

**SKRIPSI**

**PERILAKU TEKAN, *RESISTIVITY*, DAN EMISI KARBON  
MORTAR YANG MENGANDUNG AIR LAUT, *SILICA FUME*,  
DAN SEMEN CAMPURAN**

***COMPRESSIVE BEHAVIOR, RESISTIVITY, AND CARBON  
EMISSIONS OF MORTAR CONTAINING SEA WATER, SILICA  
FUME, AND MIXED CEMENT***

**Disusun dan diajukan oleh:**

**GLORIA ARIANTI SORAYA MANGONTAN  
D011 20 1151**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### **PERILAKU TEKAN, *RESISTIVITY*, DAN EMISI KARBON MORTAR YANG MENGANDUNG AIR LAUT, *SILICA FUME*, DAN SEMEN CAMPURAN**

Disusun dan diajukan oleh

**GLORIA ARIANTI SORAYA MANGONTAN  
D011 20 1151**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 6 Maret 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng  
NIP: 198604092019043001

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng  
NIP: 196805292002121002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng  
NIP: 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Gloria Arianti Soraya Mangontan

NIM : D011 20 1151

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**{PERILAKU TEKAN, *RESISTIVITY*, DAN EMISI KARBON MORTAR  
YANG MENGANDUNG AIR LAUT, *SILICA FUME*, DAN SEMEN  
CAMPURAN}**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 25 Desember 2023

Yang Menyatakan,



Gloria Arianti Soraya Mangontan

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PERILAKU TEKAN, *RESISTIVITY*, DAN EMISI KARBON MORTAR YANG MENGANDUNG AIR LAUT, *SILICA FUME*, DAN SEMEN CAMPURAN”** yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
3. **Bapak Dr.Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Prof. Dr.Eng. Rudi Djamaluddin, ST., M.Eng.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
5. **Ibu Prof. Dr.Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT.** dan **Bapak Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng.**, selaku dosen penguji yang sangat membantu dalam penulisan dan perbaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

7. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu ayahanda **Ir. Janti Mangontan** dan ibunda **Maria Katarina T.P. Intan, A.Md.** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan yang telah diberikan selama ini. Serta kakak **Ariant Paskah Mangontan** dan seluruh keluarga besar yang selalu memberi semangat dan doa.
2. Teman-teman seperjuangan di **Laboratorium Riset Eco Material** (Awi, Diki, Puput, Mitha, Rahmi, Dayat, Yazid, Fadhil, Jabal, Dhyland, Raihan) yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Teman-teman **asisten Laboratorium Struktur dan Bahan** yang selalu menyemangati dan membantu dalam pengujian tugas akhir ini.
4. Teman-teman **Angkatan 2020 (Entitas 2021)** dan **Genesis** yang senantiasa memberikan dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan. Oleh karena itu, mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhir kata semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, terkhusus dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, Desember 2023

Penulis

## ABSTRAK

**GLORIA ARIANTI SORAYA MANGONTAN.** *PERILAKU TEKAN, RESISTIVITY, DAN EMISI KARBON MORTAR YANG MENGANDUNG AIR LAUT, SILICA FUME, DAN SEMEN CAMPURAN* (dibimbing oleh Muhammad Akbar Caronge dan M. Wihardi Tjaronge)

Penelitian ini mempelajari perilaku tekanan dan emisi karbon dari campuran mortar yang mengandung air laut, *silica fume*, dan semen campuran. Mortar yang digunakan memiliki dimensi  $5 \times 5 \times 5$  cm, dan variasi campurannya meliputi mortar normal, mortar dengan air laut, serta mortar air laut dengan tambahan *silica fume* sebesar 5%, 7%, dan 10% terhadap berat semen. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kuat tekan, *resistivity*, dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV). Penelitian ini bertujuan untuk memahami dampak penambahan *silica fume* dalam berbagai proporsi terhadap sifat-sifat mekanik dan emisi karbon dari mortar. Penggunaan air laut dan *silica fume* dalam konstruksi menjadi fokus utama penelitian ini untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap kekuatan tekan, resistivitas, dan cepat rambat gelombang, serta nilai emisi karbon dari campuran mortar. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *silica fume* dan air laut dalam campuran mortar menghasilkan nilai kuat tekan, *resistivity*, dan UPV yang lebih tinggi dibanding mortar normal. Selain itu, terdapat penurunan jumlah karbon yang dihasilkan oleh campuran mortar yang menggunakan air laut dan *silica fume*. Hal ini menandakan bahwa penggunaan bahan-bahan alternatif tersebut dapat membantu mengurangi emisi karbon, sehingga memberikan dampak positif terhadap lingkungan. Penelitian ini memberikan pemahaman yang mendalam tentang potensi penggunaan air laut dan *silica fume* dalam meningkatkan kinerja mekanik dan mengurangi dampak lingkungan dari campuran mortar. Informasi ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan material konstruksi yang lebih efisien dan ramah lingkungan di masa mendatang.

Kata Kunci: Mortar, Air Laut, *Silica Fume*, Semen Campuran, Kuat Tekan, Emisi Karbon, *Resistivity*, *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV)

## ABSTRACT

**GLORIA ARIANTI SORAYA MANGONTAN.** *COMPRESSIVE BEHAVIOR, RESISTIVITY, AND CARBON EMISSIONS OF MORTAR CONTAINING SEA WATER, SILICA FUME, AND MIXED CEMENT* (supervised by Muhammad Akbar Caronge and M. Wihardi Tjaronge)

This study investigates the compressive behavior and carbon emissions of mortar mixtures incorporating seawater, silica fume, and mixed cement. The mortar used has dimensions of  $5 \times 5 \times 5$  cm, and the variations in the mixtures include normal mortar, mortar with seawater, and seawater mortar with additional silica fume at 5%, 7%, and 10% by weight of cement. The tests conducted include compressive strength testing, resistivity assessment, and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) analysis. This research aims to understand the impact of adding silica fume in various proportions on the mechanical properties and carbon emissions of mortar. The use of seawater and silica fume in construction is the main focus of this study to evaluate their influence on compressive strength, resistivity, wave propagation speed, and carbon emission values of the mortar mixture. The results indicate that the utilization of silica fume and seawater in mortar mixtures yields higher values in compressive strength, resistivity, and UPV compared to normal mortar. Additionally, there is a reduction in the amount of carbon emitted by mortar mixtures using seawater and silica fume. This suggests that the use of these alternative materials can contribute to reducing carbon emissions, thereby having a positive impact on the environment. This research provides an in-depth understanding of the potential use of seawater and silica fume in enhancing mechanical performance and reducing environmental impact in mortar mixtures. This information can serve as a basis for the development of more efficient and environmentally friendly construction materials in the future.

**Keywords:** Mortar, Sea Water, Silica Fume, Mixed Cement, Compressive Strength, Carbon Emissions, Resistivity, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

## DAFTAR ISI

<u>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI</u> .....	i
<u>PERNYATAAN KEASLIAN</u> .....	ii
<u>KATA PENGANTAR</u> .....	iii
<u>ABSTRAK</u> .....	v
<u>ABSTRACT</u> .....	vi
<u>DAFTAR ISI</u> .....	vii
<u>DAFTAR TABEL</u> .....	x
<u>DAFTAR GAMBAR</u> .....	xi
<u>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL</u> .....	xii
<u>DAFTAR LAMPIRAN</u> .....	xiv
<u>BAB I. PENDAHULUAN</u> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Ruang Lingkup .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<u>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</u> .....	6
2.1 Penelitian Terdahulu .....	6
2.2 Teori Dan Aplikasi Mortar .....	9
2.2.1 Tipe mortar .....	10
2.2.2 Sifat-sifat mortar .....	13
2.3 Material Penyusun Mortar .....	15

