

# **TESIS**

**HUBUNGAN TEGANGAN REGANGAN MORTAR YANG  
MENGUNAKAN SERAT CARBON DAN SEMEN CAMPURAN**

**STRESS STRAIN RELATIONSHIP IN MORTAR USING CARBON FIBER  
AND BLENDED CEMENT**

**MISEL BORO ALLO  
D012211024**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2023**

**HUBUNGAN TEGANGAN REGANGAN MORTAR YANG  
MENGUNAKAN SERAT CARBON DAN SEMEN CAMPURAN**

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

MISEL BORO ALLO

D012211024

Kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2023**

# LEMBAR PENGESAHAN

## TESIS

### HUBUNGAN TEGANGAN REGANGAN MORTAR YANG MENGUNAKAN SERAT CARBON DAN SEMEN CAMPURAN


**MISEL BORO ALLO**  
**D012211024**

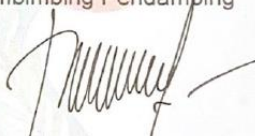
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 19 Januari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama


Pembimbing Pendamping

  
Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, S.T., M. Eng  
NIP. 19680529 200212 1002

  
Dr. Eng. Muh. Akbar Caronge, S.T., M. Eng  
NIP. 19860409 201904 3001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Sipil

  
Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT  
NIP. 197309262000121002

  
Dr. M. Asad Abdurrahman, ST, M. Eng, PM  
NIP. 19710505 200604 1002

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

**Nama** : Misel Boro Allo

**NIM** : D012211024

**Program Studi** : Teknik Sipil

**Jenjang** : S2 (Magister)

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis berjudul:

### **HUBUNGAN TEGANGAN REGANGAN MORTAR YANG MENGUNAKAN SERAT CARBON DAN SEMEN CAMPURAN**

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

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

Gowa, 24 Januari 2023

Yang menyatakan



Misel Boro Allo

## KATA PENGANTAR

Puja dan Puji Syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat limpahan Rahmat, dan Karunia-Nya sehingga kami dapat menyusun Laporan Tesis ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Dalam Laporan Tesis ini, kami akan membahas mengenai **“HUBUNGAN TEGANGAN REGANGAN MORTAR YANG MENGGUNAKAN SERAT CARBON DAN SEMEN CAMPURAN”**

Kami menyampaikan penghargaan sangat tinggi dan mendalam kepada bapak **Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST, M. Eng dan Dr. Eng. M. Akbar Caronge ST, M. Eng**, selaku pembimbing yang selalu memberikan arahan, motivasi dan petunjuk dalam penyusunan Laporan Tesis ini.

Kami menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang mendasar pada Laporan Tesis ini. Oleh karena itu saran serta kritik yang dapat membangun dari pembaca sangat kami harapkan guna penyempurnaan pada Laporan Tesis selanjutnya.

Demikian Laporan Tesis ini kami buat, semoga dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Makassar, Januari 2023

Penyusun,



Misel Boro Allo

## ABSTRAK

**Misel Boro Allo, Hubungan Tegangan Regangan Mortar Yang Menggunakan Serat Carbon Dan Semen Campuran, (dibimbing oleh: Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST. M. Eng dan Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge ST., M. Eng.)**

Usaha daur ulang yang intensif lahir dari pemikiran bahwa banyak industrial *by-product* seperti *fly ash* dan material sisa tidak terpakai seperti serat *carbon* dalam bentuk potongan kecil dari proyek konstruksi. Penelitian ini merupakan salah satu bagian dari usaha yang intensif dan untuk mengembangkan bahan bangunan yang berkelanjutan. *Blended cement* yang mengandung *fly ash* sebagai salah satu bahan material digunakan sebagai *cementitious material* untuk membuat *mortar*. Perilaku mekanik *mortar* serat *carbon* (MCF) dengan *blended cement* merupakan faktor penting untuk mengukur keberhasilan penggunaan serat *carbon*. Pengujian kuat tekan yang dilaksanakan pada umur 7 hari, 28 hari, dan 90 hari digunakan sebagai parameter untuk menyelidiki hubungan tegangan regangan *mortar* berserat dengan *blended cement*. Proporsi penggunaan serat *carbon* dalam penelitian ini adalah 0%, 0.5%, 1% dan 1.5% dari berat semen. Hubungan tegangan regangan, *toughness*, dan pola kehancuran yang dihasilkan oleh pengujian menunjukkan seluruh *mortar* yang mengandung serat *carbon* lebih baik dari yang tanpa serat *carbon*. Hal ini merupakan bukti bahwa *mortar* serat *carbon* memiliki perilaku mekanik yang lebih baik dengan *blended semen* sehingga mampu membentuk *mortar* sebagai material pembangunan yang berkelanjutan.

**Kata kunci:** Serat Carbon, Kuat Tekan, Tegangan Regangan, Modulus Elastisitas, *Poisson Ratio*, *Toughness*, Pola Kehancuran.

## ABSTRACT

**Misel Boro Allo**, *Stress Strain Relationship in Mortar Using Carbon Fiber and Blended Cement* (supervised by: **Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST. M. Eng** and **Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge ST., M. Eng.**)

The intensive recycling effort was born from the idea that many industrial by-products such as fly ash and waste materials such as carbon fiber are left in the form of small pieces from construction projects. This research is one part of an intensive and sustainable effort to develop sustainable building materials. Blended cement containing fly ash as a raw material is used as a cementitious material for making mortar. The mechanical behavior of mortar carbon fiber (MCF) with blended cement is an important factor to measure the success of using carbon fiber. Compressive strength tests carried out at 7 days, 28 days, and 90 days were used as parameters to investigate the stress-strain relationship between fibrous mortar and blended cement mortar. The proportion of carbon fiber used in this study was 0%, 0.5%, 1% and 1.5% by weight of cement. The relationship between stress-strain, toughness, and pattern of destruction produced by the test showed that all mortars containing carbon fiber were better than those without carbon fiber. This is evidence that mortar carbon fiber has better mechanical behavior than blended cement so that it is able to form mortar as a sustainable building material.

