur 56 hari dan 90 hari didapatkan nilai kuat tarik belah beton berturut-turut sebesar 7,65 MPa dan 7,23 MPa. Kuat terik belah beton terendam air laut mengalami kenaikan terhadap beton terlindung pada umur 28 dan 56 hari sebesar 23,55% dan 5,58%. Tetapi mengalami penurunan 11,35% pada umur 90 hari

5. Permeabilitas dengan metode standar DIN EN 12390-8:2009-07 beton terlindung pada umur 28 hari sebesar 26,57 mm. Pengujian permeabilitas beton menggunakan metode alami (merendam beton di air laut) diperoleh permeabilitas beton pada umur 28 hari sebesar 27,7 mm, umur 56 hari sebesar 35,0 mm dan pada umur 90 hari sebesar 40,7 mm. Sedangkan pengujian permeabilitas menggunakan metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) dapat menganalisis permeabilitas beton dengan hasil yang diperoleh yaitu nilai amplitudo semakin menurun seiring bertambahnya waktu perendaman. Melemahnya nilai amplitudo berarti material yang memantulkan sinyal lebih lembut atau yang terindikasi terdapat air. Hal ini dapat dikorelasikan dengan pengujian permeabilitas metode alami yang menunjukkan meningkatnya permeabilitas beton seiring bertambahnya waktu perendaman.
6. Sifat fisik (permeabilitas beton) sangat mempengaruhi sifat mekanik beton (kuat tekan beton). Semakin besar permeabilitas beton maka akan semakin kecil kuat tekan beton dan semakin kecil permeabilitas beton maka nilai kuat tekan akan semakin besar. Hal ini terjadi karena beton yang memiliki permeabilitas beton tinggi, beton memiliki pori-pori yang besar sehingga kuat tekan beton akan kecil. Hubungan keduanya dapat membentuk garis linier.
7. Beton yang diberikan perlakuan terendam air laut diperoleh korelasi pengujian kuat tekan beton dengan permeabilitas beton. Hasil pengujian permeabilitas beton menggunakan metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) diperoleh warna amplitudo yang semakin cerah (semakin melemah) seiring lama perendaman. Semakin melemahnya amplitudo menandakan bahwa material yang memantulkan sinyal amplitudo melemah tingkat kekerasannya. Oleh karena itu, diperoleh korelasi dengan hasil pengujian kuat tekan yang menurun seiring lama waktu perendaman. Selain itu, hasil permeabilitas menggunakan metode GPR dapat dibuktikan dengan pengujian permeabilitas secara alami (merendam beton pada air laut). Hal ini ditunjukkan dengan melemahnya sinyal amplitudo yang menandakan bahwa pada pori-pori terisi oleh air.

Berdasarkan pengujian permeabilitas beton, berdasarkan SK-SNI S-36-1990-03 beton dapat dikatakan kedap air untuk agresif sedang dan agresif tinggi. Namun laju permeabilitas beton berdasarkan ACI 301-729 (revisi 1975) lebih besar dari batas yang ditentukan. Hal ini terjadi karena adanya tekanan secara alami yang berasal dari ombak air laut.

## 5.2 Saran

Untuk menindak lanjuti penelitian ini maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk melengkapi dan merupakan pengembangan dari tema penelitian ini. Saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Dalam perencanaan peletakan benda uji sebaiknya dirancang secara serius, mengingat ombak air laut yang besar dapat menyeret benda uji.
2. Penggunaan alat *Ground Penetrating Radar* (GPR) untuk ketebalan benda uji 150 mm disarankan menggunakan frekuensi antena sekitar 2 – 3,5 GHz agar hasil yang diperoleh lebih detail.
3. Saat pengujian GPR seharusnya benda uji diberikan tanda permukaan yang dilakukan pengujian agar konsisten untuk pengujian di umur berikutnya.
4. Pada proses pelaksanaan sebaiknya menggunakan alat K3 (Kesehatan dan Keselamatan Kerja) yang lengkap untuk melindungi diri terhadap kemungkinan adanya bahaya/kecelakaan kerja.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 566-89. 1993. *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate By Drying*. American Society for Testing and Material.
- ASTM, C. 128-78 *Standart Test Method for Density*. Relative Density (Specific Gravity, and Absorbtion of Fine Aggregate.
- ASTM C33-78. 2010. *Standard Specification for Concrete Aggregates 1*.
- ASTM, E. 178-02, *Standard Practice for Dealing with Outlying Observations*, 2002 Am. Soc. for Testing Materials.
- Abiyoga, I. P. A., Pramudita, A. A., & Arseno, D. 2022. Mobile Ground Penetrating Radar (GPR) Untuk Pemetaan Kandungan Air Pada Tanah. *eProceedings of Engineering*, 9(4).
- Agus, I. 2018. Analisa Kuat Tekan Beton Terhadap Lamanya Waktu Pengadukan. *Jurnal MEDIA INOVASI Teknik Sipil Unidayan*. Vol. 7(2).
- Ahmad, S. B. 2018. Investigasi Pengaruh Air Laut sebagai Air Pencampuran dan Perawatan Terhadap Sifat Beton. *Journal INTEK*, 5(1), 48-52.
- Akmaluddin, A., & Murtiadi, S. 2018. *Struktur Balok Beton Bagian I Struktur Beton Bertulang*. UPT. Mataram University. Mataram.
- Antoni & Nugraha. 2007. *Teknologi Beton*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Anwar, C., Bachtiar, E., & Nur, N. K. 2019. Sifat Mekanik Beton Serat Ijuk yang Terendam Air Laut. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences* Vol, 5(2).
- Asroni, A. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Bahri S. Ayi. 2009. *Penentuan Karakteristik Dinding Gua Seropan Gunung Kidul dengan Metode Ground Penetrating Radar*. ITS. Surabaya.
- Bryant, M. 1964. Effects of Seawater on Concrete. Miscellaneous paper no 6-690. *US. Army Engineers, Waterways experiment station, Corps of Engineers, Vicks berg, Mississippi*.