2.3.1 Agregat halus .....	15
2.3.2 Air laut .....	16
2.3.3 <i>Silica fume</i> .....	17
2.3.4 Semen campuran.....	18
2.4 Pengujian Kuat Tekan.....	20
2.5 Pengujian <i>Resistivity</i> .....	21
2.6 Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) .....	22
2.7 <i>Embodied Carbon</i> (CO <sub>2</sub> ) Mortar .....	23
2.8 Analisa Gabungan Setiap Parameter .....	24
<b><u>BAB III. METODE PENELITIAN</u></b> .....	26
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	26
3.2 Variabel Penelitian .....	26
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	27
3.4 Teknik Pengumpulan Data .....	29
3.4.1 Pemeriksaan karakteristik material.....	29
3.4.1.1 Agregat halus .....	29
3.4.1.2 Air laut .....	30
3.4.1.3 <i>Silica fume</i> .....	30
3.4.1.4 Semen campuran.....	30
3.4.2 Rancangan campuran mortar.....	30
3.4.3 Pembuatan benda uji .....	30
3.4.4 Perawatan ( <i>curing</i> ) benda uji .....	32
3.4.5 Pengujian kuat tekan .....	32
3.4.6 Pengujian <i>electrical resistivity</i> .....	33
3.4.7 Pengujian <i>ultrasonic pulse velocity</i> (UPV).....	34
3.4.8 <i>Emisi CO<sub>2</sub> (embodied carbon)</i> mortar.....	35

3.5 Teknik Analisis .....	36
<b><u>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</u></b> .....	<b>38</b>
4.1 Karakteristik Material.....	38
4.1.1 Karakteristik agregat halus .....	38
4.1.2 Karakteristik air laut.....	38
4.1.3 Karakteristik <i>silica fume</i> .....	39
4.1.4 Karakteristik semen campuran.....	39
4.2 Rancangan Campuran Mortar ( <i>Mix Design</i> ).....	40
4.3 Pengujian Kuat Tekan.....	40
4.4 Pengujian <i>Electrical Resistivity</i> .....	44
4.5 Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV) .....	45
4.6 Emisi CO <sub>2</sub> ( <i>Embodied Carbon</i> ) Mortar .....	47
4.6.1 Index antara <i>embodied carbon</i> dengan kuat tekan.....	48
4.6.2 Index antara <i>embodied carbon</i> dengan <i>resistivity</i> .....	50
4.6.3 Index antara <i>embodied carbon</i> dengan UPV .....	51
<b><u>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</u></b> .....	<b>53</b>
<u>5.1 Kesimpulan</u> .....	53
<u>5.2 Saran</u> .....	53
<b><u>DAFTAR PUSTAKA</u></b> .....	<b>55</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Persyaratan spesifikasi proporsi mortar .....	13
Tabel 2. Persyaratan spesifikasi sifat mortar .....	15
Tabel 3. Faktor emisi CO <sub>2</sub> .....	24
Tabel 4. Standar pemeriksaan karakteristik agregat halus.....	29
Tabel 5. Kandungan karbon.....	35
Tabel 6. Hasil pengujian karakteristik agregat halus.....	38
Tabel 7. Komposisi kimia air laut .....	38
Tabel 8. Komposisi kimia <i>silica fume</i> .....	39
Tabel 9. Komposisi kimia semen campuran.....	39
Tabel 10. Rancangan campuran mortar dalam 1m <sup>3</sup> .....	40
Tabel 11. Data nilai kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari .....	41
Tabel 12. Pola retak mortar pada umur 7 dan 28 hari .....	43
Tabel 13. Data nilai <i>electrical resistivity</i> pada umur 7 dan 28 hari .....	44
Tabel 14. Data nilai UPV pada umur 7 dan 28 hari .....	46
Tabel 15. Data <i>embodied carbon</i> .....	48
Tabel 16. Hasil perbandingan antara GHG terhadap KT .....	49
Tabel 17. Hasil perbandingan antara GHG terhadap R. ....	50
Tabel 18. Hasil perbandingan antara GHG terhadap UPV .....	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram alir UPV .....	22
Gambar 2. Cara pengukuran UPV .....	23
Gambar 3. Lokasi penelitian pada Jl. Poros Malino Km. 6 Bontomarannu Gowa .....	26
Gambar 4. Alat yang digunakan dalam pembuatan mortar .....	28
Gambar 5. Material bahan campuran mortar .....	28
Gambar 6. Proses <i>curing</i> benda uji.....	32
Gambar 7. Pengujian kuat tekan mortar .....	32
Gambar 8. <i>Universal Testing Machine (Tokyo Testing Machine Inc.)</i> .....	33
Gambar 9. Pengujian <i>electrical resistivity</i> .....	34
Gambar 10. Pengujian UPV .....	35
Gambar 11. Data kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari .....	42
Gambar 12. Hubungan tegangan regangan umur 28 hari .....	42
Gambar 13. Data <i>electrical resistivity</i> pada umur 7 dan 28 hari .....	45
Gambar 14. Data UPV pada umur 7 dan 28 hari .....	47
Gambar 15. Grafik nilai <i>embodied carbon</i> .....	48
Gambar 16. Indeks antara <i>embodied carbon</i> terhadap kuat tekan.....	49
Gambar 17. Indeks antara <i>embodied carbon</i> terhadap <i>resistivity</i> .....	51
Gambar 18. Indeks antara <i>embodied carbon</i> terhadap UPV .....	52

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$f_c$	Kuat tekan (MPa)
P	Gaya tekan aksial (N)
A	Luas bidang permukaan (mm <sup>2</sup> )
$\rho$	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )
R	Resistansi ( $\Omega$ )
L	Panjang permukaan (m)
A	Luas permukaan tempat arus mengalir melalui bata (m)
V	Kecepatan (m/s)
t	Waktu tempuh (s)
$l$	Jarak tempuh (m)
$CO_{2_i}$	Faktor emisi untuk material (kg.CO <sub>2</sub> /kg)
$CO_{2eq}$	Embodied carbon CO <sub>2</sub> (kg.CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )
$W_i$	Berat material (kg/m <sup>3</sup> )
GHG	Embodied Greenhouse Gas (efek rumah kaca) (kg.CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )
RGKT	Rasio antara GHG dengan KT (kg.CO <sub>2</sub> .mm <sup>2</sup> /Nm <sup>3</sup> )
KT	Kuat tekan (N/mm <sup>2</sup> )
RGR	Rasio antara GHG dengan R (kg.CO <sub>2</sub> / $\Omega\text{m}^4$ )
R	Resistivity ( $\Omega\text{m}$ )
RGUPV	Rasio antara GHG dengan UPV (kg.CO <sub>2</sub> .s/m <sup>4</sup> )
UPV	Ultrasonic Pulse Velocity (m/s)
gr	Gram
cm	Sentimeter
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksida

---

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
kg	Kilogram
m	Meter
mm	Milimeter
N	Newton
NW	Mortar normal
PCC	Portland Composite Cement
s	Secon/detik
SF	Silica Fume
SNI	Standar Nasional Indonesia
SSD	Saturated Surface Dry (Kering permukaan)
SW	Mortar air laut
SW-5SF	Mortar air laut + 5% SF
SW-7SF	Mortar air laut + 7% SF
SW-10SF	Mortar air laut + 10% SF
UTM	Universal Testing Machine
$\Omega$	Ohm
$\Omega$ m	Ohm meter
ml	mililiter
XRF	X-Ray Fluorescence

## LAMPIRAN

Lampiran 1. <u>Pembuatan Benda Uji</u> .....	60
Lampiran 2. <u>Pembongkaran Benda Uji</u> .....	64
Lampiran 3. <u>Pengujian Kuat Tekan 7 Hari</u> .....	66
Lampiran 4. <u>Pengujian Resistivity 7 Hari</u> .....	70
Lampiran 5. <u>Pengujian UPV 7 Hari</u> .....	71
Lampiran 6. <u>Pengujian Kuat Tekan 28 Hari</u> .....	72
Lampiran 7. <u>Pengujian Resistivity 28 Hari</u> .....	79
Lampiran 8. <u>Pengujian UPV 28 Hari</u> .....	80

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perilaku tekan dan emisi karbon dalam mortar yang mengandung air laut, *silica fume*, dan semen campuran adalah topik yang menarik dalam konteks pembangunan berkelanjutan dan teknologi material konstruksi. Mortar, sebagai bahan penting dalam industri konstruksi, memiliki peran signifikan dalam kekuatan, daya tahan, dan dampak lingkungan pada suatu struktur.