**Keywords:** Carbon Fiber, Compressive Strength, Stress Strain, Modulus of Elasticity, Poisson Ratio, Toughness, Failure Pattern.

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN.....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I .....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II .....</b>	<b>6</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1. Mortar .....	6
2.2. Bahan Penyusun Mortar .....	6
2.2.1. Semen Portland.....	6



2.2.2.	Semen Portland Komposit.....	7
2.2.3.	Agregat Halus (Pasir) .....	8
2.2.4.	Air.....	9
2.2.5.	Carbon Fiber .....	9
2.3.	Perilaku Mekanik Mortar .....	11
2.3.1.	Pengujian Flow Mortar .....	11
2.3.2.	Kuat Tekan Mortar.....	11
2.4.	Hubungan Tegangan Dan Regangan Tekan Mortar.....	12
2.4.1.	Modulus Elastisitas.....	12
2.4.2.	Poisson Ratio .....	13
2.4.3.	Regangan Volume Metrik.....	14
2.4.4.	Toughness .....	16
2.4.5.	Penelitian Terdahulu Mortar .....	16
<b>BAB III</b>	.....	<b>23</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	.....	<b>23</b>
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.2.	Jenis Dan Sumber Penelitian.....	23
3.3.	Tahapan Penelitian.....	23
3.4.	Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus.....	25
3.4.1.	Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus .....	26
3.4.2.	Pemeriksaan Karakteristik Semen .....	26
3.4.3.	Karakteristik Carbon Fiber.....	27
3.5.	Analisa Rancangan Campuran ( <i>Mix Design</i> ).....	27

3.6.	Alat Dan Bahan Penelitian .....	28
3.7.	Pembuatan Benda Uji .....	29
3.8.	Perawatan Benda Uji .....	31
3.9.	Pengujian Benda Uji .....	31
3.9.1.	Pengujian Flow Mortar .....	31
3.9.2.	Pengujian Kuat Tekan Mortar .....	32
3.9.3.	Pengujian Pola Retak dan Kehancuran .....	35
<b>BAB IV</b>	.....	<b>36</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	.....	<b>36</b>
4.1.	Karakteristik Material .....	36
4.1.1.	Karakteristik Fisik Agregat Halus .....	36
4.2.	Karakteristik Carbon Fiber .....	37
4.3.	Perilaku flow .....	37
4.4.	Perilaku Mekanik Mortar Yang Berbentuk Kubus .....	39
4.4.1.	Kuat Tekan Mortar Mortar Yang Berbentuk Kubus 5 cm .....	39
4.4.2.	Tegangan Regangan Mortar Yang Berbentuk Kubus .....	41
4.4.3.	Tegangan Regangan Vertical Dan Regangan Horizontal .....	42
4.4.4.	Tegangan Dan Regangan Volumetric .....	56
4.4.5.	Modulus Elastisitas Benda Uji Yang Berbentuk Kubus .....	64
4.4.6.	Poisson Ratio Benda Uji Yang Berbentuk Kubus .....	67
4.4.7.	Toughness Benda Uji Yang Berbentuk Kubus .....	67
4.4.8.	Pola Retak Benda Uji Berbentuk Kubus Akibat Kuat Tekan .....	68
<b>BAB V</b>	.....	<b>71</b>

<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>71</b>
5.1. Kesimpulan .....	71
5.2. Saran .....	72
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>77</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel Standar Pengujian Karakteristik Agregat Halus .....	26
Tabel 3. 2 Standar Pengujian Karakteristik Semen Portland .....	26
Tabel 3. 3 Standar Pengujian Karakteristik Carbon Fiber .....	27
Tabel 3. 4 Komposisi Mortar carbon Fiber Yang Digunakan.....	27
Tabel 3. 5 Tabel Identifikasi Pembuatan Benda Uji .....	30
Tabel 4.1 Karakteristik Agregat Halus.....	36
Tabel 4.2 Karakteristik Serat Carbon .....	37
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	41
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas.....	66

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Tegangan – Regangan Volumetric .....	15
Gambar 2. 2 Area Ketangguhan di bawah kurva Tegangan Regangan...	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 3. 2 Semen Portland .....	29
Gambar 3. 3 Pasir Sungai .....	29
Gambar 3. 4 Carbon Fiber .....	29
Gambar 3. 5 Air .....	29
Gambar 3. 6 Proses Pembuatan Benda Uji .....	30
Gambar 3. 7 Proses Perawatan Benda Uji (Curing) .....	31
Gambar 3. 8 Pengujian Flow Mortar .....	32
Gambar 3. 9 Perangkat Pengujian Dan Alat Akuisisi Data .....	34
Gambar 3. 10 Detail Pengujian Kuat Tekan.....	34
Gambar 3. 11 Pola Keruntuhan Kuat Tekan Yang Baik.....	35
Gambar 3. 12 Pola Pola Keruntuhan Kuat Tekan Yang Kurang Baik .....	35
Gambar 4.1 Grafik Analisa Saringan .....	35
Gambar 4.2(a) Uji Flow Mortar Control .....	35
Gambar 4.2(b) Uji Flow Mortar MCF 1.5%.....	35
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	41
Gambar 4.4 Tegangan Regangan Control pada Umur 7 Hari.....	45
Gambar 4.5 Tegangan Regangan Control pada Umur 28 Hari.....	45
Gambar 4.6 Tegangan Regangan Control pada Umur 90 Hari.....	46
Gambar 4.7 Tegangan Regangan MCF 0.5% pada Umur 7 Hari .....	48

