

**SKRIPSI**

**HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN DAN KUAT TEKAN  
MORTAR DENGAN CAMPURAN AIR LAUT DAN SILICA  
FUME SEBAGAI PENGGANTI SEMEN**

***RELATIONSHIP OF STRESS-STRAIGHT AND COMPRESSIVE  
STRENGTH OF MORTAR WITH A MIXTURE OF SEA WATER  
AND SILICA FUME AS A SUBSTITUTE FOR CEMENT***

**Disusun dan diajukan oleh:**

**RAHMI NUR HAKIM  
D011 20 1024**



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

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN DAN KUAT TEKAN MORTAR DENGAN CAMPURAN AIR LAUT DAN SILICA FUME SEBAGAI PENGANTI SEMEN

Disusun dan diajukan oleh

**RAHMI NUR HAKIM**  
**D011 20 1024**

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 : Rahmi Nur Hakim  
NIM : D011201024  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN DAN KUAT TEKAN MORTAR  
DENGAN CAMPURAN AIR LAUT DAN SILICA FUME SEBAGAI  
PENGGANTI SEMEN}

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, 14 Desember 2023

Menyatakan



Rahmi Nur Hakim

## ABSTRAK

**RAHMI NUR HAKIM.** *Hubungan Tegangan-Regangan dan Kuat Tekan Mortar dengan Campuran Air Laut dan Silica Fume sebagai pengganti Semen* (dibimbing oleh M. Wihardi Tjaronge dan Akbar Caronge)

Salah satu unsur penting dalam campuran mortar adalah air. Namun seperti yang kita ketahui kebutuhan air bersih untuk saat ini mulai berkurang. Oleh karena itu muncul inovasi baru untuk menggunakan air laut sebagai pengganti air tawar dalam pencampuran mortar atau beton. Selain itu digunakan juga material *silica fume* sebagai pengganti semen. Dimana digunakan material ini karena sifatnya yang sangat halus sehingga dapat mengisi pori-pori yang kosong dalam campuran mortar. Dalam penelitian ini terdapat 3 sampel beton dari tiap variasi, dimana variasi tersebut yaitu mortar normal, mortar dengan air laut dan mortar dengan tambahan 5%, 7%, dan 10% *silica fume* sebagai pengganti semen. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan tegangan dan regangan mortar dan mengidentifikasi nilai modulus elastisitas dari mortar yang menggunakan *silica fume* sebagai pengganti semen. Penelitian ini dilakukan pengujian perilaku mekanik terhadap mortar yang dibuat. Perilaku mekanik yang dimaksud berupa pengujian kuat tekan, dan modulus elastisitas. Perawatan beton dilakukan dengan cara beton direndam dalam bak curing. Pengujian kuat tekan yang dilaksanakan pada umur 7 dan 28 hari. Dari hasil pengujian terdapat peningkatan kuat tekan mortar dari hari 7 ke 28 hari dan pengujian beton dengan tambahan *silica fume* sebagai pengganti semen sudah memenuhi target kuat tekan rencana mortar. Dapat dilihat bahwa kuat tekan mortar dengan *silica fume* sebagai pengganti semen, tertinggi pada mortar umur 28 hari dengan variasi komposisi 5% *silica fume* sebagai pengganti semen dengan nilai kuat tekan mortar rata rata 15, 25 N/mm<sup>2</sup>.

Kata Kunci: *Silica Fume* , Kuat Tekan, Tegangan, Regangan, Modulus elastisitas.

## ABSTRACT

**RAHMI NUR HAKIM.** *Relationship of Stress-strain and Compressive Strength of Mortar with a Mixture of Sea Water and Silica Fume as a Substitute Cement* (supervised by M. Wihardi Tjaronge and Akbar Caronge)

One of the important elements in the mortar mixture is water. However, as we know, the need for clean water is currently starting to decrease. Therefore, new innovations have emerged to use sea water as a substitute for fresh water in mixing mortar or concrete. Apart from that, silica fume material is also used as a substitute for cement. This material is used because it is very fine so it can fill empty pores in the mortar mixture. In this study there were 3 concrete samples from each variation, where the variations were normal mortar, mortar with sea water and mortar with the addition of 5%, 7% and 10% silica fume as a cement substitute. The aim of this research is to determine the relationship between stress and strain in mortar and identify the elastic modulus value of mortar that uses silica fume as a cement substitute. This research was carried out to test the mechanical behavior of the mortar made. The mechanical behavior in question is in the form of testing for compressive strength and modulus of elasticity. Concrete treatment is carried out by immersing the concrete in a curing bath. Compressive strength tests were carried out at 7 and 28 days. From the test results, there was an increase in the compressive strength of the mortar from day 7 to 28 days and testing of concrete with the addition of silica fume as a cement substitute had met the planned compressive strength target for the mortar. It can be seen that the compressive strength of mortar with silica fume as a cement substitute is highest in 28 day old mortar with a composition variation of 5% silica fume as a cement substitute with an average mortar compressive strength value of 15.25 N/mm<sup>2</sup>.

Keywords: *Silica Fume* , Stress, Strain, Compressive Strength, Modulus of Elasticity.

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Batasan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	6
2.2 Mortar.....	9
2.2.1 Pengertian Mortar .....	9
2.2.2 Spesifikasi Mortar .....	10
2.2.3 Tipe Mortar .....	11
2.2.4 Sifat-Sifat Mortar .....	14
2.3 Material Penyusun Mortar.....	14
2.3.1 Semen Campuran ( <i>Blanded Cement</i> ).....	15
2.3.2 Agregat halus .....	18
2.3.3 Air .....	20
2.3.4 Silica fume .....	22
2.4 Sifat – Sifat Mekanis Mortar.....	25
2.4.1 Kuat Tekan Mortar.....	25
2.4.2 Perilaku Tegangan Regangan.....	26
2.4.3 Modulus Elastisitas .....	27
2.4.4 Toughness .....	28
2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan .....	28
2.5.1 Faktor Air Semen.....	28
2.5.2 Umur Mortar .....	29
2.5.3 Perawatan Mortar.....	30
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	31
3.2 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	31
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	32
3.4 Pemeriksaan Karakteristik Material .....	33
3.4.1 Silica Fume.....	33
3.4.2 Agregat Halus.....	34
3.5 Pembuatan Benda Uji.....	34

3.6 Perawatan ( <i>Curing</i> ) Benda Uji.....	35
3.7 Pengujian Kuat Tekan.....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>38</b>
4.1 Karakteristik Material .....	38
4.1.1 Karakteristik Agregat Halus.....	38
4.1.2 Karakteristik Air Laut .....	39
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 Perilaku Mekanik Mortar Benda Uji yang Berbentuk Kubus.....	40
4.3.1 Kuat Tekan Mortar Benda Uji yang Berbentuk 50 x 50 mm .....	40
4.3.2 Regangan Puncak Mortar yang Berbentuk Kubus.....	42
4.3.3 Hubungan Tegangan Regangan Mortar yang Berbentuk Kubus.....	43
4.3.4 Modulus Elastisitas Benda Uji Berbentuk Kubus .....	50
4.3.5 Toughness Benda Uji Berbentuk Kubus .....	51
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran.....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>55</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Grafik Hubungan Tegangan Regangan .....	26
Gambar 2. Area Toughness dibawah kurva tegangan regangan .....	28
Gambar 3. Lokasi penelitian pada Jl.Poros malino Km.6 Bontomarannu Gowa	31
Gambar 4. Material Bahan Campuran Mortar .....	33
Gambar 5. Proses <i>Curing</i> benda uji .....	35
Gambar 6. Pengujian Kuat Tekan Mortar .....	37
Gambar 7. Data Kuat Tekan pad Umur 7 dan 28 Hari.....	41
Gambar 8. Data Regangan Puncak pada Umur 7 dan 28 Hari.....	42
Gambar 9. Hubungan Tegangan dan Regangan pada mortar NW Umur 7 hari .	43
Gambar 10. Hubungan Tegangan dan Regangan pada mortar NW Umur 28 hari	44
Gambar 11. Hubungan Tegangan dan Regangan pada mortar SW Umur 7 hari..	45
Gambar 12. Hubungan Tegangan dan Regangan pada mortar SW Umur 28 hari	46
Gambar 13. Hubungan Tegangan dan Regangan pada mortar SW-5SF Umur 7 hari.....	47
Gambar 14. Hubungan Tegangan dan Regangan pada mortar SW-5SF Umur 28 hari.....	47
Gambar 15. Hubungan Tegangan dan Regangan pada mortar SW-7SF Umur 7 hari.....	48
Gambar 16. Hubungan Tegangan dan Regangan pada mortar SW-7SF Umur 28 hari.....	49
Gambar 17. Hubungan Tegangan dan Regangan pada mortar SW-10SF Umur 7 hari.....	50
Gambar 18. Hubungan Tegangan dan Regangan pada mortar SW-10SF Umur 28 hari.....	50
Gambar 19. Modulus Elastisitas Benda uji kubus .....	51
Gambar 20. Nilai Toughness Benda uji kubus.....	52