Air dalam campuran mortar adalah komponen penting yang digunakan untuk mencapai konsistensi yang tepat dan mengaktifkan proses pengerasan pada campuran tersebut. Secara sederhana, air berfungsi sebagai media untuk mengaktifkan reaksi kimia antara semen dan bahan lainnya dalam mortar, yang pada akhirnya membentuk struktur yang kuat. Sebagian besar air di Bumi adalah air laut, sementara hanya sekitar 2,5% dari total air di planet ini yang merupakan air tawar. Dari persentase itu, sebagian besar terperangkap dalam es dan salju di kutub, sedangkan hanya sebagian kecil yang tersedia sebagai air tawar permukaan dan air tanah yang dapat diakses. Maddocks et al. (2015) menemukan bahwa 33 negara menghadapi tekanan air yang sangat tinggi di tahun 2040. PBB (2021) mengungkapkan, prediksi kebutuhan air bersih di bumi meningkat sebesar 40% pada tahun 2030. Artinya, kenaikan rerata per tahun adalah 3,33%.

Air laut adalah air yang terdapat di lautan atau samudra di seluruh dunia. Ini adalah air yang memiliki komposisi kimia khas dengan konsentrasi garam yang tinggi dibandingkan dengan air tawar, mengandung sekitar 3,5% garam, mineral, dan bahan terlarut lainnya. Penggunaan air laut dalam campuran mortar merupakan salah satu bidang penelitian yang menarik dalam upaya untuk mengurangi ketergantungan pada air tawar serta mempertimbangkan sumber daya yang lebih berkelanjutan. Namun, penggunaan air laut langsung pada mortar atau beton dapat menyebabkan masalah korosi pada struktur baja yang terdapat di dalam campuran. Hal ini disebabkan oleh kandungan garam yang tinggi dalam air laut. Oleh karena

itu, penggunaan air laut secara langsung dalam mortar atau beton harus dipertimbangkan dengan hati-hati. Cara untuk mengurangi kerusakan akibat kadar garam yang tinggi ini digunakan campuran material pozzolan yang salah satunya adalah *silica fume*.

*Silica fume* (SF) merupakan produk sampingan dari proses peleburan pada industri silikon dan ferrosilikon. Ia juga dikenal sebagai mikro silika, asap silika terkondensasi, silika yang mudah menguap, atau debu silika. Warna asap silika adalah putih premium atau abu-abu. *Silica Fume* terdiri dari partikel vitreous yang sangat halus dengan luas permukaan antara 13.000 dan 30.000 m<sup>2</sup>/kg. Partikelnya kira-kira 100 kali lebih kecil dari rata-rata partikel semen. Karena kehalusannya yang ekstrim dan kandungan silika yang tinggi, *silica fume* merupakan bahan pozzolan yang sangat efektif. *Silica fume* digunakan dalam beton untuk meningkatkan sifat-sifatnya. Telah ditemukan bahwa asap silika meningkatkan kekuatan tekan, kekuatan ikatan, dan ketahanan abrasi; mengurangi permeabilitas; dan karena itu membantu melindungi baja tulangan dari korosi (Khan, 2011).

Selain itu, penelitian tentang perilaku tekan mortar ini juga melibatkan pengamatan terhadap kekuatan tekan, ketahanan terhadap beban, deformasi, serta kemampuan perubahan struktur fisiknya seiring waktu. Pengurangan emisi karbon dalam produksi mortar menjadi perhatian utama, dan penggunaan bahan-bahan alternatif seperti air laut dan *silica fume* bisa berperan dalam mengurangi dampak lingkungan dari industri konstruksi.

Dengan memperhatikan faktor-faktor ini, penelitian tentang perilaku tekan dan emisi karbon dalam mortar menjadi sangat penting untuk mengembangkan formulasi mortar yang tidak hanya memiliki kinerja yang baik namun juga ramah lingkungan. Analisis menyeluruh terhadap parameter-parameter ini dapat memberikan wawasan yang lebih baik terkait dampak dari komposisi material terhadap kualitas, keberlanjutan, dan efisiensi dalam konstruksi bangunan masa depan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan, *resistivity*, *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), dan emisi karbon pada mortar yang mengandung air laut, *silica fume*, dan semen campuran.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan dari latar belakang, maka dapat dirumuskan beberapa masalah, yaitu:

1. Bagaimana perilaku kuat tekan mortar dengan kandungan air laut, *silica fume*, dan semen campuran?
2. Bagaimana pengaruh air laut, *silica fume*, dan semen campuran terhadap nilai *resistivity*?
3. Berapa kecepatan gelombang ultrasonik dari mortar yang mengandung air laut, *silica fume*, dan semen campuran?
4. Berapa nilai emisi karbon pada mortar yang mengandung air laut, *silica fume*, dan semen campuran?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang diambil, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menganalisis nilai kuat tekan dari mortar yang menggunakan air laut, *silica fume*, dan semen campuran.
2. Untuk mengevaluasi nilai *resistivity* mortar yang menggunakan air laut, *silica fume*, dan semen campuran.
3. Menganalisis kecepatan gelombang ultrasonik dari mortar yang menggunakan air laut, *silica fume*, dan semen campuran.
4. Menghitung nilai emisi karbon pada mortar yang mengandung air laut, *silica fume*, dan semen campuran.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Untuk mengetahui nilai kuat tekan dari mortar yang mengandung air laut, *silica fume*, dan semen campuran.

2. Resistivitas dapat menjadi indikator kualitas dan konsistensi material. Material dengan resistivitas yang tinggi cenderung memiliki kemampuan yang lebih baik untuk menahan penetrasi air, garam, dan zat korosif lainnya, yang penting untuk memastikan kualitas dan ketahanan struktural yang baik.
3. Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) membantu dalam melakukan analisis non-destruktif terhadap integritas dan kualitas mortar tanpa merusak material. Hal ini memberikan informasi tentang kekuatan dan kualitas material secara cepat dan efisien.
4. Penelitian ini juga memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana menggunakan bahan-bahan alternatif seperti air laut dan *silica fume* dalam campuran mortar untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya air tawar dan mereduksi emisi karbon. Ini akan berkontribusi pada pengembangan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan.

## 1.5 Ruang Lingkup

Untuk mencapai maksud dan tujuan dalam penelitian ini, maka ditetapkan batasan-batasan sebagai berikut.

1. Semen yang digunakan yaitu *Portland Composite Cement* (PCC).
2. *Silica fume* yang digunakan sebagai penambah semen sebanyak 5%, 7%, dan 10% (terhadap berat semen).
3. Air laut yang diambil di Pantai Galesong, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan.
4. Air tawar yang diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan.
5. Pasir yang digunakan berasal dari Sungai Jeneberang, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan.
6. Proses perawatan (*curing*) yaitu direndam dengan air tawar.
7. Pengujian kuat tekan, *resistivity*, dan UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*) dilakukan pada sampel kubus berukuran  $5 \times 5 \times 5$  cm pada umur 7 dan 28 hari.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran. Berikut merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut:

### **BAB I           PENDAHULUAN**

Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup, dan sistematika penulisan.

### **BAB II          TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menyajikan Kumpulan informasi, konsep, teori, temuan penelitian sebelumnya, atau kerangka pemahaman yang menjadi dasar atau landasan bagi penelitian yang akan dilakukan.

### **BAB III        METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas mengenai waktu dan lokasi penelitian, variabel penelitian, bahan uji dan alat, teknik pengumpulan data, dan teknik analisis.