Gambar 4.8 Tegangan Regangan MCF 0.5% pada Umur 28 Hari .....	49
Gambar 4.9 Tegangan Regangan MCF 0.5% pada Umur 90 Hari .....	49
Gambar 4.10 Tegangan Regangan MCF 1% pada Umur 7 Hari .....	52
Gambar 4.11 Tegangan Regangan MCF 1% pada Umur 28 Hari .....	52
Gambar 4.12 Tegangan Regangan MCF 1% pada Umur 90 Hari .....	53
Gambar 4.13 Tegangan Regangan MCF 1.5% pada Umur 7 Hari .....	55
Gambar 4.14 Tegangan Regangan MCF 1.5% pada Umur 28 Hari .....	56
Gambar 4.15 Tegangan Regangan MCF 1.5% pada Umur 90 Hari .....	56
Gambar 4.16 Volumetrik Strain Control pada Umur 7 Hari .....	57
Gambar 4.17 Volumetrik Strain Control pada Umur 28 Hari .....	58
Gambar 4.18 Volumetrik Strain Control pada Umur 90 Hari .....	58
Gambar 4.19 Volumetrik Strain MCF 0.5% pada Umur 7 Hari.....	59
Gambar 4.20 Volumetrik Strain MCF 0.5% pada Umur 28 Hari.....	60
Gambar 4.21 Volumetrik Strain MCF 0.5% pada Umur 90 Hari.....	60
Gambar 4.12 Volumetrik Strain MCF 1% pada Umur 7 Hari.....	61
Gambar 4.23 Volumetrik Strain MCF 1% pada Umur 28 Hari.....	62
Gambar 4.24 Volumetrik Strain MCF 1% pada Umur 90 Hari.....	62
Gambar 4.25 Volumetrik Strain MCF 1.5% pada Umur 7 Hari.....	63
Gambar 4.26 Volumetrik Strain MCF 1.5% pada Umur 28 Hari.....	64
Gambar 4.27 Volumetrik Strain MCF 1.5% pada Umur 90 Hari.....	64
Gambar 4.28 Modulus Elastisitas .....	66
Gambar 4.29 Poisson ratio .....	67
Gambar 4.30 Toughness .....	68

Gambar 4.31 Pola Retak benda uji Umur 7 Hari.....	69
Gambar 4.32 Pola Retak benda uji Umur 28 Hari.....	70
Gambar 4.33 Pola Retak benda uji Umur 90 Hari.....	70

## DAFTAR NOTASI

$f'_c$	= Kuat Tekan Beton (MPa)
$P$	= Gaya Tekan Maksimum (N)
$A$	= Luas Penampang Benda Uji ( $\text{mm}^2$ )
$E_c$	= Modulus Elastisitas (MPa)
$\sigma$	= Tegangan 40 % dari beban ultimit (MPa)
$\epsilon$	= Regangan Longitudinal pada tegangan 40% (mm/mm)
$\epsilon_H$	= Regangan Horizontal (mm/mm)
$H_1$	= Pembacaan LVDT 1
$H_2$	= Pembacaan LVDT 2
$T$	= Diameter benda uji (mm)
$\nu$	= Poisson Ratio (mm/mm)
$\epsilon_v$	= Regangan Volumetric (mm/mm)
$\epsilon_a$	= Regangan Vertical (mm/mm)
$\epsilon_L$	= Regangan Horizontal (mm/mm)



## DAFTAR SINGKATAN

FRP = *Fiber Reinforced Polymer*

MCF = Mortar Carbon Fiber

SNI = Standar Nasional Indonesia

PCC = *Portland Compossite Cement*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Perkembangan mortar sebagai material konstruksi berbasis semen hidraulik sejak satu abad terakhir ini sangat mengalami peningkatan dalam aplikasinya disebabkan metode produksinya tergolong sederhana dan dapat di rencanakan sesuai kekuatan yang di inginkan. Mortar merupakan material konstruksi yang penggunaannya telah lama digunakan dan yang paling banyak di aplikasikan. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya kebutuhan mortar untuk pembangunan infrastruktur. Hal ini disebabkan oleh beton dan mortar yang sifatnya mudah untuk dibentuk sesuai dengan desain rencana, material penyusun yang melimpah, dapat di rancang dengan kekuatan tekan yang tinggi, dan mudah dalam perawatannya. Beton dan mortar juga termasuk material yang memiliki tahanan karat/korosi yang kuat, tahan terhadap panas/api, memiliki kekuatan tekan yang tinggi. Mortar merupakan material yang banyak dijumpai sebagai bahan pengikat batu bata, batu kali, plesteran untuk lapisan permukaan dinding bagian luar dan dalam bangunan.

Penggunaan serat dalam beton dan mortar meningkatkan sifat mekanis yang ditambahkan dalam sebuah desain struktur terhadap menerima beban, menahan retak – retak akibat kadar air dan suhu sehingga dapat mencegah ataupun menahan retak awal pada saat

pembebanan. Keberadaan limbah serat carbon terhadap lingkungan akan menyebabkan masalah lingkungan karena serat carbon material yang sulit di urai oleh lingkungan.

Serat karbon merupakan salah satu kemajuan ilmu dalam dunia polimer, karena memiliki daya tarik yang tinggi dan telah banyak diaplikasikan dalam perkuatan sturuktur bangunan. Ketahanan serat karbon dalam menahan retak susut, ketahanan terhadap bahan kimia dan juga dapat meningkatkan sifat mekanik beton dan mortar. Penambahan serat karbon pada beton akan memberikan daya ikat yang tinggi terhadap beton mortar. Serat karbon memiliki modulus elastisitas yang tinggi. Diantara kelebihanannya serat karbon adalah rasio kekuatan tarik yang sangat tinggi dan serat karbon tidak rentan terhadap korosi atau oksidasi (Perumalsami Balaguru, dkk). Serat karbon juga memiliki kemampuan untuk meningkatkan ketahanan retak terhadap beton (Tabatabaei, dkk, 2013).