**DAFTAR TABEL**

Tabel 1. Persyaratan Proporsi .....	10
Tabel 2. Batas Gradasi Agregat Halus .....	19
Tabel 3. Komposisi Kimia Silica Fume .....	24
Tabel 4. Komposisi Fisika silica Fume .....	24
Tabel 5. Pemeriksaan Karakteristik Silica Fume .....	33
Tabel 5. Stadar Pengujian Karakteristik.....	24
Tabel 6. Stadar Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus.....	34
Tabel 7. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus .....	38
Tabel 8. Kandungan Kimia air laut .....	39
Tabel 9. Komposisi Kimia <i>Silica Fume</i> .....	39
Tabel 10. Komposisi Kimia semen campuran .....	39
Tabel 11. Rancangan Campuran Mortar .....	40

**DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL**

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$f'c$	Kuat tekan beton (MPa atau N/mm <sup>2</sup> ).
P	Gaya tekan aksial (N).
A	Luas penampang melintang benda uji (mm <sup>2</sup> ).
$\varepsilon$	Regangan
$\Delta L$	Perubahan Panjang
$L_0$	Panjang Awal
E	Modulus Elastisitas
S <sub>2</sub>	Tegangan pada 40% tegangan runtuh (N/mm <sup>2</sup> )
S <sub>1</sub>	Tegangan pada saat regangan 0,000050 (N/mm <sup>2</sup> )
NW	Normal Water
SW	Sea Water

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran. 1 Dokumentasi Persiapan Material .....	57
Lampiran. 2 Dokumentasi Pembuatan Benda Uji .....	58
Lampiran. 3 Dokumentasi Perawatan Benda Uji .....	59
Lampiran. 4 Dokumentasi Pengujian .....	60

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkat rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN DAN KUAT TEKAN MORTAR DENGAN CAMPURAN AIR LAUT DAN SILICA FUME SEBAGAI PENGGANTI SEMEN” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan 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. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.,** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng. dan Dr. Eng. Bambang Bakri, ST, MT.,** selaku ketua dan sekretaris Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., MT.,** 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. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.,** selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada kami.

5. **Bapak Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
6. **Kak Hasan, ST.**, selaku Laboran Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bimbingan selama pelaksanaan penelitian di laboratorium.
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Almarhum ayahanda **Darmawangsa A.md** tercinta yang sudah terlebih dahulu dipanggil oleh Yang Maha Kuasa. Terimakasih semasa hidupnya telah merawat dan membesarkan saya dengan penuh rasa kasih sayang dan berharap semua anaknya menjadi anak sholeh dan sholeha. Semoga ayah bangga kepada saya. Tak lupa pula untuk ibunda tercinta **Masni** atas doa, kasih sayangnya, dan segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Kakak saya **Musdjamal Hakim, Rahmawati Hakim, Wiwin Andriani S.KM** dan Adik-adik tersayang **Ridwan Hakim, Intan Nur Hakim** dan **Reski Ramadhani Hakim** yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir in

3. Teman-Teman Seperjuangan yang selalu menemani, menyemangati, menasehati, dan memberi dukungan sehingga tugas akhir ini bisa terselesaikan dengan baik. Terimakasih kepada Mita, Ica, Ana, Ucci dan yang lainnya.
4. Teman-Teman seperjuangan di **Laboratorium Riset Eco Material**, Mita, Puput, Glo, Pago, Diki, Padil, Dayat, Yazid, Jabal, Rehan dan Dilan yang senantiasa bersama-sama saling memberikan semangat dan dorongan dalam menyelesaikan tugas akhir.
5. Teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2020 (Entitas 21)** yang telah mengukir kenangan bersama yang sangat indah.

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.

Akhirnya semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayahnya-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 14 Desember 2023

Penulis

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi di Indonesia terus menerus mengalami peningkatan, hal ini tidak lepas dari tuntutan dan kebutuhan masyarakat terhadap fasilitas infrastruktur yang semakin maju, seperti jembatan dengan bentang panjang dan lebar, bangunan gedung bertingkat tinggi (terutama untuk kolom dan beton pracetak), dan fasilitas lain yang berhubungan dengan pembangunan. Semakin meningkatnya pembangunan infrastruktur, maka semakin meningkat pula penggunaan material konstruksi sebagai bahan penyusun mortar atau beton. Dimana salah satu penyusun yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan mortar adalah air. Hal ini berdampak langsung pada peningkatan kebutuhan material seperti air pencampur (*mixing water*) yang secara global miliaran ton air bersih setiap tahun digunakan sebagai air pencampur dan air perawatan dalam industri beton (Otsuki dkk, 2011).

Seperti yang kita ketahui bahwa kebutuhan manusia untuk air bersih yang layak konsumsi semakin terbatas dan sumber air bersih tidak tersebar merata di seluruh Indonesia, terutama selama musim kemarau. Karena Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang terdiri dari 17.580 pulau dengan garis pesisir pantai sepanjang 81.000 km, mengakibatkan air laut sangat melimpah di sekitar wilayah Indonesia. Melihat potensi sumber air laut yang melimpah tersebut dan keterbatasan sumber air tawar sebagai air bersih yang untuk kebutuahn, maka tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan air laut dalam pencampuran pada pembuatan mortar atau beton.

Namun penggunaan air laut dalam campuran mortar dan beton tersebut tidak terlalu disarankan karena akan mempercepat laju korosi pada tulangan mortar atau beton. Oleh karena itu dibutuhkan mortar atau beton yang mampu menahan masuknya unsur kimia di dalam air yang bersifat menyerang kekuatan mortar dan beton tersebut. Selain itu beton juga harus mempunyai kekuatan tekan yang tinggi dan permeabilitas yang rendah.

Konstruksi mortar dan beton yang berada di lingkungan agresif tersebut sering kali mengalami serangan sulfat seperti pembentukan Kalsium Sulfat (Gypsum) dan Kalsium Sulfoaluminat (Ettringite) yang diakibatkan resapan air laut ke dalam pori-pori beton. Kalsium Sulfat (Gypsum) diperoleh dari hasil hidrasi antara semen dengan air yang menghasilkan Kalsium Hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) yang bersifat basa dan mempunyai angka kelarutan yang tinggi. Terbentuknya Kalsium Sulfat (Gypsum) ini bila bereaksi dengan kalsium aluminat hidrat akan membentuk kristal yang seperti jarum dan mengembang, mendesak sisi sekitarnya sehingga terjadi pengerusakan pada sisi sekitar beton.

Kalsium Sulfoaluminat (Ettringite) diperoleh dari hasil Kalsium Sulfat akan bereaksi dengan Kalsium Aluminat Hidrat di dalam pasta yang bersifat mengembang dan akhirnya merusak beton. Senyawa ettringite merupakan senyawa yang mempunyai volume yang sangat besar sehingga menyebabkan pemuaian dan dapat menimbulkan keretakan terhadap beton. Pembentukan Kalsium Sulfat (Gypsum) dan Kalsium Sulfoaluminat (Ettringite) pada beton yang terendam air laut meningkatkan porositas yang bisa menimbulkan beton kropos serta menurunkan kekuatan beton.