### **BAB IV        HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi pembahasan karakteristik material, rancangan campuran mortar (*mix design*), kuat tekan mortar, *resistivity*, *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), *embodied carbon*, hubungan antara *embodied carbon* dengan kuat tekan, hubungan antara *embodied carbon* dengan *resistivity*, dan hubungan antara *embodied carbon* dengan UPV.

### **BAB V         KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini terdapat kesimpulan dari hasil analisis penelitian yang telah dilakukan dan juga saran serta rekomendasi yang dapat diambil sebagai panduan untuk penelitian mendatang.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Studi eksperimental ini dilakukan oleh Benli A. et al. (2017) untuk mengetahui sifat mekanik dari self-compacting mortar (SCM) yang mengandung campuran biner dan terner *silica fume* (SF) dan *fly ash* (FA) direndam dalam air laut dan 10% berat larutan magnesium sulfat ( $MgSO_4$ ). 14 seri spesimen mortar termasuk campuran kontrol dibuat dengan mengganti semen Portland dengan 10%, 20% dan 30% berat abu terbang kelas C (FA) dan 6%, 9%, 12% dan 15% berat *silica fume* (SF). Campuran terner diproduksi dengan mengganti 10% FA yang mengandung 6%, 9%, 12% dan 15% SF dan 20% penggantian FA dengan 6% dan 9% SF. Sebanyak 182 sampel mortar  $40 \times 40 \times 160$  mm disiapkan dan diawetkan dalam air pada suhu 3, 28, 56 dan 180 hari dan direndam dalam air laut dan larutan magnesium sulfat ( $MgSO_4$ ) pada umur 28, 56, 90 dan 180 hari untuk mengamati perilaku SCM dalam kondisi yang keras. Sifat daya tahan dievaluasi dengan kapiler penyerapan (uji seraptivitas dan porositas). Diameter aliran kemerosotan mini, viskositas dan aliran corong V mini tes waktu dilakukan untuk menilai sifat segar SCM yang mengandung FA dan SF. Hasil menunjukkan bahwa semua campuran biner dan terner SCM dan spesimen kontrol yang terkena larutan  $MgSO_4$  memiliki kuat tekan dan tariknya meningkat hingga umur 90 hari kemudian cenderung menurun pada umur 180 hari. Spesimen kontrol yang terkena air laut menunjukkan ketahanan terbaik dalam hal kekuatan tarik. Porositas SF campuran biner SCM yang diawetkan dalam air pada waktu 28 hari memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan SCM campuran terner SCM dan spesimen kontrol yang diawetkan dalam air pada umur 28 hari memiliki porositas terendah. SCM terungkap pada larutan magnesium sulfat, terjadi beberapa kerusakan seperti pembentukan retakan akibat pelunakan permukaan diamati.

Studi yang dilakukan Iqbal, M. et al. (2023) menyelidiki efek penggantian semen dengan persentase *silica fume* (SF) yang bervariasi. Umur terhadap sifat material *sea water sea sand concrete* (SWSSC). Lima campuran berbeda

diproduksi pemberian harga *normal concrete* (NC), SWSSC, dan SWSSC modifikasi dengan SF 5%, 7,5%, dan 10% mengalami kekuatan tekan, penyerapan air, penetrasi air, permeabilitas klorida yang cepat tes kemampuan dan evaluasi mikrostruktur. Terungkap bahwa SWSSC yang dimodifikasi menunjukkan perbandingan kekuatan yang jauh lebih tinggi dan permeabilitas yang rendah. Penggantian semen optimum 7,5% dengan SF menunjukkan struktur mikro yang lebih padat yang dapat dikaitkan dengan pengikatan silika dengan yang tidak bereaksi portlandit yang mengarah pada pembentukan kalsium silikat hidrat (C – S – H). Mikrostruktur hasil *Fourier Transform Inframerah* (FTIR), *X-ray Diffraction* (XRD), dan *Differential Thermo-gravimetric Analysis* (DTGA) juga menunjukkan polimerisasi C – S – H yang lebih tinggi di SWSSC saja dan SWSSC dengan SF 7,5% dibandingkan NC. Peningkatan kinerja SWSSC dan campurannya yang dimodifikasi dikaitkan dengan pembentukan garam Friedel yang diamati dalam analisis XRD.

Penelitian yang dilakukan Suryanita, R. et al. (2022), Beton berbusa memiliki keunggulan praktis dan ekonomis dalam konstruksi, termasuk mengurangi bobot struktur dengan membangun fondasi. Permintaan pasar terhadap beton berbusa seperti *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) telah meningkat baru-baru ini. Salah satu cara untuk mengurangi kepadatan CLC adalah dengan menambahkan pori-pori udara pada pasta semen atau campuran mortar. Namun penambahan pori-pori dapat menurunkan kekuatan bata ringan. Oleh karena itu, ada perlunya inovasi untuk meningkatkan kualitas blok CLC dengan mengganti sebagian semen dengan bahan tambahan lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan blok CLC yang berkualitas baik dengan menggunakan *silica fume* sebagai pengganti sebagian semen pada campuran mortar. Benda uji berupa balok CLC berukuran lebar 10 cm, tinggi 20 cm, dan panjang 60 cm. Variasi dari campuran mortar menggunakan *silica fume* dengan persentase 0%, 0,5%, 1%, 5%, 10% dan 15% berat semen. Data yang dihasilkan dari sampel ini adalah kuat tekan, perpindahan, tegangan, regangan dan modulus elastisitas. Hasil pengujian diperoleh kuat tekan CLC optimum sebesar 1,03 MPa pada komposisi 10% *silica fume*. Kuat tekan CLC optimum ini disimulasikan menggunakan analisis elemen hingga LUSAS untuk mendapatkan pola perpindahan dan tegangan-regangan. Berdasarkan analisis numerik LUSAS,

optimum kuat tekan blok CLC adalah 1,06 MPa. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan silika 10% pada mortar CLC dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 81,25% dibandingkan mortar tanpa *silica fume*.

Dalam penelitian Bai, Y. (2023), nano-karbon hitam penyerap dan asap silika ditambahkan ke dalam beton busa. Mengingat hidrasi produk dan distribusi ukuran pori, kekuatan tekan beton busa dianalisis, dan konduktivitasnya dan parameter elektromagnetik diuji. Pengaruh penambahan silika fume terhadap kehilangan gelombang elektromagnetik karakteristik beton busa karbon hitam dipelajari. Hasilnya menunjukkan bahwa penggabungan karbon hitam sangat mendorong pembentukan kalsium hidroksida, ettringit, dan kalsium silikat amorf hidrat (C – S – H) selama hidrasi semen, membuat ukuran pori rata-rata beton busa lebih besar. Sementara itu, campuran asap silika dapat mengimbangi efek buruk karbon hitam pada distribusi ukuran pori dan meningkatkan kualitas kuat tekan beton busa karbon hitam. Konduktivitas spesimen meningkat seiring dengan bertambahnya karbon hitam, dan perkolasi konduktif terjadi pada saat yang bersamaan. Ketika karbon hitam yang ditambahkan adalah 2% berat, maka beton busa memiliki kemampuan kehilangan gelombang elektromagnetik yang memadai. Setelah dicampur dengan silika fume, konduktivitas spesimen meningkat, dan kapasitas kehilangan gelombang elektromagnetik sedikit menurun rentang frekuensi 4,0 GHz hingga 5,0 GHz.