Keretakan akan terjadi khususnya pada beton dan mortar yang berumur muda akibat susut (shrinkage). Serat akan mampu untuk meningkatkan kekuatan awal dan menghalagi perumbuhan retakan awal pada beton.

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis mengangkat judul **“HUBUNGAN TEGANGAN REGANGAN MORTAR YANG MENGGUNAKAN SERAT CARBON DAN SEMEN CAMPURAN”**.

## **1.2. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana perilaku kuat tekan mortar berbentuk kubus 5 cm yang menggunakan serat carbon?
2. Bagaimana hubungan tegangan dan regangan yang terjadi mortar berbentuk kubus 5 cm yang mengandung serat carbon (modulus elastisitas, poisson ratio, dan nilai toughness)?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

1. Mengidentifikasi perilaku kuat tekan mortar berbentuk kubus 5 cm yang menggunakan serat carbon.
2. Menyusun hubungan yang logis antara tegangan dan regangan mortar berbentuk kubus 5 cm yang mengandung serat carbon yang meliputi modulus elastisitas, poisson ratio, dan nilai toughness.

## **1.4. Batasan Masalah**

1. Semen yang digunakan adalah jenis PCC yang banyak tersedia di pasaran.
2. Pasir yang digunakan berasal dari Sungai Jeneberang, Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia.
3. Serat yang digunakan adalah serat carbon yang banyak tersedia di pasaran dan merupakan sisa material buangan.
4. Pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, dan poisson ratio menggunakan sampel berbentuk kubus 50 mm x 50 mm x 50 mm yang dilakukan pada umur 7, 28 dan 90 hari.

5. Proses curing yang dilakukan adalah curing air.

### **1.5. Sistematika Penulisan**

Tulisan ini dibagi menjadi 5 (lima) bab dengan sistematika pemahasan sebagai berikut :

#### **Bab I : PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, pokok bahasan dan batasan masalah, serta sistematika penulisan.

#### **Bab II : TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi tentang tinjauan umum, penelitian sebelumnya mengenai mortar berserat, pembentuk mortar serta landasan teori, bahan - bahan penyusun mortar, metode pengujian benda uji.

#### **Bab III : METODOLOGI PENELITIAN**

Pembahasan tentang tujuan umum mengenai mutu material yang digunakan dan juga menguraikan metodologi penelitian yang di uraikan berupa tempat dan waktu penelitian, lokasi pengambilan sampel, diagram alir penelitian, persiapan alat dan bahan, pemeriksaan karakteristik material, perencanaan campuran mix desain, dan identifikasi benda uji.

#### **Bab IV : METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi pembahasan karakteristik material, perilaku flow mortar, kuat tekan benda uji berbentuk kubus, tegangan dan regangan benda uji, dan pola keruntuhan benda uji kubus.

#### **Bab V : PENUTUP**

Bab ini berisi simpulan mengenai analisis yang diperoleh yang disertai saran-saran yang di usulkan

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Mortar**

Mortar adalah campuran antara bahan pengikat (semen), agregat halus dan air dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya. Agregat halus yang biasanya digunakan dalam pencampuran mortar biasanya berasal dari alam ataupun dihasilkan oleh industri pemecah batu. Menurut SNI 03 – 6825 – 2002, Mortar semen portland adalah campuran antara pasir kwarsa, air suling dan semen portland dengan komposisi tertentu.

Perkembangan saat ini, mortar beton merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan baik itu pada bangunan sipil, drainase, maupun jalan raya yang tersusun atas agregat halus, semen sebagai bahan ikat dan air suling. Nilai daya tahan ataupun kekuatan dari mortar tergantung pada beberapa hal, diantaranya faktor air semen, mutu material yang digunakan untuk pembuatan mortar, kebersihan material, cara pelaksanaan pengerjaan, dan abahan tambah yang ditambahkan kedalam adukan campuran mortar

#### **2.2. Bahan Penyusun Mortar**

##### **2.2.1. Semen Portland**

Menurut SNI 15 – 2049 – 2004, semen portland adalah semen hidrolis yang diperoleh dengan cara penggilingan terak semen yang mengandung kalsium silikat yang bersifat hidrolis,

yang digiling dengan satu atau lebih bahan tambah lain. Semen portland dibagi menjadi 5 jenis semen, diantaranya jenis I, jenis II, jenis III, jenis IV, dan jenis V.

### **2.2.2. Semen Portland Komposit**

Berdasarkan SNI 15-7064-2004, pasal 3.1 semen *portland* komposit adalah bahan pengikat hidrolis dari hasil penggilingan bersama-sama terak semen *portland* dan gips dengan satu atau lebih lempung organik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen *portland* dengan bubuk anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), *pozzolan*, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6 % - 35 % dari massasemen *portland* komposit. SNI 15-7064-2004 Pasal 4, semen *portland* komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti : pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding, dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panelbeton, bata beton (*paving blok*) dan sebagainya.

Semen *portland* komposit merupakan varian jenis baru yang telah dikembangkan dan diproduksi secara massal oleh pabrik semen yang sebagai produsen semen dengan cara memberikan bahan tambahan (inert) dari semen *portland* tipe I. Semen *portland composite* yang digunakan untuk pembuatan



betonnya yaitu semen yang berbutir halus. Kehalusan semen ini dapat di raba/di rasakan secara visual dengan tangan. Semen yang mengandung gumpalan gumpalan (meskipun kecil) tidak baik digunakan dalam pembuatan beton.