Untuk mencegah atau mengurangi terjadinya kerusakan seperti itu, dapat dilakukan terutama dengan membuat beton yang padat (kedap air) dan/atau melindungi permukaan beton dengan zat lain yang dapat menahan pengaruh zat asam perusak tersebut (Samekto dan Rahmadiyanto, 2001). Pori (rongga udara) yang terdapat pada beton itu memberikan kesempatan kepada air laut untuk masuk dan merusak beton. Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap disintegrasikan oleh zat kimia yang bersifat agresif yaitu, memuat beton yang kedap air, penggunaan tipe semen yang memiliki ketahanan yang tinggi terhadap sulfat dan penambahan bahan tambahan mineral seperti pozzolan ke dalam campuran beton.

Pada penelitian ini ditekankan pada usaha yang ketiga yaitu penambahan pozzolan ke dalam campuran beton. Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu normal

membentuk senyawa kalsium silikat hidrat dan kalsium hidrat yang bersifat hidrolis dan mempunyai angka kelarutan yang rendah (Dharma Putra, 2006).

Salah satu pozzolan tersebut adalah Silika fume (mikro silika) mempunyai kandungan senyawa silika reaktif (amorphous silica) yang sama seperti senyawa yang terdapat pada semen, yang merupakan produk sampingan sebagai abu pembakaran dari proses pembuatan silicon metal atau silicon alloy dalam tungku pembakaran listrik. Silicon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) tersebut akan bereaksi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  sehingga akan menjadi senyawa CSH gel, dimana senyawa CSH gel tersebut akan mengisi celah-celah yang lemah yaitu antara agregat dengan pasta semen sehingga akan memperkuat matrik beton Mikrosilika ini bersifat pozzolan, dengan kadar kandungan senyawa silicon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) yang sangat tinggi (> 90 %), dan ukuran butiran partikel yang sangat halus, yaitu sekitar 1/100 ukuran rata-rata partikel semen (Yogendran., et al, 1987).

Oleh karena itu, peneliti ingin menggunakan Silika fume (mikro silika) sebagai bahan pengganti semen untuk mengetahui pengaruh kuat tekan mortar dengan variasi persentase silika fume terhadap semen 5 % ; 7 % dan 10 % dengan perawatan selama 7 dan 28 hari.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang terkait, maka penelitian ini dilaksanakan dalam Upaya mencari :

1. Bagaimana perilaku hubungan tegangan regangan mortar dengan campuran *silica fume* sebagai pengganti semen?
2. Bagaimana hasil modulus elastisitas dari hubungan tegangan regangan mortar dibawah beban tekan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis perilaku hubungan tegangan regangan mortar dengan campuran *silica fume* sebagai pengganti semen.
2. Mengetahui nilai kuat tekan mortar dengan campuran *silica fume* dan air laut.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini yaitu diharapkan dapat memberikan referensi terkait dengan studi eksperimental mengenai hubungan tegangan dan regangan mortar dengan menggunakan *silica fume* sebagai pengganti semen dalam pembuatan.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Untuk mencapai maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini serta menguraikan pokok bahasan diatas ditetapkan batasan-batasan dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian bersifat eksperimental dan dilakukan di laboratorium yang sesuai dengan standar (ASTM dan SNI) sehingga akan didapatkan hasil pengujian-pengujian sesuai yang diharapkan.
2. Semen yang digunakan adalah salah satu semen campuran (*blended cement*), yaitu *Portland Composite Cement (PCC)*.
3. Silica fume yang digunakan merupakan silica yang berasal dari PT. Sika Indonesia
4. Pasir yang digunakan berasal dari Sungai Jeneberang, Sulawesi Selatan.
5. Penelitian menggunakan cetakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran  $5 \times 5 \times 5$  cm.
6. Silica fume sebagai pengganti 5%, 7%, dan 10% semen pada campuran mortar.
7. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada umur 7 dan 28 hari pada kondisi curing air.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan dan diakhiri oleh Kesimpulan dan Saran.

Berikut ini merupakan rincian secara umum mengenai isi dari kelima bab tersebut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab tersusun atas latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan yang berisi tentang penggambaran secara garis besar mengenai hal yang akan dibahas pada bab selanjutnya.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan tentang informasi, konsep, teori, penelitian terdahulu, atau kerangka pemahaman yang menjadi landasan dilakukannya penelitian.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

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

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

Bab ini merupakan penjabaran dari hasil pengujian karakteristik material, rancangan campuran mortar, akselerasi mortar, dan potensial korosi mortar serta membahas analisa dari data yang diperoleh saat pengujian.

### **BAB V PENUTUP**

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai hasil analisa yang diperoleh saat penelitian dan disertai dengan saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Menurut Penelitian yang dilakukan oleh M.Wihardi Tjaronge dan Rita Irmawaty (2014) tentang perawatan beton dan bahan campuran beton menggunakan air laut. Curing yang dilakukan menggunakan dua metode yaitu dengan wet curing dan wet and dry curing .Pengujian yang dilakukan antara lain : pengaruh kuat tekan beton, modulus elastisitas. Untuk perawatan beton selama umur 3 , 14, 28, dan 91 hari. Jumlah benda uji 24 buah. Dimana kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tersebut adalah yang pertama nilai kuat tekan yang dihasilkan pada beton air laut dengan curing basah air laut, menunjukkan nilai kuat tekan yang sama dengan beton air tawar dengan curing basah air tawar. Peningkatan kuat tekannya sebesar 0,9% dari kuat tekan beton air tawar umur 28 hari. Kedua, pada pengujian kuat tekan beton air laut dan air tawar dengan curing kering-basah air laut. Nilai kuat tekan pada beton air laut menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton air tawar. Peningkatan kuat tekannya sebesar 2,75% dari kuat tekanbeton air tawar dengan perawatan sama. Ketiga Pada beton dengan curing basah, menunjukkan nilaikuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton dengan curing kering-basah (daerah pasang surut) menggunakan air laut. Penurunan kuat tekan beton air laut mencapai 4,09% dan kuat tekan beton air tawar mencapai 6,73% dari beton biasa. Keempat, Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka sebaiknya dilakukan perawatan (curing) yang lebih lama, mengingat pengaruh air laut terhadap beton terjadi secara perlahan-lahan dengan jangka waktu yang panjang. Dan yang terakhir adalah perlu perbandingan antara beton dengan menggunakan semen yang berbeda untuk mengetahui karakteristik berbagai jenis semen terhadap serangan air laut. Hal ini dimaksudkan agar dapat diketahui jenis semen yang paling tahan terhadap air laut.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Juhar Fajrin,dkk (2016) tentang bahan pengganti semen dengan menggunakan silica fume dengan tujuan mengetahui mortar menjadi lebih kedap air dan kemampuan maksimal kuat tekan mortar dengan menggunakan metode analysis of variance (ANOVA).