Menurut penelitian Zhang, Y. et al. (2022), *Ultra high performance concrete* (UHPC) berbahan dasar air laut dan pasir laut saat ini dianggap sebagai salah satu yang paling banyak digunakan bahan konstruksi yang inovatif dan menjanjikan. Untuk memberikan panduan desain untuk penggunaan *silica fume* (SF) selama produksi UHPC berbasis air laut dan pasir laut, penelitian ini menyelidiki pengaruh SF pada hasil akhir, kinerja makro usia dan mikro/struktur nano pasta semen Portland biasa (OPC) air laut yang disiapkan dengan rasio air terhadap pengikat (W/B) yang rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis SF optimal pada air laut OPC-SF sistem adalah 10% berat sedangkan untuk sistem OPC-SF air deionisasi (DI) adalah 20% berat. Hal ini menunjukkan bahwa Penggunaan SF dapat dikurangi untuk produksi sistem UHPC berbasis air laut. Ditemukan bahwa

kemudian umur kuat tekan sistem OPC-SF air laut semakin terdegradasi dengan meningkatnya dosis SF bila dibandingkan dengan sistem OPC-SF air DI yang sesuai. Perbedaannya terletak pada distribusi yang tidak terhidrasi klinker dalam matriks seiring dengan peningkatan penambahan SF adalah penyebab utamanya. Sistem OPC-10%SF air laut dipamerkan kekuatan tekan tertinggi dan kandungan pori terendah di antara semua sistem OPC air laut. Selain itu, dengan penggunaan rasio W/B yang sangat rendah ini, garam Friedel hanya terdapat dalam pasta OPC air laut yang dibuat tanpa SF, tetapi tidak ada pasta OPC-SF di air laut.

Penelitian Choi, S.I. et al. (2022) menyelidiki pengaruh paparan air laut terhadap mekanik, daya tahan, dan sifat mikrostruktur mortar semen yang mengandung *silica fume*, metakaolin, atau kaca bubuk pada dua rasio penggantian yang berbeda. Variabel uji meliputi kondisi pemaparan, periode pemaparan, jenis bahan semen tambahan, dan rasio penggantian. Kekuatan tekan, lentur, dan tarikan diukur secara berkala. Perubahan massal, air penyerapan, dan uji permeabilitas klorida cepat dilakukan untuk mengevaluasi daya tahan kinerja mortar semen Portland (PCM). Tomografi mikrokomputer digunakan untuk mendapatkan informasi pori dari PCM perwakilan. Hasil tes mengungkapkan bahwa air laut paparan menghasilkan efek positif, termasuk peningkatan kekuatan lentur dan daya tahan selama periode paparan jangka pendek sementara efek tersebut mungkin tidak bertahan lama. Metakaolin adalah bahan semen tambahan yang paling efektif untuk meminimalkan pengurangan tekanan kekuatan, sementara *silica fume* berkontribusi terhadap peningkatan daya tahan. Di sisi lain, PCM mengandung GP tidak menunjukkan perubahan kekuatan dan daya tahan yang signifikan. Korelasi yang kuat antara kekuatan lentur dan daya tahan diamati dan dijelaskan secara tambahan hidrasi (yaitu, densifikasi matriks) PCM (kecuali GP) karena proses *curing* air laut yang mengisi ukuran pori-pori tertentu berkisar 50-200  $\mu\text{m}$ .

## 2.2 Teori dan Aplikasi Mortar

Menurut SNI-03-6825-2002, mortar adalah campuran antara pasir, air, dan semen *portland* dengan komposisi tertentu. Adapun macam-macam mortar adalah sebagai berikut:

- 1) Mortar lumpur (*mud mortar*), yaitu mortar dengan bahan perekat tanah.
- 2) Mortar kapur, yaitu mortar dengan bahan perekat kapur.
- 3) Mortar semen, yaitu mortar dengan bahan perekat semen.

Fungsi utama mortar yaitu untuk menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun suatu konstruksi kekuatan mortar tergantung pada kohesi pasta semen terhadap partikel agregat halus. Mortar mempunyai nilai penyusun yang relatif kecil dan mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan gesernya dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar dengan cepat maupun dengan jumlah yang besar, maka mortar akan mengeras dan akan kehilangan ikatan adhesinya.

### **2.2.1 Tipe mortar**

Berdasarkan ASTM C270-10, *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*, mortar untuk adukan pasangan dapat dibedakan menjadi 5 tipe, yaitu:

a. Mortar Tipe M

Mortar dengan kekuatan tertinggi (2.500 psi) adalah mortar Tipe M, yang hanya digunakan jika diperlukan kekuatan tekan yang besar. Mortar tipe M umumnya digunakan dengan batu, karena sangat kuat dan tidak akan rusak sebelum batunya rusak. Mortar ini digunakan untuk aplikasi di bawah permukaan tanah yang melibatkan tekanan ekstrim atau beban lateral, seperti pondasi dan dinding penahan. Mortar tipe M dibuat menggunakan tiga bagian semen Portland, satu bagian kapur terhidrasi, dan 12 bagian pasir.

b. Mortar Tipe S

Seperti mortar Tipe N, tipe S memiliki kekuatan sedang (1.800 psi,) tetapi lebih kuat dari Tipe N dan dapat digunakan untuk dinding eksterior dan teras luar ruangan dengan kualitas rendah. Ini ideal untuk aplikasi di mana bahan bangunan bersentuhan dengan tanah, seperti dinding penahan dangkal dan batu paving. Mortar tipe S dibuat dengan dua bagian semen Portland, satu bagian kapur terhidrasi, dan sembilan bagian pasir.

c. Mortar Tipe N

Campuran mortar tipe N adalah mortar berkekuatan sedang (750 psi) yang direkomendasikan untuk dinding eksterior dan dinding kelas atas serta dinding penahan beban interior. Mortar tipe N tahan terhadap panas tinggi, suhu rendah, dan cuaca buruk dan dianggap sebagai campuran untuk keperluan umum. Ini adalah mortar yang paling umum digunakan oleh pemilik rumah untuk aplikasi umum, dan ideal untuk batu semi-lunak karena lebih fleksibel daripada mortar berkekuatan lebih tinggi dan akan membantu mencegah batu retak. Mortar tipe N dibuat dengan menggunakan satu bagian semen Portland, satu bagian kapur, dan enam bagian pasir.

d. Mortar Tipe O

Campuran mortar tipe O adalah mortar berkekuatan rendah (350 psi) yang digunakan dalam proyek interior tanpa beban. Ini sering digunakan untuk memperbaiki mortar dan umumnya digunakan dengan batu pasir dan bahan lain dengan kuat tekan rendah, karena sangat fleksibel. Mortar ini memiliki penggunaan eksterior yang sangat terbatas. Mortar tipe O dibuat menggunakan satu bagian semen Portland, dua bagian kapur terhidrasi, dan sembilan bagian pasir.

e. Mortar Tipe K

Mortar tipe K jarang digunakan untuk konstruksi baru tetapi mungkin dikhususkan untuk restorasi atau aplikasi khusus lainnya. Ia menawarkan kekuatan tekan yang sangat rendah hanya sekitar 75 psi. Karena kelembutannya, tipe K terutama digunakan untuk restorasi pasangan bata pada bangunan bersejarah atau kuno yang memerlukan campuran khusus yang tidak jauh lebih kuat dari pasangan bata yang ada.