Semen Portland Pozzolan dan Portland composite yang menggunakan material anorganik dan linker semen telah di kembangkan di negara Indonesia (M. Wihardi Tjaronge, 2012).

### **2.2.3. Agregat Halus (Pasir)**

Agregat material yang memiliki fungsi sebagai bahan isi dalam adukan mortar. Karakteristik agregat sangat mempengaruhi kualitas dari mortar itu sendiri. Agregat ditujukan untuk memberikan bentuk pada mortar, dan memberikan kekerasan / kekuatan kepada mortar. Agregat halus ini harus memenuhi persyaratan karakteristik seperti pemeriksaan kadar lumpur, kadar air, kadar organik, berat jenis dari agregat halus agar mortar dapat mencapai kekuatan yang diinginkan / dibutuhkan. Berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2002, memiliki kehalusan antara 2 mm – 5 mm, dengan ukuran butir maksimum adalah 4,75 mm (lolos saringan No. 4). Agregat halus bisa berasal dari bahan alami yang terbentuk dari hasil disintegrasi/pengikisan batuan (pasir alam) maupun buatan yang berasal dari pemecahan batu pecah. ukuran butir agregat halus bervariasi antara ukuran lolos saringan no. 4 dan

tertahan di atas saringan no. 100 (saringan standar Amerika). Variasi ukuran butir agregat halus harus mempunyai susunan gradasi yang baik dalam penggunaannya, yang sesuai dengan standar analisa saringan dari SNI.

#### **2.2.4. Air**

Air merupakan faktor penting dalam pembuatan mortar karena akan bereaksi dengan semua bahan penyusun mortar (agregat halus, semen dan bahan tambahan lainnya) sekaligus dalam perawatan mortar (*curing*). Air akan mempengaruhi sifat mekanik dari suatu mortar.

Air dalam pembuatan mortar haruslah memenuhi persyaratan dalam pembuatan adukan campuran mortar di antaranya air yang digunakan haruslah bersih, tidak boleh mengandung asam, minak ataupun bahan lain yang dapat merusak mortar ataupun baja tulangan. Air yang mengandung senyawa – senyawa berbahaya, tercemar garam, minyak ataupun bahan kimia lain dapat merusak / menurunkan kekuatan mekanis dari mortar

#### **2.2.5. Carbon Fiber**

*Fiber Reinforced Polymer (FRP)* adalah komposit yang terbuat dari serat berkekuatan tinggi. Jenis serat yang umum termasuk: aramid, karbon, kaca, dan baja berkekuatan tinggi. Serat carbon bebahan dasar polyacrylonitrite, rayon, resin,

metana dan benzene (Madronero, 1995). Carbon fiber merupakan material komposit yang penggunaannya saat ini sangat meningkat sebagai bahan bangunan modern (Suryanto, dkk, 2015), (Giosue, dkk, 2017), yang telah dikembangkan selama beberapa decade terakhir (Cummaraswamy v, dkk, 2008). CFRP memiliki keunggulan signifikan dibandingkan bahan struktural klasik seperti baja, termasuk bobot rendah, ketahanan korosi, ketahanan terhadap cuaca, kemampuan tarik yang sangat tinggi, tahan terhadap serangan asam atau zat alkali lainnya (Banthia, 1996). Carbon fiber biasanya digunakan sebagai bahan perkuatan pada struktur bangunan, jembatan ataupun bidang keairan, termasuk juga pada bidang automotive dan aerospace (Yeou fong Li, dkk, 2019). Penambahan serat mampu meningkatkan kekuatan awal dan menghambat pertumbuhan retakan awal dari mortar terutama pada saat mortar berusia muda. Penggunaan serat carbon dalam mortar juga membentuk jaringan filament mikro yang memperbaiki sifat-sifat mekanis (Hu, dkk, 2014), sekaligus juga menambah ketangguhan adukan semen (Chen, dkk, 2018). Keberadaan serat di dalam adukan mortar dapat meningkatkan efek internal confining untuk meningkatkan nilai kuat tekan (Wasim abbas, dkk, 2018), dan efek bridging dalam menjembatani pencegahan retak-retak (Emad AH, dkk, 2022).

## 2.3. Perilaku Mekanik Mortar

### 2.3.1. Pengujian Flow Mortar

Uji flow table digunakan sebagai parameter untuk memformulasi mortar dengan cara percobaan desain faktorial (Luciano Senfft, 2009). Perilaku dan sifat pembuatan mortar, dalam keadaan segar, terutama dipengaruhi oleh penilaian partikel, jumlah air digunakan, dan bentuk dan tekstur permukaan partikel. Proses produksi dan penerapan mortar menuntut penyesuaian dalam bahannya sehingga plastisitas dan konsistensi perlu di optimalkan sehingga memungkinkan pelaksanaan yang tepat (Elton Bauer, 2014).

### 2.3.2. Kuat Tekan Mortar

Kuat tekan mortar merupakan besarnya perbandingan beban terhadap luas penampang mortar tersebut, yang akan menyebabkan benda uji mengalami kehancuran bila mengalami gaya yang dihasikkan oleh alat mesin tekan. Pengujian ini dilakukan dengan benda uji berbentuk kubus 5 cm × 5 cm × 5 cm yang dilakukan perawatan melalui curing air 7 hari dan 28 hari dan spesifikasi pengujian kuat tekan yang mencacu pada standar ASTM C109.