Perbandingan prosentase proporsisi semen terhadap silica fume 0% , 3%, 5%, 7% dan 10% dengan jumlah benda uji 25 benda uji. Ukuran benda uji 50 x 50 x 50 mm dengan perawatan mortar direndam air laut selama 28 hari. Kesimpulan yang diperoleh adalah yang pertama terjadi penurunan daya serap air sebesar 18,335% ketika mortar diberi tambahan silica fume sebesar 3% dari berat semen. Selanjutnya terjadi penurunan secara konstan sebesar 22,716%, 33,234% dan 35,202% ketika ditambahkan silica fume sebesar 5, 7 dan 10%. Dan juga Untuk sifat mekanik,. Rata-rata kuat tekan mortar normal tanpa campuran silica fume adalah 39,97 Mpa. Sementara kuat tekan rata-rata mortar dengan campuran silica fume secara berturut-turut adalah 40,41 MPa, 42,33 MPa, 43,25 MPa dan 45,10 MPa untuk variabel 1 sampai 4. Peningkatan kuat tekan yang terjadi berturut-turut adalah sebesar 1,10%, 5,90%, 8,20%, dan 12,84 % untuk variabel 1 sampai 4.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Hany Dahish et.al (2023) Dimana hasil penelitian tersebut menggambarkan pengaruh penggunaan pozzolan alam (NP) dan silika fume (SF) pada mortar berbahan dasar semen terhadap kuat tekan. Hingga 40% berat semen dalam mortar semen dapat diganti dengan bubuk NP. NP dalam keadaan aslinya dapat digunakan untuk menggantikan hingga 40% volume pasir dalam mortar semen. Kadar penggantian semen menurut beratnya dengan SF adalah 5% dan 10% untuk meningkatkan sifat mekanik mortar semen berbahan dasar NP. Percobaan dilakukan untuk mengetahui kuat tekan mortar semen yang mengandung NP pada umur pemeraman 28 dan 180 hari. Rasio air/semen adalah 0,49 untuk semua spesimen.

Menurut Penelitian yang dilakukan oleh Piotr Smarzewskia(2019), Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui energi rekahan beton kinerja tinggi (HPC) yang mengandung silika fume (SF). Artikel ini menyajikan penyelidikan terhadap perubahan sifat mekanik yang meliputi kuat tekan, kuat tarik belah , modulus elastisitas, energi patah, dan panjang karakteristik enam HPC yang ditimbulkan. dengan penambahan SF. Penambahan kekuatan SF, modulus elastisitas, energi rekahan, dan panjang karakteristik enam HPC disebabkan oleh penambahan SF. Penambahan SF ke dalam HPC sebanyak 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% berat kadar semen. Rasio air/pengikat adalah 0,25. Penggunaan yang dimasukkan ke dalam HPC adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% berat kadar

semen. Rasio air/pengikat adalah 0,25. Penggunaan SF meningkatkan semua sifat mekanik beton yang diuji. Studi ini menunjukkan bahwa sifat mekanik HPC meningkat pesat pada hari ke 28 ketika semen yang digunakan dalam beton digantikan oleh SF. Kandungan silika fume Kandungan sebesar 10% menghasilkan peningkatan sebesar 26% pada hari ke 28 ketika semen yang digunakan dalam beton digantikan oleh SF. silika fume sebesar 10% menghasilkan peningkatan kekuatan belah tarik sebesar 26%, peningkatan kekuatan tekan sebesar 13%, dan peningkatan modulus elastisitas statis sebesar 5%. peningkatan kekuatan belah tarik, peningkatan kekuatan tekan sebesar 13%, dan peningkatan modulus elastisitas statis sebesar 5%.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Reni Suryanita et.al (2022) mengatakan bahwa beton busa mempunyai keunggulan praktis dan ekonomis dalam konstruksi, termasuk mengurangi berat struktur dengan membangun pondasi. Permintaan pasar terhadap beton busa seperti blok Cellular Lightweight Concrete (CLC) akhir-akhir ini semakin meningkat. Salah satu cara untuk mengurangi kepadatan CLC adalah dengan menambahkan pori-pori udara pada campuran pasta semen atau mortar. Namun penambahan pori-pori dapat menurunkan kekuatan bata ringan. Oleh karena itu, perlu adanya 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 silika 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 campuran mortar menggunakan persentase silika fume sebesar 0%, 0,5%, 1%, 5%, 10% dan 15% berat semen. Data keluaran 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 silika fume 10%. Kuat tekan CLC optimum ini disimulasikan menggunakan analisis elemen hingga LUSAS untuk mendapatkan pola perpindahan dan tegangan-regangan. Berdasarkan analisis numerik LUSAS, kuat tekan optimum blok CLC adalah 1,06 MPa. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan silika 10% pada campuran mortar CLC dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 81,25% dibandingkan mortar.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sabre Fattah Valukolaee. Et.al (2022) bertujuan untuk mengkaji sifat mekanik, dampak lingkungan dan siklus hidup HSC yang mengandung silika fume dan nanosilika dimana kinerja tekan dan struktur mikronya dievaluasi dan perbandingan antara efek bahan pozzolan dibandingkan dengan semen biasa terhadap indeks lingkungan. . Benda uji beton dibuat menggunakan tujuh desain campuran, dan parameter yang berbeda, yaitu kapasitas tekan, ketangguhan, regangan pada tegangan puncak, penyerapan energi relatif, dan hubungan tegangan-regangan dievaluasi. Setelah itu, beberapa hubungan empiris diusulkan untuk menangkap fitur mekanis konkrit. Di sini, silika fume dengan kandungan 0, 8, 10, dan 12% dan nanosilika dengan kandungan 0, 1, 2, dan 3% digunakan sebagai pengganti berat semen. Sehingga didapatkan kesimpulan bahwa penambahan silika fume dapat meningkatkan regangan pada tegangan puncak beton pozzolan dibandingkan dengan spesimen tanpa pozzolan, sehingga regangan pada nilai tegangan puncak spesimen HSC dengan silika fume 12 % dan yang mengandung 2 % nano- silika menggantikan berat semen masing-masing 25 dan 13 % lebih besar dibandingkan beton acuan. Namun penambahan nanosilika 3% sebagai pengganti semen tidak mempengaruhi regangan pada tegangan puncak HSC.

## **2.2 Mortar**

### **2.2.1 Pengertian Mortar**

Menurut SNI 03-6825-2002, mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu.

Adapun macam mortar adalah:

1. Mortar dengan bahan perekat tanah lumpur yaitu mud mortar
2. Mortar dengan bahan perekat kapur yaitu mortar kapur
3. Mortar semen yaitu mortar dengan bahan perekat semen.

Agregat halus (pasir) atau butir-butir partikel yang diikat oleh pasta semen dalam mortar harus dapat terlapisi dengan sempurna agar mempunyai kohesi (gaya tarik-menarik antar molekul yang sejenis) dan adhesi (gaya Tarik-menarik antar molekul yang berbeda). Susunan gradasi yang seragam dapat membentuk banyaknya rongga udara dalam mortar sehingga dibutuhkan semen yang lebih

banyak dibandingkan gradasi yang tidak seragam. Hal ini berpengaruh pada kepadatan mortar dan daya lekat yang berkurang. Gradasi pasir yang baik (well graded sand) berisi butir-butir pasir yang bervariasi ukurannya, karena dapat mengurangi rongga udara, dan kebutuhan semen dan air. Sedikit campuran semen dan air akan mengurangi susut, dan susut yang kecil cenderung untuk mengurangi retak pada mortar.

### 2.2.2 Spesifikasi Mortar

Spesifikasi mortar menurut proporsi bahan didasarkan pada volume pencampuran dari material penyusunnya harus memenuhi persyaratan proporsi mortar yang dapat dilihat pada **tabel 1**. berikut menurut SNI 6882-2014 :

Tabel 1. Persyaratan Proporsi

Mortar	Type	Campuran dalam volume (bahan bersifat semen)			Rasio Agregat (Pengukuran kondisi lembab gembur)
		Semen Potland	Semen Pasangan		
			M	S	N
	M	1			1
	M	...	1		
Semen	S	...			1
Pasangan	S	1/2		1	
	N	...			1
	O	...			1

Keterangan Semen Pasangan :

1. Semen Semen Pasangan tipe N adalah semen pasangan yang digunakan dalam pembuatan mortar tipe N menurut Tabel II.1 tanpa penambahan lagi semen atau kapur padam, dan dapat digunakan untuk pembuatan mortar tipe S atau tipe M bila semen portland ditambahkan dengan komposisi menurut Tabel 1.
2. Semen pasangan tipe S adalah adalah semen pasangan yang digunakan dalam pembuatan mortar tipe S tanpa penambahan lagi semen atau kapur padam, dan dapat digunakan untuk pembuatan mortar tipe S atau tipe M bila semen portland ditambahkan dengan komposisi menurut Tabel 1.
3. Semen pasangan tipe M adalah semen pasangan yang digunakan dalam pembuatan mortar tipe M tanpa penambahan lagi semen atau kapur padam.

