

**TUGAS AKHIR**

**KUAT TEKAN BETON BUSA YANG MENGGUNAKAN  
SERAT *MACRO SYNTHETIC***

***COMPRESSIVE STRENGTH OF FOAM CONCRETE USING  
MACRO SYNTHETIC FIBERS***

**SOPHIARA UMAR  
D111 15 512**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2021**

# LEMBAR PENGESAHAN

## LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

### KUAT TEKAN BETON BUSA YANG MENGGUNAKAN SERAT *MACRO SYNTHETIC*

Disusun dan diajukan oleh:

**SOPHIARA UMAR**

**D111 15 512**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 09 Juli 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

  
**Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**  
NIP. 196207291987031001

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

Ketua Program Studi,

  
**Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**  
Nip. 196805292002121002



## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sophiara Umar  
NIM : D111 15 512  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

### **KUAT TEKAN BETON BUSA YANG MENGGUNAKAN SERAT MACRO SYNTHETIC**

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

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi/Tesis/Disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 4 Juli 2021

Yang menyatakan,



Sophiara Umar  
NIM: D111 15 512

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**KUAT TEKAN BETON BUSA YANG MENGGUNAKAN SERAT *MACRO SYNTHETIC***” 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 Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada kami.
5. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Ir. H. Umar Wahyu Tresna Sujana, MP.**, ibunda **dr. Hj. Sriwati Palaguna, Sp.A., M.Kes.**, atas doa, kasih sayangnya, dan segala dukungan selama

ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.

2. Kakak-kakak tercinta **dr. Pratia Paramita Umar, Sp.** dan **dr. Angga Dewi Umar** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaiannya tugas akhir ini.
3. **Hamdar, Dio, Febrika, Fauzan, Arya, Garuda, Kak Miswar, Kak Wandu, dan Kak Fadly** selaku rekan-rekan di **Laboratorium Riset Eco Material**, yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Saudara-saudari **PATRON 2016** yang senantiasa memberikan dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Adik-adik **Irfan Jaya, Alief, Dede, Jijim, Masniah, Fikri, Rijal dan Fatur** yang senantiasa
6. Sahabat tercinta **Andi Dian Adelia** yang selalu memberikan bantuan dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.

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

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

Gowa, 13 April 2021

Penulis

## ABSTRAK

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang terbuat dari beberapa material dengan bahan utamanya adalah campuran antara agregat, bahan perekat, dan air pada proporsi tertentu. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan khususnya dibidang konstruksi, maka material penyusun beton juga mengalami perkembangan. Salah satunya ialah munculnya inovasi beton busa. Beton busa adalah campuran mortar yang ditambahkan dengan cairan busa (*foam agent*). Beton busa memiliki berat volume yang lebih ringan dibanding dengan beton normal sehingga beton busa diklasifikasikan sebagai beton ringan. Akan tetapi beton busa memiliki kuat tekan yang relatif rendah. Untuk itu diperlukan material penyusun beton busa yang bisa meningkatkan kuat tekannya seperti penambahan serat *Macro Synthetic*.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis perbandingan kuat tekan beton busa yang tidak menggunakan serat dan menggunakan serat. Serta menganalisis hubungan tegangan-regangan akibat beban tekan beton busa yang tidak menggunakan serat dan menggunakan serat.

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Penelitian ini menggunakan semen PCC, pasir, air, foam agent, dan serat *Macro Synthetic*. Terdapat dua jenis sampel yang digunakan yaitu sampel yang tidak menggunakan serat dan sampel yang menggunakan serat *Macro Synthetic*. Cetakan yang digunakan adalah cetakan silinder diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm. Adapun proses perawatan dilakukan dengan curing udara. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari, dan 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa benda uji yang menggunakan serat *Macro Synthetic* mengalami peningkatan kuat tekan dibandingkan dengan benda uji yang tidak menggunakan serat yaitu 2,64 MPa untuk benda uji tidak menggunakan serat dan 3,64 MPa untuk benda uji yang menggunakan serat pada umur 28 hari. Hal ini dilihat dari pengaruh penambahan serat meningkatkan daya ikat antar partikel. Seluruh benda uji juga memperlihatkan hubungan tegangan-regangan material yang getas dan membentuk elastisitas yang dipengaruhi oleh kuat tekan.