Nilai kekuatan tekan beton dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

Dimana :

$f'c$  = Kuat Tekan Beton (MPa)

$P$  = Gaya Tekan Maksimum (N)

$A$  = Luas Penampang Benda Uji ( $\text{mm}^2$ )

## 2.4. Hubungan Tegangan Dan Regangan Tekan Mortar

### 2.4.1. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan besarnya rasio tegangan terhadap regangan dari mortar ataupun beton. Modulus elastisitas mempengaruhi kekuatan dan kekauan dari mortar dan beton. Modulus elastisitas tergantung dari umur benda uji, sifat sifat material dan jenis dan ukuran benda uji. Modulus elastisitas diperoleh menggunakan metode secant modulus, yaitu sekitar 0 – 50% dari tegangan puncak (Sayet Morteza D, dkk 2020), dimana dalam penelitian ini digunakan 40% dari tegangan puncak, dan diukur menggunakan LVDT (Graciela Giaccio, dkk, 2007). Perhitungan modulus elastisitas beton menggunakan rumus :

$$E_{C40} = \frac{\text{Tegangan } (\sigma)}{\text{Regangan } (\epsilon)}$$

Dimana:

$E_c$  = Modulus Elastisitas (MPa)

$\sigma$  = Tegangan 40% dari beban ultimit (MPa)

$\epsilon$  = Regangan Longitudinal pada tegangan 40% dari beban puncak

#### 2.4.2. Poisson Ratio

Sebuah gaya satu arah diberikan terhadap benda uji akan menghasilkan suatu regangan dan membuat material tersebut mengalami displacement, regangan arah lateral, dan diukur pada arah horizontal, yang diletakkan pada posisi tengah benda uji. Poisson ratio diperoleh menggunakan metode secant poisson ratio, yaitu sekitar 0 – 50% dari tegangan puncak (Sayet Morteza D, dkk 2020) dimana dalam penelitian ini digunakan 40% dari tegangan puncak. Dihitung dengan persamaan (Mirmiran Amir, dkk, 1997), (Michel Samaan, 1998) :

$$\varepsilon_L = \frac{(H1+H2)}{D}$$

$$\nu = \frac{(\varepsilon_L)}{(\varepsilon_a)}$$

Dimana :

$\varepsilon_L$  = Regangan Horizontal

H1 = Pembacaan LVDT 1

H2 = Pembacaan LVDT 2

T = Diameter benda uji

$\nu$  = Poisson Ratio

$\varepsilon_a$  = Regangan Vertikal

### 2.4.3. Regangan Volumetrik

Dalam penelitian Belen Gonzales, dkk (2011), Michel Samaan, dkk (1998), regangan volumetrik didefinisikan sebagai  $\epsilon_v = \epsilon_a + 2 \epsilon_L$  (di mana  $\epsilon_a$  adalah regangan memanjang dan  $\epsilon_L$  adalah regangan transversal), regangan volumetric ini untuk mengetahui effect gabungan dari hubungan tegangan regangan vertical dan horizontal. Mencerminkan kerusakan beton /mortar oleh microcracks sebelum kegagalan. Jadi, identifikasi ambang batas kerusakan retak adalah titik di mana kurva kekakuan berubah dari positif ke negatif, juga didefinisikan sebagai pembalikan dalam tanda kenaikan regangan volumetrik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan laju kendali beban dan laju kendali regangan. Empat pengukur regangan dipasang pada benda uji yang digunakan dalam uji elastisitas modulus longitudinal dan transversal dan dalam uji kuat tekan. Dua digunakan untuk mengukur regangan aksial dan dua lainnya digunakan untuk mengukur regangan transversal. Dua transduser perpindahan longitudinal juga digunakan dalam uji kuat tekan yang dikembangkan di bawah laju kendali regangan. Jadi, selama pengujian ini, beban dan regangan diukur, sehingga memungkinkan untuk menentukan tegangan-regangan longitudinal, tegangan regangan transversal, kurva tegangan-

regangan volumetrik dan garis potong  $\epsilon$  di setiap keadaan beban.

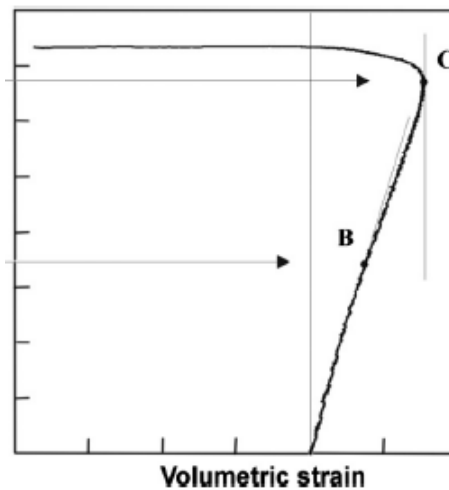
$$\epsilon_V = \epsilon_a + 2 \times \epsilon_L$$

Dimana :

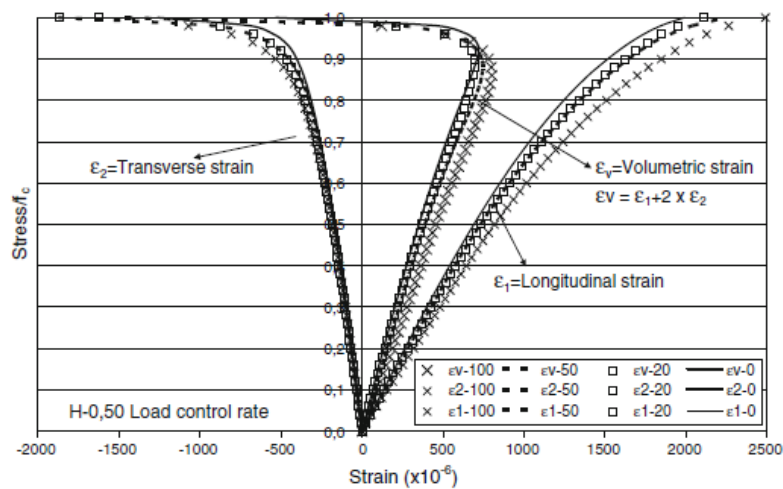
$\epsilon_V$  = Regangan Volumetric (mm/mm)