- Dérobot, X., Iaquina, J., Klysz, G., & Balayssac, J. P. 2008. Use of Capacitive and GPR Techniques for the Non-Destructive Evaluation of Cover Concrete. *Ndt & E International*, 41(1), 44-52.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia*. Pusat Pengembangan Pemukiman Badan Penelitian dan Pengembangan PU. Bandung.
- Emmanuel, A.O; Oladipor, F.A; & Olabode, O. 2012. Investigation of Salinity Effect on Compressive Strength of Reinforced Concrete. *Journal of Sustainable Development*; Vol. 5, No. 6; 2012. ISSN 1913-9063 E-ISSN 1913-9071 pp: 74-82.
- Foulhuda, J., Nurtanto, D., & Krisnamurti, K. 2022. Perbandingan Mix Design SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656: 2012 Ditinjau dari Proses Pengecoran Beton Normal. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*. Vol. 5(2), 98-107.
- Hamdi, F., & Imran, H. A. 2019. Mechanical Degradation of Normal Concrete due to Seawater Intrusion. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 674, No. 1, p. 012015).
- Hidayat & Rizqi Rizaldi. 2011. Rancang Bangun Alat Pemisah Garam Dan Air Tawar Dengan Menggunakan Energi Matahari, *Skripsi. Dep. Ilmu & Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor*.
- Hossain, K. M. A., Julkarnine, K. M. Y., & Anwar, M. S. 2015. Evolution of Strength and Durability of Scoria Concrete in Sea Environment. *Evolution*, 2(6).
- Hunggurami, E., Bolla, M. E., & Messakh, P. 2017. Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656: 2012. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 6(2), 165-172.
- Indocement, PT, Tbk. 2018. *PCC Tiga Roda: Produk Hijau yang diakui oleh Green Listing Indonesia*.
- Indriyanto, L. A., Saputra, A., & Sulistyono, D. 2020. Pengaruh Air Laut Pada Masa Perawatan Terhadap Infiltrasi Ion Klorida Pada Beton dengan Penambahan Fly Ash 12, 5%. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 3(2), 61-67.
- Islam, M. M., Islam, M. S., Mondal, B. C., & Islam, M. R. 2010. Strength behavior of concrete using slag with cement in sea water environment. *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 38(2), 129-140..

- Kaplanvural, I., Pekşen, E., & Özkap, K. 2018. Volumetric Water Content Estimation of C-30 Concrete Using GPR. *Construction and Building Materials*, 166, 141-146.
- Khirunnisa, S., Rifqi, M. G., & Amin, M. S. U. 2019. Kajian Kuat Tekan Beton di Lingkungan Laut Tropis Banyuwangi. Potensi: *Jurnal Sipil Politeknik*, 21(2), 47-53.
- Khonado, M. F., Manalip, H., & Wallah, S. E. 2019. Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Variasi Ukuran Agregat. *Jurnal Sipil Statik*, 7(3).
- Kuntari, H. D., Lingga, A. A., & Supriyadi, A. 2019. Analisis Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656: 2012 dengan Kuat Tekan 30 MPa. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*. Vol. 6(3).
- Maarif, S. 2022. *Transformasi Awal Kehidupan Larva Kakap Putih (Lates calcarifer) Pada Salinitas yang Berbeda*. Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin.
- Mansyur, M. 2013. *Perilaku Mekanik Beton yang Menggunakan Air Laut Mechanical Behavior Of Concrete Using Sea Water*. Doctoral dissertation, Universitas Hassanuddin.
- Mc Cormac, Jack C. 2004. *Desain Beton Bertulang-Edisi Kelima-jilid 2*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Mehta, P.K. 1986. *Durability. Chapter-5, Concrete structure, Properties and Materials, Printice-Hall, Eaglewood Cliffs, New Jersey*.
- Meka, B. S., Paembonan, A. Y., & Rizki, R., 2020. Investigasi Zona Intrusi Air Laut Berdasarkan Profil Data Ground Penetrating Radar (GPR): Studi Kasus Teluk Betung. *Teknik Geofisika, ITERA*.
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Neville. A.M dan Brooks, J.J. 1987. *Concrete Technology*. John Wiley & Sons.Inc. New York: United State
- Nawy, Edward G. 1998. *Beton Bertulang suatu Pendekatan Dasar*. Refika Aditama. Bandung.
- Olutoge, F. A., & Amusan, G. M. 2014. The Effect of Sea Water on Compressive Strength of Concrete. *International Journal of Engineering Science Invention*, 3(7), 23-31.