Spesifikasi sifat mortar berdasarkan metode SNI 03-6882-2002 harus memenuhi ketentuan persyaratan bahan, pengujian mortar yang telah disiapkan dilaboratorium dimana bahan tersebut terdiri dari suatu campuran bahan pengikat bersifat semen, agregat dan air yang telah memenuhi persyaratan mortar.

1. Proporsi campuran yang disiapkan kecuali untuk jumlah pencampurnya, dilaboratorium dan memenuhi ketentuan spesifikasi ini, tidak boleh diubah, bahan-bahan yang sifat fisiknya berbeda tidak boleh dipakai tanpa melakukan pengujian ulang dan memenuhi persyaratan sifat – sifat mortar.
2. Tabel 1. Sifat – sifat mortar yang diisyaratkan adalah untuk mortar yang disiapkan dilaboratorium dengan jumlah penyampur yang memberikan kelecakan (*Flow*)  $(110\pm 5)$ . Jumlah air ini tidak cukup untuk menghasilkan mortar dengan kelecakan yang sesuai untuk pekerjaan pemasangan dilapangan. Mortar yang akan digunakan dilapangan harus di campur lagi dengan maksimum jumlah air yang sesuai dengan kemudahan pengerjaannya, untuk memenuhi persyaratan awal dari bahan/komponen sehingga cukup untuk konstruksi pasangan.
3. Mortar yang disiapkan dilaboratorium dengan Sifat – sifat  $(110\pm 5)$  % sebagaimana diisyaratkan pada spesifikasi ini dimaksudkan buat memperkirakan besarnya kelecakan dan sifat – sifat berdasarkan mortar yang disiapkan buat pekerjaan dilapangan sesudah dipakai agar penyerapan air berdasarkan komponen konstruksi pasangan terpenuhi.
4. Sebelum digunakan pada pekerjaan konstruksi pasangan, akan berbeda dengan persyaratan sifat-sifat seperti dalam tabel 1. Sifat – sifat mortar yang disiapkan dilapangan dengan jumlah air lebih banyak,

### 2.2.3 Tipe Mortar

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

#### a. Mortar Tipe M

Mortar tipe M merupakan campuran dengan kuat tekan yang tinggi yang direkomendasikan untuk pasangan bertulang maupun pasangan tidak

bertulang yang akan memikul beban tekan yang besar.

b. Mortar Tipe S

Mortar tipe ini direkomendasikan untuk struktur yang akan memikul beban tekan normal tetapi dengan kuat lekat lentur yang diperlukan untuk menahan beban lateral besar yang berasal dari tekanan tanah, angin dan beban gempa. Karena keawetannya yang tinggi, mortar tipe ini S juga direkomendasikan untuk struktur pada atau di bawah tanah, serta yang selalu berhubungan dengan tanah, seperti pondasi, dinding penahan tanah, perkerasan, saluran pembuangan dan mainhole.

c. Mortar Tipe N

Tipe N merupakan mortar yang umum digunakan untuk konstruksi pasangan di atas tanah. Mortar ini direkomendasikan untuk dinding penahan beban interior maupun eksterior. Mortar dengan kekuatan sedang ini memberikan kesesuaian yang paling baik antara kuat tekan dan kuat lentur, workabilitas, dan dari segi ekonomi yang direkomendasikan untuk aplikasi konstruksi pasangan umumnya.

d. Mortar Tipe O

Mortar tipe O merupakan mortar dengan kandungan kapur tinggi dan kuat tekan yang rendah. Mortar tipe ini direkomendasikan untuk dinding interior dan eksterior yang tidak menahan beban struktur, yang tidak menjadi beku dalam keadaan lembab atau jenuh. Mortar tipe ini sering digunakan untuk pekerjaan setempat, memiliki workabilitas yang baik dan biaya yang ekonomis.

e. Mortar Tipe K

Mortar tipe K memiliki kuat tekan dan kuat lekat lentur yang sangat rendah. Mortar tipe ini jarang digunakan untuk konstruksi baru, dan direkomendasikan dalam ASTM C270 hanya untuk konstruksi bangunan lama yang umumnya menggunakan mortar kapur.

Mortar jika ditinjau dari jenis bahan pengikatnya terbagi menjadi empat jenis, yaitu diantaranya sebagai berikut (Tjokrodinuljo, 1992):

- a. Mortar semen portland atau 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 beton atau 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.

- b. 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
- c. 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 adalah campuran antara mortar semen yang dicampur dengan 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

#### 2.2.4 Sifat-Sifat Mortar

Untuk keperluan perancangan dan pelaksanaan struktur beton, maka pengetahuan tentang sifat-sifat adukan mortar maupun sifat-sifat mortar setelah mengeras perlu diketahui. sifat-sifat dari mortar antara lain:

- a. Keawetan (*Durability*) merupakan kemampuan mortar bertahan seperti kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi dalam jangka waktu yang telah direncanakan. Dalam hal ini perlu pembatasan nilai faktor air semen (fas) maupun pembatasan dosis minimum yang digunakan sesuai dengan kondisi lingkungan.
- b. Kuat tekan adalah kemampuan dari mortar untuk memikul atau menahan beban maupun gaya-gaya mekanis sampai terjadikegagalan. Nilai kuat tekan mortar didapatkan melalui tata cara pengujian standart, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji sampai retak atau hancur
- c. Modulus elastisitas mortar adalah perbandingan antar kuat tekan mortar dengan regangan . Biasanya ditentukan pada 25 % - 30%
- d. Kelecekan (*workability*) adalah sifat-sifat adukan mortar yang ditentukan oleh kemudahan dalam pencampuran, pengangkutan, pemadatan, dan finishing. Dengan kata lain kelecekan adalah besarnya kemudahan kerja yang dibutuhkan untuk menghasilkan kompaksi penuh.

### 2.3 Material Penyusun Mortar

Adapun material-material yang digunakan dalam pembuatan mortar adalah sebagai berikut :

#### 2.3.1 Semen Campuran (*Blended Cement*)

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen, jika ditambah agregat halus pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*). Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan

mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting. Berdasarkan SNI 6882:2014 Semen campuran (*blended cement*) adalah menggunakan cara menggiling antara semen portland dan bahan yg memiliki sifat pozzolan, atau mencampur secara merata serbuk semen portland dan serbuk bahan yang memiliki sifat pozzolan dengan pencampuran bahan pengikat yang dihasilkan.

Adapun beberapa jenis semen campuran yaitu :

a. Semen Portland

Semen adalah bahan yang mempunyai sifat adhesive maupun kohesif, yaitu bahan pengikat. Ada dua macam semen, yaitu semen hidraulis dan semen non-hidraulis. Semen non-hidraulis adalah semen (perekat) yang dapat mengeras tetapi tidak stabil dalam air. Semen hidraulis adalah semen yang akan mengeras bisa bereaksi dengan air, tahan terhadap air (*water resistance*) dan stabil di dalam air setelah mengeras.

Salah satu semen hidraulis yang biasa dipakai dalam konstruksi beton adalah semen Portland. Menurut Standar Industri Indonesia (SII 0031-1981) semen Portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis bersama bahan-bahan yang biasa digunakan, yaitu gypsum. Semen yang beredar dipasaran dalam kemasan zak 40 kg dan 50 kg saat ini adalah semen tipe *PPC (Portland Pozolan Cement)* dan *PCC (Portland Composite Cement)*.

Menurut SNI 15-2049-2004, semen Portland adalah 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. Beberapa jenis semen berdasarkan penggunaannya ialah sebagai berikut :

1. Jenis I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalorhidrasi rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

b. Semen Putih

Digunakan untuk pekerjaan penyelesaian (*finishing*), sebagai *filler* atau pengisi. Semen jenis ini dibuat dari bahan utama kalsit (*calcite*) limestonemurni

c. *Super Mansory Cement*

Semen ini lebih tepat digunakan untuk konstruksi perumahan gedung, jalan dan irigasi yang struktur betonnya maksimal K225. Dapat pula digunakan sebagai bahan baku pembuatan genteng beton, *hollow brick*, *paving block*, tegel dan bahan bangunan lainnya.