$\epsilon_a$  = Regangan Vertical (mm/mm)

$\epsilon_L$  = Regangan Horizontal (mm/mm)



(Sumber : Jodilson Ammorim C, dkk, 2013)



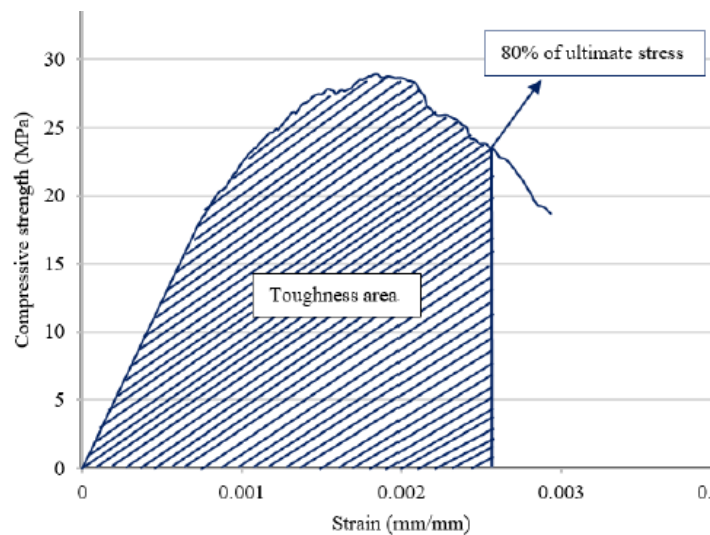
(Sumber : Belen Gonzales, dkk, 2011)

Gambar 2. 1 Grafik Tegangan – Regangan Volumetric



#### 2.4.4. Toughness

Nilai toughness benda uji mortar dihitung sebagai area di bawah kurva tegangan-regangan sampai dengan regangan ultimit seperti yang ditunjukkan pada Gambar . Menentukan area tertentu di bawah kurva tegangan-regangan sebesar 80% untuk tegangan ultimit di area pasca-puncak yang diberikan (Emad A.H. Alwesabi, dkk, 2022).



Sumber : Mahmoud Abu-Saleem, dkk (2021)

Gambar 2.2 Area ketangguhan di bawah kurva tegangan -  
regangan

#### 2.4.5. Penelitian Terdahulu Mortar

Ahmed Hamed, dkk, (2021) mempelajari pengaruh Carbon Fiber Filament (CFF) dengan rasio dan panjang yang berbeda terhadap sifat fisik dan mekanik mortar semen. Sebuah program eksperimental termasuk 3 cm panjang tetap

MCFE dengan 0, 0,25, 0,5, 0,75, dan 1% rasio yang berbeda berat penambahan semen digunakan dalam kubus mortar semen. Program percobaan lain dengan rasio CFF 0,5% dengan panjang 1, 2, 3, 4, dan 5 cm yang berbeda berdasarkan berat penambahan semen digunakan dalam prisma mortar semen. Sifat fisik dan mekanik mortar semen yang mengandung MCF diselidiki secara eksperimental pada 7 dan 28 hari perawatan. Workability, dengan menggunakan flow table test, diukur. Massa jenis dilakukan untuk kubus dan prisma pada umur 28 hari. Pada umur 7 dan 28 hari, kuat tekan dan kuat lentur dipelajari. Studi menunjukkan penurunan kemampuan kerja dengan peningkatan rasio CFF dan panjang masing-masing sebesar 0,0 hingga 2,7% dan 0,9 hingga 5,4%. Selain itu, peningkatan kepadatan, tekan, dan kekuatan lentur diamati. Pada umur 7 dan 28 hari, hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan meningkat masing-masing 33 dan 31% pada rasio CFF 0,5% sedangkan kuat lentur meningkat masing-masing sebesar 125 dan 327% dengan panjang CFF 5 cm.

Yeou-Fong Li, dkk (2019) menyelidiki beberapa pendekatan untuk penghilangan silan dari permukaan short bundel serat karbon, dan serat karbon pendek tersebar merata dalam semen untuk menghasilkan semen yang diperkuat serat karbon. Untuk memfasilitasi distribusi seragam pendek serat

karbon dalam semen yang diperkuat serat karbon, perlu untuk menghilangkan silan dari karbon permukaan serat. Hasilnya diamati di bawah mikroskop elektron pemindaian untuk menentukan tingkat penghilangan silan dari permukaan, dan metode yang efektif untuk menghilangkan silan dikembangkan dari beberapa pendekatan. Metode ini menggunakan dispersi pneumatic perangkat untuk membubarkan serat karbon kemudian dicampur dalam semen kekuatan awal tinggi yang menghasilkan kualitas yang sangat baik kinerja tekan dan ketahanan benturan dari semen yang diperkuat serat karbon. Tes akhir menunjukkan bahwa kuat tekan dan energi impak meningkat masing-masing sebesar 14,1% dan 145%.