Tjokrodimuljo (1992) membagi mortar berdasarkan jenis bahan ikatnya menjadi empat jenis, yaitu sebagai berikut:

a. Mortar kapur

Mortar kapur dibuat dari campuran pasir, kapur, semen merah dan air. Kapur dan pasir mula-mula dicampur dalam keadaan kering kemudian ditambahkan air. Air diberikan secukupnya untuk memperoleh adukan dengan kelecakan yang baik. Selama proses pelekatan kapur mengalami

susutan sehingga jumlah pasir yang umum digunakan adalah tiga kali volume kapur. Kapur yang dapat digunakan adalah *fat lime* dan *hydraulic lime*.

b. Mortar semen portland

Mortar semen merupakan campuran semen, pasir dan air pada proporsi yang sesuai. Perbandingan volume semen dan pasir berkisar pada 1 : 2 sampai dengan 1 : 6 atau lebih tergantung penggunaannya. Mortar semen lebih kuat dari jenis mortar lain, sehingga mortar semen sering digunakan untuk tembok, pilar, kolom atau bagian-bagian lain yang menahan beban. Karena mortar ini rapat air, maka juga sering digunakan untuk bagian luar dan yang berada di bawah tanah. Dalam adukan mortar, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori diantara butir-butir agregat halus, juga bersifat sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak atau padat.

c. Mortar polimer

Mortar polimer terdiri dari perekat polimer bisa saja termoplastik tetapi termosetting lebih sering di pakai. Pemakaian polimer untuk pengganti semen portland menyebabkan peningkatan biaya, untuk itu penambahan polimer akan efektif dan sepadan dengan kenaikan biaya pada aplikasi yang sesuai dimana biaya tinggi dapat setara dengan properties yang superior yang dituntut, terkompensasi dengan rendahnya biaya pekerja atau pemakaian energi yang rendah selama proses dan pemeliharaan. Pemakaian mortar pada kondisi bangunan tertentu disyaratkan untuk memenuhi mutu adukan yang tertentu pula. Sebagai contoh untuk bangunan gedung bertingkat banyak diisyaratkan menggunakan mortar yang kuat tekan minimumnya 3,0 MPa.

d. Mortar pozzolan

Pozzolan adalah bahan tambah yang baik yang berasal dari alam atau limbah industri yang mengandung silika dan alumina yang jika dicampur dengan air akan bereaksi dengan kapur bebas, mortar pozzolan adalah campuran antara mortar semen yang ditambahkan dengan pozzolan

Spesifikasi tipe mortar sesuai dengan ASTM C270-10 dapat dilihat pada **Tabel 1** yaitu sebagai berikut:

**Tabel 1.** Persyaratan spesifikasi proporsi mortar

Mortar	Tipe	Proporsi dengan Volume (Material Sementisius)						Rasio Agregat (Diukur dalam Kondisi Lembab, Lepas)	
		Semen Portland atau Semen Campur	Semen Mortar			Semen Pasangan			
			M	S	N	M	S		N
Semen Kapur	M	1	...	...	...	...	...	¼	
	S	1	...	...	...	...	...	> ¼ sampai ½	
	N	1	...	...	...	...	...	> ½ sampai 1¼	
	O	1	...	...	...	...	...	> 1¼ sampai 2½	
Semen Mortar	M	1	...	...	1	...	...	...	
	M	...	1	...	...	...	...	...	
	S	½	...	...	1	...	...	...	
	S	...	...	1	...	...	...	...	
	N	...	...	...	1	...	...	...	
Semen Pasangan	O	...	...	...	1	...	...	...	
	M	1	...	...	...	...	1	...	
	M	...	...	...	...	1	...	...	
	S	½	...	...	...	...	1	...	
	S	...	...	...	...	1	...	...	
	N	...	...	...	...	...	1	...	
O	...	...	...	...	...	1	...		

Sumber : SNI 6882:2014

### 2.2.2 Sifat-sifat mortar

Berdasarkan SNI 6882:2014 diterangkan sifat mortar antara lain adalah:

a. Sifat mortar segar

- *Workability*

*Workability* mortar dapat dilihat dari nilai *flow* yang dihasilkan oleh adukan tersebut. Salah satu unsur yang mempengaruhi kemudahan

pengerjaan adalah jumlah air pencampur. Semakin banyak air semakin mudah dikerjakan.

Pengujian *flow* dilakaukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan adukan mortar. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan alat *flow table*.

- Waktu ikat

Waktu ikat merupakan waktu yang dibutuhkan suatu adukan untuk mencapai kekuatan 500 psi. Untuk mengetahui waktu ikat suatu adukan mortar dilakukan dengan alat penetrometer. Alat tersebut ditusukkan kedalam adukan mortar segar sedalam 25 cm sampai mencapai 500 psi. Waktu yang dicapai untuk mendapatkan angka 500 psi itulah merupakan waktu ikat aduk mortar.

b. Sifat mortar keras

Sifat mortar keras merupakan sifat dimana mortar telah mengeras. Ada beberapa sifat mortar keras diantaranya penyerapan air dan kuat tekan.

- Penyerapan air

Penyerapan air adalah prosentase berat air yang mampu diserap oleh agregat jika direndam oleh air. Dalam adukan mortar, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta tersebut berfungsi sebagai pengisi rongga antar butiran-butiran agregat halus serta bersifat sebagai pengikat antara butiran-butiran agregat halus sehingga membentuk suatu massa yang padat.

- Kuat tekan

Kekuatan tekan mortar adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji mortar berbentuk kubus dengan ukuran tertentu dan umur tertentu (SNI 3-6825-2002). Kuat tekan mortar diwakili oleh kuat tekan maksimum dengan satuan MPa.

Kuat tekan mortar sangat dipengaruhi oleh proporsi campurannya. Disamping itu, air juga berpengaruh terhadap kuat tekan mortar. Semakin rendah faktor air semen, maka semakin tinggi kuat tekan yang akan dimilikinya. Namun, faktor air semen yang rendah menyebabkan workability menurun.

Adapun sifat mortar yang diterangkan dalam SNI 6882:2014 dapat dilihat pada **Tabel 2** di bawah ini:

**Tabel 2.** Persyaratan spesifikasi sifat mortar

Mortar	Jenis	Kekuatan Tekan Rata-Rata Pada Umur 28 Hari, min, psi (Mpa)	Retensi air, min, % <sup>A</sup>	Kadar Udara, maks, %	Rasio Agregat (diukur dalam kondisi lembab, lepas)
Semen Kapur	M	2500 (17.2)	75	12	Tidak kurang dari 2¼ dan tidak lebih dari 3½ jumlah dari volume-volume terpisah dari material sementius
	S	1800 (12.4)	75	12	
	N	750 (5.2)	75	14 <sup>B</sup>	
	O	350 (2.4)	75	14 <sup>B</sup>	
Semen Mortar	M	2500 (17.2)	75	12	
	S	1800 (12.4)	75	12	
	N	750 (5.2)	75	14 <sup>B</sup>	
	O	350 (2.4)	75	14 <sup>B</sup>	
Semen Pasangan	M	2500 (17.2)	75	18	
	S	1800 (12.4)	75	18	
	N	750 (5.2)	75	20 <sup>C</sup>	
	O	350 (2.4)	75	20 <sup>C</sup>	

<sup>A</sup>Kadar udara mortar kapur-semen portland tanpa bahan pembuatan gelembung udara biasanya kurang dari 8%.

<sup>B</sup>Bila terdapat tulangan struktural dalam mortar semen-kapur atau mortar semen mortar, kadar udara maks. harus 12% .

<sup>C</sup>Bila terdapat tulangan struktural dalam mortar semen pasangan, kadar udara maks. harus 18%.

Sumber : SNI 6882:2014

## 2.3 Material Penyusun Mortar

### 2.3.1 Agregat halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir. Agregat halus merupakan batuan yang butirannya maksimumnya 4,75 mm (SNI 02-6820-2002). Agregat halus ini didapat dari hasil penghancuran batuan lam (*natural sand*) atau dapat juga dengan memecahkannya tergantung dari kondisi pembentukan terjadinya.

Agregat halus pada umumnya terdiri dari pasir atau partikel yang melewati saringan No. 4. Agar diperoleh mutu yang baik, pasir yang akan digunakan harus memenuhi beberapa kriteria tertentu. Pasir harus terdiri dari butiran tajam, keras dan bersifat kekal. Selain itu, pasir tidak boleh mengandung banyak lumpur dan bahan-bahan organik karena dapat mengurangi kekuatan mortar.

### 2.3.2 Air laut

Air merupakan bahan dasar yang penting dalam pembuatan mortar. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta sebagai bahan pelumas anatar butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Air diperlukan pada pembuatan mortar untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan mortar. Adapun fungsi air dalam pencampuran mortar adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pelican bagi agregat halus.
2. Bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta semen.
3. Penting untuk mencairkan baha/material semen ke seluruh permukaan agregat.
4. Perawatan terhadap adukan mortar guna menjamin pengerasan yang optimal.
5. Membasahi agregat untuk melindungi agregat dari penyerapan kimia. Memungkinkan campuran mortar mengalir ke dalam cetakan.