Kandungan senyawa kimia semen yang ada pada semen akan membentuk karakter dan jenis tipe semen. Dilihat dari susunan senyawanya, Portland cement dibagi menjadi lima tipe yaitu :

a. *Ordinary Portland Cement*

Semen tipe I digunakan untuk bangunan-bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Contohnya, ketika pemilik rumah atau tukang batu yang sedang mengerjakan proyek atau merenovasi rumah, pada saat membeli semen di toko bangunan, mereka hanya menyebut semen, tanpa menyebut jenis semen apa yang seharusnya digunakan cocok dengan lingkungan pemukiman mereka berada, antara lain: bangunan, perumahan gedung-gedung bertingkat, landasan pacu dan jalan raya

*b. Moderate Sulfate Resistance*

Semen tipe II yang memiliki kadar C3A tidak lebih dari 8% digunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus-menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau untuk pondasi yang tertanam di dalam tanah yang mengandung air agresif (garam-garam sulfat) dan saluran air buangan atau bangunan yang berhubungan langsung dengan rawa, semen ini cocok digunakan untuk daerah yang memiliki cuaca dengan suhu yang cukup tinggi serta pada struktur drainase. Semen portland tipe II ini disarankan untuk dipakai pada bangunan seperti bendungan, dermaga dan landasan berat yang ditandai adanya kolom-kolom dan dimana proses hidrasi rendah juga merupakan pertimbangan utama.

*c. High Early Strength Portland Cement*

Semen tipe III, memiliki kadar C3A serta C3S yang tinggi dan butirannya digiling sangat halus, sehingga cepat mengalami proses hidrasi. Semen jenis ini dipergunakan pada daerah yang bertemperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin (winter season). Kegunaan pembuatan jalan beton, landasan lapangan udara, bangunan, tingkat tinggi, bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap sulfat.

*d. Low Heat Of Hydration*

Semen tipe IV mempunyai panas hidrasi yang rendah, kadar C3S nya dibatasi maksimum sekitar 35% dan kadar C3A nya maksimum 5%. Semen tipe ini digunakan untuk keperluan konstruksi yang memerlukan jumlah dan kenaikan panas harus diminimalkan. Oleh karena itu semen jenis ini akan memperoleh tingkat kuat beton dengan lebih lambat ketimbang portland tipe I. Tipe semen

seperti ini digunakan untuk struktur beton masif seperti dam gravitasi besar yang mana kenaikan temperatur akibat panas yang dihasilkan selama proses curing merupakan faktor kritis. Cocok digunakan untuk daerah yang bersuhu panas.

*e. Sulfat Resistance Cement*

Semen tipe V yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Cocok digunakan untuk pembuatan beton pada daerah yang tanah dan airnya mempunyai kandungan garam sulfat tinggi. Sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir. Dan untuk memenuhi kebutuhan di wilayah dengan kadar asam sulfat tinggi seperti air laut, serta kawasan tambang. Jenis bangunan yang membutuhkan jenis ini diantaranya bendungan, pelabuhan konstruksi dalam air, hingga pembangkit tenaga nuklir.

### **2.3.2 Agregat Halus**

Menurut SNI – 03 – 2847 – 2012 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat menempati 70 – 75 % volume total dari beton, maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton atau mortar dapat dikerjakan, kuat, tahan lama dan ekonomis. Atas dasar inilah gradasi dari ukuran-ukuran partikel dalam agregat, mempunyai peranan yang sangat penting, untuk menghasilkan susunan beton yang padat. Dimana gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butiran-butiran agregat mempunyai ukuran sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang besar, sehingga pori-pori menjadi sedikit, dengan kata lain kemampatan menjadi tinggi (Tjokrodimulyo,2007).

Agregat halus ini dapat diperoleh dari dalam tanah ataupun dasar sungai dan tepi laut. Oleh karena itu, pasir digolongkan menjadi 3 macam, yaitu: pasir galian;

pasir sungai; dan pasir laut. Sedangkan, ukuran agregat halus (pasir) dibagi menjadi 4 zona yang diketahui dari uji gradasi ditunjukkan pada **Tabel 2** berikut :

**Tabel 2.** Batas Gradasi Agregat Halus

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

Sumber: SNI 03 2834 2000

Keterangan:

- Daerah agregat halus I : Pasir Kasar  
 Daerah agregat halus II : Pasir Agak Kasar  
 Daerah agregat halus III : Pasir Agak Halus  
 Daerah agregat halus IV : Pasir Halus

Agregat halus harus memenuhi persyaratan dibawah ini:

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras dengan indeks kekerasan  $\leq 2,2$ .
2. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
3. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut:
  - 1) Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12%.
  - 2) Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
4. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,060 mm. apabila lumpur melampaui 5%, maka agregat harus dicuci.
5. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Herder. Untuk itu bila direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih

gelap dari warna larutan pembanding. Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warnaini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama, tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.

6. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.

### 2.3.3 Air

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

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan mortar. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran mortar. Air yang mengandung senyawa-senyawa, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas mortar, bahkan dapat mengubah sifat-sifat mortar yang dihasilkan. Fungsi air di dalam campuran mortar adalah sebagai berikut :

1. Sebagai pelicin bagi agregat halus dan agregat kasar.
2. Bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta semen.
3. Penting untuk mencairkan bahan / material semen ke seluruh permukaan agregat.
4. Perawatan terhadap adukan beton guna menjamin pengerasan yang optimal.
5. Membasahi agregat, untuk melindungi agregat dari penyerapan air vital yang diperlukan pada reaksi kimia.

Penggunaan banyaknya air dapat dinyatakan dalam suatu berat atau satuan volume. Dalam praktik yang normal, air biasa diukur dengan satuan volume yaitu liter. Kuantitas (jumlah) air yang akan dipergunakan untuk mortar dengan mutu tertentu harus dihitung setelah melalui kelembaban (kadar air) dari agregat halus dan agregat kasar. Kadar air dari agregat akan mengurangi jumlah air yang diperlukan untuk campuran mortar. Sebaliknya, kadang-kadang agregat dapat

menyerap air dari campuran mortar. Dalam hal ini, maka perlu ditemukan cara untuk mengatasi penyerapan tersebut yaitu dengan meningkatkan jumlah air yang perlu ditambahkan dalam campuran mortar. Persyaratan dari air yang digunakan sebagai campuran bahan bangunan adalah sebagai berikut (W.Wiratman,1971):

1. Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam-garam, bahan-bahan organik atau bahan lain yang dapat merusak daripada beton.
2. Apabila dipandang perlu maka contoh air dapat dibawa ke Laboratorium Penyelidikan Bahan untuk mendapatkan pengujian sebagaimana yang dipersyaratkan.
3. Jumlah air yang digunakan adukan beton dapat ditentukan dengan ukuran berat dan harus dilakukan setepat-tepatnya.

Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Hidrasi adalah proses di mana ion dikelilingi oleh molekul-molekul air yang tersusun dalam keadaan tertentu (penggabungan dengan air). Sumber -sumber air yang ada disekitar kita adalah sebagai berikut :

1. Air Yang Terdapat Di Udara  
Air yang terdapat di udara atau atmosfer adalah air yang terdapat di awan. Kemurniannya sangat tinggi. Air ini sama dengan air suling, sehingga sangat mungkin mendapatkan beton yang baik dengan air ini.
2. Air Tanah  
Air tanah yang terdapat dalam lapisan tanah atau bebatuan di bawah permukaan tanah yang terdiri dari unsur kation dan anion.
3. Air Hujan  
Air hujan menyerap gas-gas serta uap dari udara ketika jatuh ke bumi. Bahan-bahan padat serta garam yang larut dalam air hujan terbentuk akibat peristiwa kondensasi.
4. Air Permukaan  
Air permukaan dibagi menjadi air sungai, danau dan situ, air genangan. Air

sungai atau danau dapat digunakan sebagai campuran beton asal tidak tercemar oleh buangan industri

#### 5. Air Laut

Air laut mengandung 3,5% larutan garam (sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida). Garam-garam pada air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20% (Bilqis,2012). Air laut sebaiknya tidak digunakan untuk campuran beton pra-tegang atau beton bertulang karena akan mengakibatkan korosi pada tulangan.