Md.Safiuddin, dkk (2021) menyajikan sifat penyerapan air dan kekuatan serat karbon pendek komposit mortar bertulang (CFRM). Empat komposit CFRM dengan 1%, 2%, 3%, dan 4% pendek serat karbon berbasis pitch diproduksi dalam penelitian ini. Mortar semen Portland normal (NCPM) adalah juga disiapkan untuk digunakan sebagai mortar kontrol. Komposit mortar yang baru dicampur diuji untuk workability, densitas basah, dan kandungan udara yang terperangkap. Selain itu, komposit mortar yang mengeras diperiksa kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan kuat air penyerapan pada umur 7 dan 28 hari. Efek dari kandungan serat karbon yang berbeda pada

yang diuji properti diamati. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggabungan serat karbon menurunkan workability dan densitas basah, tetapi meningkatkan kandungan udara yang terperangkap dalam komposit mortar. Paling Menariknya, kekuatan tekan komposit CFRM meningkat hingga 3% kandungan serat karbon dan kemudian menurun secara signifikan untuk kandungan serat 4%, tergantung pada kemampuan kerja dan pemadatan dari mortar. Sebaliknya, kekuatan tarik belah dan kekuatan lentur komposit CFRM meningkat untuk semua kandungan serat karena ketahanan retak yang lebih besar dan kekuatan ikatan yang ditingkatkan serat karbon dalam mortar. Kehadiran serat karbon berbasis pitch pendek secara signifikan memperkuat mortar dengan menjembatani microcracks, menahan propagasi meniti ini retak, dan menghambat pertumbuhan macrocracks. Selanjutnya, penyerapan air CFRM komposit menurun hingga 3% kandungan serat karbon dan kemudian meningkat secara substansial untuk serat 4% konten, tergantung pada kandungan udara yang terperangkap dari mortar. Hasil tes keseluruhan menunjukkan bahwa mortar dengan serat karbon 3% adalah komposit CFRM optimal berdasarkan sifat yang diuji.

Houssam A. Toutanji, dkk, (1994) mempelajari mengenai penambahan serat carbon karbon pasta semen menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam tarik dan lentur sifat-sifat komposit. Penambahan 1, 2 dan 3% vol. serat karbon menjadi matriks semen menghasilkan peningkatan uniaksial kekuatan tarik masing-masing 32, 48 dan 56%. Itu peningkatan kekuatan lentur komposit lebih signifikan, dibandingkan dengan uniaksial daya tarik. Kekuatan lentur semen matriks meningkat 72, 95 dan 138% dengan penambahan dari 1, 2 dan 3% vol. serat karbon, masing-masing. Namun, keandalan serat karbon yang diperkuat komposit dalam ketegangan sangat meningkat dan ada korelasi positif antara pemuatan serat.

MD safiuddin, dkk (2021) membahas kinerja serat karbon berbasis pitch pendek yang diperkuat mortar (CFRM) komposit mempertimbangkan sifat kunci dan efektivitas biaya. Lima jenis yang berbeda komposit mortar diproduksi menggunakan kandungan volume 0 - 4% dari serat karbon berbasis pitch pendek. Komposit mortar diuji untuk aliran kerucut kemerosotan terbalik (waktu aliran dan aliran volume), berat satuan, kadar udara, kuat tekan, kuat lentur, ketahanan benturan, dan daya serap air. Efektivitas biaya CFRM dinilai berdasarkan rasio kinerja terhadap biaya (PCR), yang dihitung untuk setiap komposit mortar, dengan mempertimbangkan

kemampuan kerja, sifat mekanik, dan daya tahan. Aliran volume kerucut kemerosotan terbalik dihitung sebagai ukuran kemampuan kerja, sedangkan kuat tekan, kuat lentur, dan tahan benturan dianggap sebagai yang utama atribut dari perilaku mekanik. Selain itu, penyerapan air digunakan sebagai ukuran daya tahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit mortar yang dibuat dengan serat karbon 3% disediakan kemampuan kerja yang memadai, berat unit yang relatif tinggi dan kandungan udara rendah, kompresi tertinggi kekuatan, kekuatan lentur yang sangat baik, ketahanan benturan yang baik, dan penyerapan air terendah. Dulu juga menemukan bahwa PCR meningkat hingga 3% serat karbon. Di luar kandungan serat 3%, PCR menurun secara signifikan. Temuan penelitian secara keseluruhan mengungkapkan bahwa mortar dengan serat karbon 3% adalah komposit mortar yang optimal dan paling hemat biaya.

Cumaraswamy Vipulanandan, dkk (2008) melakukan penelitian tentang resistivitas listrik dan sifat mekanik mortar semen yang diperkuat serat karbon CFRCM diselidiki. Benda uji silinder dan prisma digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan pengaruh ukuran dan bentuk benda uji pada benda uji. sifat fisik dan mekanik dari sistem CFRCM. Pemuatan serat karbon divariasikan hingga 6% b/b , dan rasio

air-semen w/c 0,5 dan 1 digunakan. Resistivitas listrik spesifik mortar polos dengan rasio w/c 1, 66.000 Ohm m diturunkan menjadi 3,750 dan 0,23 Ohm m setelah meningkatkan kandungan serat karbon masing-masing menjadi 1 dan 6% b/b. Teori perkolasi digunakan untuk mewakili variasi resistivitas spesifik listrik dengan kandungan serat dalam mortar semen. Meningkatkan rasio w/c menurunkan kekuatan dan ketangguhan komposit CFRCM. Meningkatkan kandungan serat meningkatkan regangan puncak dan ketangguhan, tetapi menurunkan Modulus Young dan resistivitas listrik komposit mortar semen. Tes kecepatan pulsa menunjukkan bahwa bentuk spesimen juga terpengaruh modulus Young dinamis, modulus geser dinamis, dan rasio Poisson dinamis. Kekuatan kompresi CFRCM adalah dipengaruhi oleh rasio w/c dan kandungan serat. Sebuah model digunakan untuk memprediksi perilaku tegangan-regangan tekan dari CFRCM yang berbeda sistem, dan hubungan antara sifat statis dan dinamis telah dikembangkan. Hubungan empiris dikembangkan untuk menghubungkan resistivitas listrik spesifik terhadap satuan berat, modulus Young, dan kecepatan pulsa.