Air laut memiliki beberapa sifat fisik yang membedakannya dari air tawar:

1. Kandungan garam: Air laut mengandung garam yang berasal dari mineral dan zat terlarut. Kandungan garam ini memberikan sifat-sifat yang bersalinasi pada air laut. Kira-kira 3,5% dari total berat air laut adalah garam, terutama natrium klorida (NaCl), tetapi juga mengandung berbagai mineral lainnya.
2. Titik beku dan titik didih: Karena kandungan garamnya, air laut memiliki titik beku lebih rendah daripada air tawar murni. Biasanya, titik beku air laut berada di sekitar  $-1,9^{\circ}\text{C}$  hingga  $-1,8^{\circ}\text{C}$ , tergantung pada konsentrasi garam. Titik didih air laut juga sedikit lebih tinggi daripada air tawar murni.
3. Kepadatan: Air laut memiliki kepadatan yang lebih tinggi daripada air tawar karena kandungan garamnya. Hal ini menyebabkan air laut

menjadi lebih berat per volume dibandingkan air tawar, yang juga mengakibatkan sifat-sifat lain seperti daya apung yang berbeda.

4. Viskositas: Air laut memiliki sedikit viskositas yang lebih tinggi dibandingkan air tawar, meskipun perbedaannya kecil.
5. Warna dan Kekeruhan: Air laut cenderung memiliki warna yang sedikit lebih biru karena kemampuannya untuk menyerap cahaya merah. Kekeruhan air laut juga dapat berbeda karena adanya partikel-partikel padat yang terlarut di dalamnya.
6. Konduktivitas Listrik: Air laut memiliki konduktivitas listrik yang lebih tinggi dibandingkan air tawar karena kandungan garamnya yang menyebabkan terdapat lebih banyak ion-ion larut dalam air.
7. Reaksi Kimia: Kandungan garam dalam air laut juga dapat mempengaruhi reaksi kimia yang terjadi dalam air, terutama dalam konteks kimia lingkungan dan ekologi laut.

### 2.3.3 *Silica fume*

*Silica fume* (SF) merupakan produk sampingan dari proses peleburan pada industri silikon dan ferrosilikon. Ia juga dikenal sebagai mikro silika, asap silika terkondensasi, silika yang mudah menguap, atau debu silika. Warna asap silika adalah putih premium atau abu-abu. *Silica Fume* terdiri dari partikel vitreous yang sangat halus dengan luas permukaan antara 13.000 dan 30.000 m<sup>2</sup>/kg. Partikelnya kira-kira 100 kali lebih kecil dari rata-rata partikel semen. Karena kehalusannya yang ekstrim dan kandungan silika yang tinggi, silika fume merupakan bahan pozzolan yang sangat efektif. Silica fume digunakan dalam beton/mortar untuk meningkatkan sifat-sifatnya. Telah ditemukan bahwa asap silika meningkatkan kekuatan tekan, kekuatan ikatan, dan ketahanan abrasi; mengurangi permeabilitas; dan karena itu membantu melindungi baja tulangan dari korosi (Khan, 2011).

Menurut *Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures* (ASTM-C1240-05), *silica fume* merupakan bahan yang mengandung SiO<sub>2</sub> lebih besar dari 85%. Menurut Neville (2010), penggunaan silika fume dengan jumlah yang rendah (dibawah 5% dari berat semen) tidak menghasilkan kekuatan

yang lebih tinggi dari beton karena jumlah silica fume tidak akan mencukupi untuk menutupi permukaan seluruh partikel dari agregat kasar, namun penggunaan silica fume yang menguntungkan juga terbatas tidak lebih dari 10% dari berat semen yang digunakan, hal ini disebabkan oleh penggunaan silica fume yang berlebih tidak akan dapat menutupi permukaan agregat.

Dokumen ACI 234R-96 adalah sebuah laporan dari *American Concrete Institute* (ACI) yang membahas penggunaan *silica fume* dalam beton. Berikut adalah beberapa poin terkait kegunaan *silica fume* yang dapat ditemukan dalam ACI 234R-96:

1. Peningkatan kekuatan Beton: *Silica fume* digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton untuk meningkatkan kekuatan beton.
2. Perbaikan sifat sementasi dan hidrasi: *Silica fume* dapat mempengaruhi proses hidrasi semen dan pembentukan produk hidrasi, meningkatkan sifat-sifat mekanis beton dan mengurangi porositasnya.
3. Pengurangan Retraksi dan Pengecilan Volume: *Silica fume* dapat membantu mengurangi reaksi retraksi beton yang bisa memengaruhi kestabilan dan keawetan struktur beton.

#### **2.3.4 Semen campuran**

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen, terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Jenis semen menurut Standarisasi Nasional Indonesia (SNI) antara lain:

1. Semen Portland / Ordinary Portland Cement (OPC) SNI 15-2049-2004  
Merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu

atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Semen portland dibagi dalam beberapa jenis sesuai dengan penggunaannya, di antaranya yaitu:

- a. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

## 2. Semen Portland Putih SNI 15-0129-2004

Merupakan semen hidrolis yang berwarna putih dan dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland putih yang terutama terdiri atas kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat.

## 3. Semen Portland Pozzolan / Portland Pozzolan Cement (PPC) SNI 15-0302-2004

Suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6 % sampai dengan 40% massa semen portland pozzolan.

## 4. Semen Portland Komposit / Portland Composite Cement (PCC) SNI 15-7064-2004

Semen portland komposit adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (blast furnace slag), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen Portland komposit.

#### 5. Semen Portland Campur SNI 15-3500-2004

Semen portland campur (mixed cement) suatu bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama dari terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik yang bersifat tidak bereaksi (inert).

#### 6. Semen Masonry SNI 15-3758-2004

Semen masonry adalah semen hidrolis, yang digunakan terutama dalam pekerjaan menembok dan memplester konstruksi, yang terdiri dari campuran dari semen portland atau campuran semen hidrolis dengan bahan yang bersifat menambah keplastisan (seperti batu kapur, kapur yang terhidrasi atau kapur hidrolis) bersamaan dengan bahan lain yang digunakan untuk meningkatkan satu atau lebih sifat seperti waktu pengikatan (setting time), kemampuan kerja (workability), daya simpan air (water retention), dan ketahanan (durability).

## 2.4 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan suatu bahan adalah kemampuan bahan dalam menahan beban atau gaya yang dikenakan per satuan luas. Nilai kuat tekan mortar didapat dengan melakukan pengujian menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban bertingkat terhadap benda uji kubus sampai retak/hancur. Dalam SNI-03-6825-2002 kuat tekan mortar diperoleh dengan rumus pada **Persamaan 1**:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

$f'c$  = Kuat tekan (MPa)

$P$  = Gaya tekan aksial (N)

$A$  = Luas bidang permukaan ( $mm^2$ )

Besarnya kuat tekan mortar dipengaruhi beberapa factor, yaitu:

- a. Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kuat tekan rata-rata dan kuat batas beton.
- b. Jenis dan tekstur bidang permukaan agregat.
- c. Perawatan beton harus diperhatikan, sebab kehilangan kekuatan akibat pengeringan sebelum waktunya adalah sekitar 40%.
- d. Suhu mempengaruhi kecepatan pengerasan.
- e. Umur, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya.

## 2.5 Pengujian *Resistivity*

Resistivitas ( $\rho$ ) adalah kemampuan suatu bahan untuk mengantarkan arus listrik yang bergantung terhadap besarnya medan listrik dan kerapatan arus. Semakin besar resistivitas suatu bahan maka semakin besar pula medan listrik yang dibutuhkan untuk menimbulkan sebuah kerapatan arus. Satuan untuk resistivitas adalah  $\Omega.m$ .