- Prayuda, H., Zega, B. C., & Afriandini, B. 2019. Kuat Tekan Beton dan Nilai Penyerapan dengan Variasi Perawatan Perendaman Air Laut dan Air Sungai. *Semesta Teknika*, 22(2), 112-122.
- Putro, A. A., Supriyanto, S., & Rinaldi, A. 2019. Interpretasi Bawah Permukaan Menggunakan Metode GPR (Ground Penetrating Radar) di Amblesan Jalan Ring Road II Kota Samarinda. *Geosains Kutai Basin*, 2(1).
- Rizky, C. B., & Saelan, P. 2019. Studi Mengenai Pengaruh Faktor Air-Semen dan Nilai Slump Beton Segar terhadap Permeabilitas Beton. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 5(4), 33.
- Santoso, A., Darmono, D., Ma'arif, F., & Sumarjo, H. 2017. Studi Perbandingan Rancang Campur Beton Normal Menurut SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656: 2012. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*. Vol. 13 (2), 105-115.
- Shihada, S., & Arafa, M. 2010. Effects of Silica Fume, Ultrafine and Mixing Sequences on Properties of Ultra High Performance Concrete. *Asian Journal of Materials Science*. Vol. 2 (3), 137-146.
- SK SNI T-15-1990-03. 1990. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Indonesia, 95.
- SK SNI S-36-1990-03. 1990. *Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2491. 2002. *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah*. Teknis Standardisasi Bidang Struktur dan Konstruksi Bangunan, Bandung.
- SNI 15-2049. 2004.: *Semen Portland*. Badan Standardisasi Indonesia. Bandung.
- SNI 15-7064. 2004. *Semen Portland Komposit*. Dewan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1970. 2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. BSN, Jakarta.
- SNI 1974. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2914. 1992. *Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Sugiharto, H., Surya, A., Wibowo, K., & Tjong, W. F. 2004. Rancang Bangun Alat Uji Permeabilitas Beton. *Civil Engineering Dimension*, 6(2), 94-100.

- Sulaiman, L., Suppa, R., Indriani, N. K., & Wahyuni, S. 2020. Ketahanan Beton Agregat Recycle Terhadap Lama Perendaman Air Laut. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan-CENTECH*, 1(2), 66-74.
- Sutrisno, W., Suprobo, P., Wahyuni, E., & Iranata, D. 2018. Microstructural Investigation of Reinforced Concrete Exposed to Cyclic Wetting and Drying. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(2), 411-417.
- Syaifi, Y. S. 2013. *Pembangkit Listrik Tenaga Tekanan Osmotik dengan Proses Membran*. ITB. Bandung
- Tijani, M. N., Inim, J. I., & Adetu, S. O. 2015. Experimental Study of Influence of Seawater on Strength Of Concrete Structures. *In Proceedings of Fifth International Conference on Geotechnique. Const. Mater. Environ. Osaka, Japan* (pp. 16-18).
- Tjokrodimuljo, K. 1996. *Buku Ajaran Teknologi Beton*. Nafiri. Yogyakarta.
- Tjokrodimuljo. 1992. *Teknologi Beton*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Tjokrodimuljo. 2007. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit. Yogyakarta
- Tumingan, T. 2020. Mikrostruktur dan Kuat Tekan Beton Menggunakan Limbah Abu Batubara (Pond Ash) Sebagai Pengganti Agregat Halus. *External Journals Collection*.
- Untu, G. E., Kumaat, E. J., & Windah, R. S. 2015. Pengujian Kuat Tarik Belah Dengan Variasi Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(10).
- Wang & Salmon, 1990. *Desain Beton Bertulang Edisi ke 4 Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Wedhanto, S. 2017. Pengaruh Air Laut Terhadap Kekuatan Tekan Beton yang Terbuat dari Berbagai Merek Semen yang Ada di Kota Malang. *Bangunan*. 22(2), 21-30.
- Widayanti, T. D. (2020). *Identifikasi Objek Bawah Permukaan Untuk Fondasi Jalan Tol di Jakarta Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar (GPR) Pada Segmen Area Y* (Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta).
- Wijayanto, S. O., & Bayuseno, A. P. 2013. Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian: Mikrofografi dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(4), 33-39.

Wora, M., & Segu, Y. 2014. Pengaruh Waktu Perendaman Beton Dalam Air Laut Dapat Menurun Kualitas Beton. *TEKNOSIAR*, 8(2), 23-34.

Zhang, B., & Zhu, H. 2023. Durability of Seawater Coral Aggregate Concrete Under Seawater Immersion and Dry-Wet Cycles. *Journal of Building Engineering*, 105894.