Adapun jenis air yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan air laut dan air biasa. Dimana air laut merupakan kumpulan air asin yang sangat banyak dan luas di permukaan bumi yang memisahkan dan juga menghubungkan suatu benua dengan benua lainnya serta suatu pulau dengan pulau lainnya. Secara umum derajat keasaman air laut yaitu berkisar antara 8,2 sampai dengan 8,4 dimana mengandung air sebanyak 96,5%, sedangkan material terlarut dalam bentuk molekul dan ion sebanyak 3,5%. Garam-garam utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%) dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromide, asam borak, strontium, dan florida (Muaya dkk, 2015).

#### 2.3.1 Silica Fume

Sesuai dengan spesifikasi *silica fume* yang digunakan dalam Standard for Hydraulic Cement Concrete and Mortar (ASTM-C618-86), ialah material yang mengandung  $\text{SiO}_2$  lebih dari 85% serta material *silica fume* memiliki bentuk bulat yang sangat halus dan mempunyai diameter lebih kecil dari semen yakni  $0,1 \mu\text{m}$ . Silica fume memiliki peran penting dalam mempengaruhi sifat kimia serta mekanik betonnya. Dari sifat kimianya, material *silica fume* dapat menempati celah antar semen serta dapat menyebabkan pori menjadi mengecil dan volume pori total mengecil. Sementara itu, dari sifat mekaniknya, material *silica fume* mempunyai reaksi yang disebut pozzolan yang bisa bereaksi terhadap semen yang dilepaskan oleh batu kapur. Karena memiliki kadar  $\text{SiO}_2$  yang tinggi dapat membuat  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

serta  $\text{SiO}_2$  bereaksi kemudian menghasilkan C-S-H. Dimana kalsium silikat hidrat ini memengaruhi kekerasan beton.

Penggunaan *silica fume* dalam campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang tinggi. Beton dengan kekuatan tinggi, digunakan, misalnya, untuk kolom struktur atau dinding geser, precast atau beton prategang dan beberapa keperluan lain.

Menurut Neville, penggunaan *silica 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 (Kusumo, 2013).

Selain itu juga *silica fume* akan bereaksi dengan C3S dan C2S dalam semen dan menghasilkan gel CSH<sub>2</sub> yang akan membentuk suatu ikatan gel yang kuat dan padat di dalam beton. Selanjutnya, reduksi kalsium hidroksida (CaOH) oleh  $\text{SiO}_2$  akan mengurangi unsur pembentuk etteringite sehingga mengurangi sensitivitas beton terhadap serangan sulfat. Karenanya beton tidak mudah ditembus air serta tidak mudah mengalami korosi.

*Silika fume* adalah material pozzollan yang halus dimana komposisi silika lebih banyak yang dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau alloy besi silikon (dikenal sebagai gabungan antara microsilika dengan silika fume) (ASTM,1995)

Komposisi kimia dan fisika dari *silica fume* dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4** berikut :

**Tabel 3.** Komposisi Kimia Silica Fume

Nama Senyawa	Rumus Kimia	Presentase%
Silikon Dioksida	$\text{SiO}_2$	92-94
Karbon	C	0,61
Besi Oksida	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,10-0,50
kalsium Oksida	CaO	0,10-0,15

Aluminium Oksida	$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,20-0,40
Mangan (II) Oksida	MnO	0,008
Magnesium Oksida	MgO	0,10-0,20
Kalsium Oksida	$\text{K}_2\text{O}$	0,10
Natrium Dioksida	$\text{Na}_2\text{O}$	0,10

(Sumber: Yogendran., et al., ACI Material Journal, 1987:125)

**Tabel 4.** Komposisi Fisika Silica Fume

Fisika	Presentase %
Berat Jenis	2,02
Rata-rata Ukuran Partikel (Makron)	0,1
Lolos Ayakan no.325 dalam %	99,00
Keasaman PH (10% air dalam Slurry)	7,3

(Sumber: Yogendran., et al., ACI Material Journal, 1987:125)

Kandungan silica yang tinggi ini bisa menjadikan pengganti semen sehingga menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi pula. Beton dengan kekuatan tinggi biasanya untuk struktur kolom atau dinding geser, pre-cast atau pra-tegang dan beberapa keperluan lain. Kriteria beton mutu tinggi ini sekitar 50-70 Mpa untuk umur 28 hari.

Karena secara harga silica fume masih mahal, maka pada umumnya penggunaan silica fume hanya sekitar 3%-10% dari berat semen dalam adukan beton. Penggunaan silica fume berkisar 0-30 % untuk memperbaiki karakteristik kekuatan dan keawetan beton dengan faktor air semen sebesar 0.34 dan 0.28 dengan atau tanpa bahan superplastizer dan nilai slump 50 mm (Yongedran, et al, 1987).

Sifat-sifat fisik dari silica fume adalah sebagai berikut :

- a. Warna: bervariasi mulai dari abu-abu sampai abu-abu gelap.
- b. Spesifik gravity: 2,0-2,5.
- c. Bulk density: 250-300 kg/m<sup>3</sup>.
- d. Ukuran: 0,1-1,0 mikron (1/100 ukuran partikel semen).

Kendala-kendala dalam penggunaan silica fume sebagai campuran beton adalah sebagai berikut:

- a. Silica fume merupakan material yang sangat lembut sehingga mudah terbawa oleh angin. Hal ini menyebabkan kesulitan dalam pelaksanaan loading, pengangkutan, penyimpanan dan pencampuran.
- b. Terhirupnya partikel halus silica fume dapat mengganggu saluran pernafasan

## **2.4 Sifat - Sifat Mekanis Mortar**

### **2.4.1 Kuat Tekan Mortar**

Spesifikasi SNI 1974:2014 pengujian kuat tekan yang mengacu pada standar, Kuat tekan mortar dilakukan dengan benda uji mortar dengan dimensi 5x5x5 cm.

Menurut SNI 1974-2011 Kuat tekan beton ( $f'c$ ) adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata yang ditentukan. Adapun persamaannya sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

$f'c$  = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm<sup>2</sup>).

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas Penampang melintang benda uji (mm<sup>2</sup>)

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain.

### **2.4.2 Perilaku Tegangan Regangan**

Tegangan merupakan perbandingan antara gaya yang bekerja pada beton atau mortar terhadap luas penampangnya. Regangan adalah perbandingan

antara pertambahan panjang ( $\Delta L$ ) terhadap panjang mula-mula ( $L$ ) regangan dinotasikan dengan  $\varepsilon$ . Regangan yang terjadi pada beton dinyatakan dalam persamaan berikut :

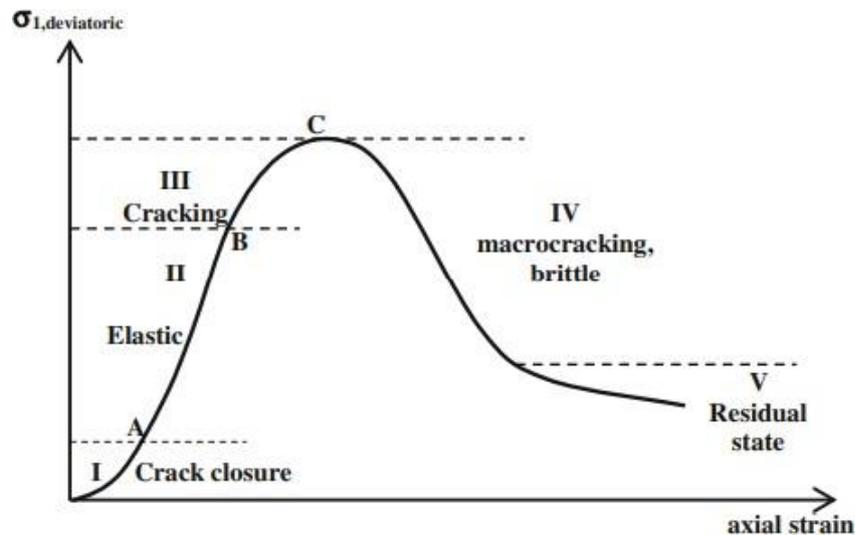
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Keterangan :