*Resistivity* mortar dihitung menggunakan rumus pada **Persamaan 2**:

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (2)$$

Dimana:

$\rho$  = Resistivitas ( $\Omega m$ )

$R$  = Resistansi ( $\Omega$ )

$A$  = Luas permukaan tempat arus mengalir melalui bata ( $m^2$ )

$L$  = Panjang permukaan (m)

## 2.6 Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV)

*Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) merupakan salah satu metode *Non Destructive Test* dengan menggunakan gelombang ultrasonik yang didasari pengukuran waktu tempuh gelombang. Waktu tempuh gelombang dibaca oleh pengukur waktu pada UPV dan ditampilkan dalam bentuk kecepatan gelombang. Diagram pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dapat dilihat pada **Gambar 1**.

**Persamaan 3** merupakan rumus dari kecepatan gelombang yang ditampilkan pada pengujian UPV.

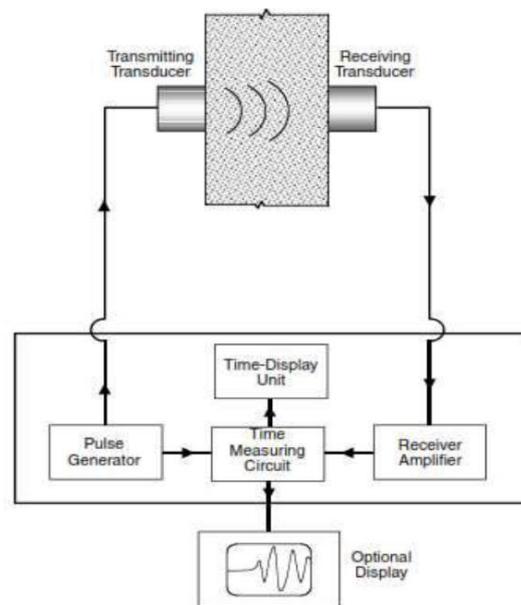
$$V = \frac{l}{t} \quad (3)$$

Keterangan:

$V$  = kecepatan (m/s)

$l$  = jarak tempuh (m)

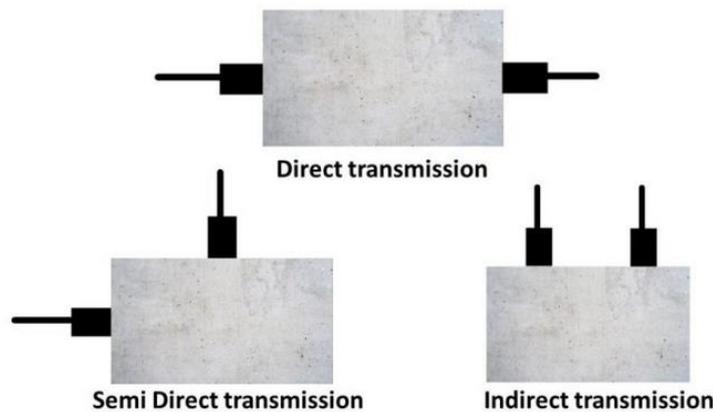
$t$  = waktu tempuh (s)



**Gambar 1.** Diagram alir UPV

Ada tiga metode umum untuk melakukan tes UPV, yaitu (**Gambar 2**):

1. Metode Langsung (*Direct Transmission*)
2. Metode Semi Langsung (*Semi Direct Transmission*)
3. Metode Tidak Langsung (*Indirect Transmission*)



**Gambar 2.** Cara pengukuran UPV

## 2.7 Embodied Carbon (CO<sub>2</sub>) Mortar

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) adalah gas yang terdiri dari satu atom karbon dan dua atom oksigen. Ini adalah salah satu gas rumah kaca yang paling umum ditemukan di atmosfer bumi. Gas-gas rumah kaca, termasuk CO<sub>2</sub>, memainkan peran penting dalam regulasi suhu di bumi dengan menangkap sebagian dari panas matahari yang dipancarkan kembali dari permukaan bumi. Namun, peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam atmosfer dapat menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim.

Penggunaan *silica fume* dan air laut dalam mortar dapat memiliki dampak terhadap emisi karbon. *Silica fume*, yang merupakan produk sampingan dari industri silikon atau ferrosilikon, digunakan sebagai bahan tambahan dalam mortar untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanannya. Penggunaan *silica fume* dapat membantu mengurangi jumlah semen yang digunakan dalam campuran mortar, karena memiliki kemampuan untuk meningkatkan kinerja mortar tanpa perlu penambahan semen dalam jumlah yang signifikan.

Di sisi lain, penggunaan air laut sebagai bagian dari campuran air dalam mortar juga dapat memiliki implikasi terhadap emisi karbon. Jika air laut digunakan sebagai alternatif air tawar dalam campuran mortar, ini bisa mempengaruhi kekuatan dan kualitas mortar. Namun, dalam beberapa kasus, penggunaan air laut dapat membantu mengurangi konsumsi air tawar dan membatasi dampak lingkungan.

**Tabel 3.** Faktor emisi CO<sub>2</sub>

Material	Pasir <sup>1</sup>	Air <sup>2</sup>	Semen <sup>3</sup>	Silica Fume <sup>4</sup>
Embodied Carbon CO <sub>2</sub> kg.CO <sub>2</sub> /kg	0.0026	0.000196	0.83	0.0003

Sumber :

<sup>1</sup>Caronge, M.A. et al. (2022)

<sup>2</sup>Caronge, M.A. et al. (2022)

<sup>3</sup>Zhao, Q. et al. (2023)

<sup>4</sup>Zhao, X.-Y. et al. (2023)

Pada **Tabel 3** menyajikan faktor emisi CO<sub>2</sub> untuk pasir, air, semen, dan *silica fume*. Perhitungan emisi karbon mortar untuk setiap material menggunakan **Persamaan 4**.

$$CO_{2eq} = \sum_{i=1}^n (W_i \times CO_{2_i}) \quad (4)$$

Dimana:

$$CO_{2eq} = \text{Embodied carbon CO}_2 \text{ (kg.CO}_2\text{/m}^3\text{)}$$

$$W_i = \text{Berat material (kg/m}^3\text{)}$$

$$CO_{2_i} = \text{Faktor emisi untuk material (kg.CO}_2\text{/kg)}$$

## 2.8 Analisa Gabungan Setiap Parameter

Pada penelitian ini menghubungkan emisi karbon pada setiap campuran dengan pengujian kuat tekan, *resistivity*, dan UPV.

**Persamaan 5** memperlihatkan perbandingan antara *embodied carbon* dan kuat tekan.

$$\text{RGKT} = \frac{\text{GHG}}{\text{KT}} \quad (5)$$

Keterangan:

RGKT = Rasio antara GHG dengan KT (kg.CO<sub>2</sub>.mm<sup>2</sup>/Nm<sup>3</sup>)

GHG = *Embodied Greenhouse Gas* (kg.CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)

KT = Kuat tekan (N/mm<sup>2</sup>)

**Persamaan 6** memperlihatkan perbandingan antara *embodied carbon* dan *resistivity*.

$$\text{RGR} = \frac{\text{GHG}}{\text{R}} \quad (6)$$

Dimana:

RGR = Rasio antara GHG dengan R (kg.CO<sub>2</sub>/Ωm<sup>4</sup>)

GHG = *Embodied Greenhouse Gas* (kg.CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)

R = *Resistivity* (Ωm)

**Persamaan 7** memperlihatkan perbandingan antara *embodied carbon* dan UPV.

$$\text{RGUPV} = \frac{\text{GHG}}{\text{UPV}} \quad (7)$$

Dimana:

RGUPV = Rasio antara GHG dengan UPV (kg.CO<sub>2</sub>.s/m<sup>4</sup>)

GHG = *Embodied Greenhouse Gas* (kg.CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)

UPV = *Ultrasonic Pulse Velocity* (m/s)