## **ABSTRACT**

*Concrete is a construction material made of several materials with the main ingredient being a mixture of aggregates, adhesives, and water in certain proportions. With the development of science, especially in the field of construction, the materials that make up concrete also experience development. One of them is the emergence of foam concrete innovation. Foam concrete is a mixture of mortar added with foam liquid (foam agent). Foam concrete has a lighter volume weight than normal concrete so that foam concrete is classified as lightweight concrete. However, foam concrete has a relatively low compressive strength. For this reason, foam concrete is needed that can increase its compressive strength, such as the addition of Macro Synthetic fibers.*

*The purpose of this study was to analyze the comparison of the compressive strength of foam concrete that does not use fiber and uses fiber. As well as analyzing the stress-strain relationship due to the compressive load of foam concrete that does not use fiber and uses fiber. This research uses PCC cement, sand, water, foam agent, and Macro Synthetic fiber.*

*The mold used is a cylindrical mold with a diameter of 10 cm and a height of 20 cm. The treatment process is carried out by air curing. The compressive strength test was carried out at the age of 7 days and 28 days. The results showed that the specimens using Macro Synthetic fiber experienced an increase in compressive strength compared to specimens that did not use fiber, namely 2.64 MPa for specimens not using fiber and 3.64 MPa for specimens using fiber at the age of 28 days.*

*This can be seen from the effect of adding fiber to increase the bonding power between particles. All test specimens also show a stress-strain relationship of brittle material and form elasticity which is affected by compressive strength.*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	I
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....	II
KATA PENGANTAR .....	III
ABSTRAK.....	V
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR GAMBAR.....	X
DAFTAR TABEL.....	XI
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah Penelitian.....	2
C. Tujuan Penelitian .....	3
D. Manfaat Penelitian .....	3
E. Batasan Masalah .....	4
F. Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	6
A. Penelitian Terdahulu .....	6
B. Teori Beton .....	8
C. Teori Beton Ringan .....	10
D. Teori Beton Busa Berserat .....	13
E. Material Penyusun Beton .....	14
E.1 Semen Portland .....	14
E.2 Agregat Halus .....	21
E.3 Air .....	22
E.4 Busa .....	23
E.5 Serat Macro <i>Synthetic</i> .....	23
F. Sifat Mekanik Beton .....	27
F.1. Slump Flow .....	27
F.2. Berat Volume Beton.....	28
F.3. Kekuatan Tekan.....	29

F.4. Ketepatan .....	30
F.5. Kurva Tegangan-Regangan.....	31
F.6. Modulus Elastisitas .....	32
F.7. Pola Retak dan Kehancuran .....	33
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	34
A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	34
B. Jenis dan Sumber Penelitian.....	34
C. Bagan Alir Penelitian.....	34
D. Metode/Standar Pemeriksaan Karakteristik Material .....	36
D.1 Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus (Pasir).....	36
D.2 Karakteristik Semen Portland Komposit .....	36
D.3. Serat Macro Synthetic .....	38
E. Analisa Rancangan Campuran ( <i>Mix Design</i> ) .....	39
E.1. <i>Mix Design</i> Beton Busa.....	39
F. Alat dan Bahan Penelitian .....	40
G. Pembuatan Benda Uji .....	41
H. Perawatan Benda Uji .....	44
I. Pemeriksaan Berat Volume Beton .....	45
J. Pengujian Kuat Tekan .....	46
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	48
A. Karakteristik Material.....	48
A.1. Karakteristik Agregat Halus.....	48
B. Pengujian <i>Slump Flow</i> .....	49
C. Berat Volume .....	50
C.1. Berat Volume Mix Design Beton Busa I .....	50
C.2 Berat Volume Mix Design Beton Busa II .....	50
D. Pengujian Kuat Tekan Beton Busa.....	52
D.1. Kuat Tekan Beton Busa <i>Mix Design</i> 0% serat.....	52
E. Hubungan Tegangan Regangan Beton Busa .....	55
E.1 Hubungan Tegangan Regangan <i>Mix Design</i> 0% serat.....	55
E.2 Hubungan Tegangan Regangan <i>Mix Design</i> 0,2% serat.....	57