$\Delta L$  = Perubahan Panjang

$L_0$  = Panjang awal

Jika hubungan tegangan dan regangan dibuat dalam bentuk grafik dimana setiap nilai tegangan dan regangan yang terjadi dipetakan kedalamnya dalam bentuk titik-titik, maka titik-titik tersebut terletak dalam suatu garis seperti pada **Gambar 1** berikut :



**Gambar 1.** Grafik Hubungan Tegangan Regangan

**Gambar 1** menunjukkan ilustrasi grafik hubungan tegangan regangan yang terbagi menjadi beberapa kondisi kurva, daerah I kondisi kurva sedikit cekung ke atas menandakan Celah terbuka, retakan, pori-pori, dan cacat lainnya mulai menutup; ini adalah bukti pertama nonlinier di kurva. Daerah II Kurva dalam kondisi elastis, Menunjukkan karakteristik bagian yang hampir linier sebagai indikasi perilaku elastis linier. Daerah III kondisi dimana kurva sedikit cekung ke bawah menunjukkan daerah kurva berada di sekitar tingkat tegangan di atas 50% dari maksimum dan menutupi kurva hingga keadaan kegagalan puncak atau titik luluh. Titik C merupakan Titik tegangan maksimum ini

ditandai sebagai titik C pada Gambar, Daerah IV menunjukkan keadaan puncak kegagalan berada pada titik luluh dimana kemiringan kurva menurun sampai nol. Daerah V menunjukkan kondisi kurva menurun pasca-kegagalan, material kehilangan kemampuannya untuk menahan atau mempertahankan beban dengan meningkatnya deformasi atau regangan (Levent Tutluoglu, Ibrahim Ferid, dkk 2014).

### 2.4.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas mortar merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan Panjang. Nilainya bervariasi tergantung dari kekuatan mortar, umur mortar, jenis pembebanan, dan karakteristik serta perbandingan semen dan agregat.

Nilai modulus elastisitas mortar dapat dihasilkan pada pengujian di laboratorium menggunakan alat kompressometer yang dipasang pada benda uji beton silinder. Hasil pengujian dapat dihitung dengan menggunakan rumus menurut (ASTM C 469 – 02):

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005}$$

Keterangan :

$E$  = Modulus Elastisitas (N/mm<sup>2</sup>)

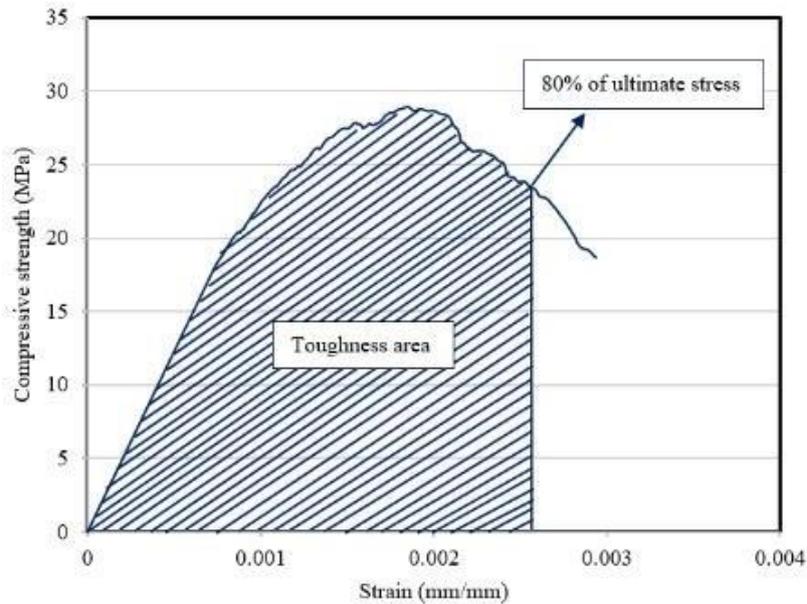
$S_2$  = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (N/mm<sup>2</sup>)

$S_1$  = Tegangan pada saat regangan 0,000050 (N/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon_2$  = Regangan pada saat  $S_2$

### 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 2** 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).



**Gambar 2.** Area Toughness dibawah kurva Tegangan Regangan

Nilai daktilitas dihitung sebagai rasio regangan ultimit pada 80% tegangan ultimit terhadap regangan luluh pada 0,65 tegangan ultimit seperti yang direkomendasikan oleh Youssf dkk (2017), nilai indeks ketangguhan dihitung sesuai dengan rasio antara daerah di bawah kurva tegangan-regangan yang diberikan adalah 80% untuk tegangan ultimit di daerah pasca-puncak yang diberikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

## 2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan

### 2.5.1 Faktor Air Semen

Faktor air semen adalah perbandingan berat air dan berat semen yg digunakan dalam adukan beton. Faktor air semen yang tinggi dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang rendah dan semakin rendah faktor air semen kuat tekan beton semakin tinggi. Namun demikian, nilai faktor air semen yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton maupun mortar semakin tinggi.

Nilai faktor air semen yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Oleh sebab itu ada suatu nilai faktor air semen

optimum yang menghasilkan kuat desak maksimum. Umumnya nilai faktor air semen minimum untuk beton maupun mortar normal sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 dan dapat dihitung berdasarkan nilai perbandingan antara berat air dan berat semen portland pada campuran adukan.

Semen portland akan terus bereaksi dengan air saat pengikatan terjadi. Setelah 4 jam pada temperatur kamar, 30% – 40%, semen biasanya mengalami proses hidrasi (Mulyono,2004).Pembentukan lapisan penutup dengan bertambahnya kepadatan dan ketebalan yang melapisi partikelnya, terjadinya perubahan kepadatan beton dari umur 7 – 90 hari beton semakin dengan agregat dan air.

### **2.5.2 Umur Mortar**

Kekuatan beton maupun mortar akan terus bertambah dengan naiknya umur mortar tersebut. Kekuatan mortar akan naik secara cepat (linier) sampai umur 28 hari, lalu setelah itu kenaikannya akan menjadi relatif lebih kecil (Mulyono,2004), Kecepatan bertambahnya kekuatan mortar tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain : semen portland, faktor air semen, suhu perawatan dan faktor lain yang mempengaruhi kuat tekan.

Semakin tinggi faktor air semen semakin lambat kenaikan beton maupun mortar, dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan beton maupun mortar. Untuk struktur bangunan yang ingin kekuatan awal tinggi , maka perlu adanya campuran yang dikombinasikan dengan semen khusus atau ditambah bahan kimia.

### **2.5.3 Perawatan Mortar**

Perawatan ini dilakukan setelah mortar mencapai final setting, artinya mortar telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Pelaksanaan curing/perawatan beton dilakukan segera setelah mortar mengalami atau memasuki fase hardening (untuk permukaan mortar yang terbuka) atau setelah pembukaan cetakan/acuan/bekisting, selama durasi

tertentu yang dimaksudkan untuk memastikan terjaganya kondisi yang diperlukan untuk proses reaksi senyawa kimia yang terkandung dalam campuran mortar. Cara dan bahan serta alat yang digunakan untuk perawatan akan menentukan sifat dari beton keras yang dibuat, terutama dari sisi kekuatannya. Waktu-waktu yang dibutuhkan harus terjadwal sesuai dengan perawatan mortar.