F. Rekapitulasi Hubungan Tegangan Regangan Beton Busa .....	60
G. Modulus Elastisitas .....	61
H.1 Pola Retak Mix Design 0% serat.....	62
H.2 Pola Retak Mix Design 0,2% serat.....	63
I. Distribusi Sebaran Campuran Beton Busa.....	64
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	65
A. Kesimpulan .....	65
B. Saran .....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Kurva tegangan-regangan tipikal beton (Nawy, E. G. 1998). .....	31
Gambar 2.	Kurva tegangan-regangan untuk berbagai kekuatan beton (Nawy, E. G. 1998). .....	31
Gambar 3.	Pola kehancuran berdasarkan SNI 1974-2011.....	33
Gambar 4.	Bagan Alir Penelitian.....	35
Gambar 5.	Material Beton Busa.....	41
Gambar 6.	Prosedur pembuatan benda uji .....	44
Gambar 7.	Proses curing udara benda uji .....	45
Gambar 8.	Metode pengujian kuat tekan .....	47
Gambar 9.	Slump Flow Test .....	49
Gambar 10.	Diagram perbandingan antara umur curing dan berat volume beton busa.....	51
Gambar 11.	Diagram perbandingan antara umur curing dan kuat tekan .....	54
Gambar 12.	Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan Mix Design 0% serat umur 7 hari.....	55
Gambar 13.	Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan Mix Design 0% serat umur 28 hari.....	57
Gambar 14.	Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan Mix Design 0,2% serat umur 7 hari.....	58
Gambar 15.	Hubungan tegangan regangan pengujian kuat tekan Mix Design 0,2% serat umur 28 hari.....	59
Gambar 16.	Pola Retak Mix Design 0% serat.....	62
Gambar 17.	Pola Retak Mix Design 0,2% serat.....	63
Gambar 18.	Distribusi sebaran campuran beton busa .....	64

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Syarat kimia utama .....	16
Tabel 2.	Syarat kimia tambahan .....	18
Tabel 3.	Syarat Fisika Utama.....	19
Tabel 4.	Syarat fisika tambahan .....	20
Tabel 5.	Mix Design Proportion.....	24
Tabel 6.	Characteristics of the fibers.....	24
Tabel 7.	Mechanical properties of fiber-reinforced SCLC mixes.....	25
Tabel 8.	Rentang koefisien variasi yang dapat diterima .....	30
Tabel 9.	Metode pemeriksaan karakteristik agregat halus .....	36
Tabel 10.	Karateristik Kimia PCC .....	37
Tabel 11.	Karateristik Fisik PCC .....	37
Tabel 12.	Karakteristik Serat Macro Synthetic .....	38
Tabel 13.	Mix Design Beton Busa.....	39
Tabel 14.	Jumlah benda uji.....	42
Tabel 15.	Hasil Pemeriksaan Karateristik Agregat Halus .....	48
Tabel 16.	Berat Volume Benda Uji Mix Design 0% serat .....	50
Tabel 17.	Berat Volume Benda Uji Mix Design 0,2% Serat.....	50
Tabel 18.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Mix Design 0% serat .....	52
Tabel 19.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Mix Design 0,2% serat.....	53
Tabel 20.	Rekapitulasi tegangan regangan beton busa .....	60
Tabel 21.	Modulus Elastisitas Beton Busa .....	61

## BAB 1. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang terbuat dari beberapa material dengan bahan utamanya adalah campuran antara agregat, bahan perekat, dan air pada proporsi tertentu. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan khususnya dibidang konstruksi, maka material penyusun beton juga mengalami perkembangan. Salah satunya ialah munculnya inovasi beton busa. Beton busa adalah campuran mortar yang ditambahkan dengan cairan busa (*foam agent*). Gelembung-gelembung busa menciptakan ruang berongga dalam struktur beton busa sehingga mengurangi kebutuhan pasir dan semen. Beton busa memiliki berat volume yang lebih ringan dibanding dengan beton normal sehingga beton busa diklasifikasikan sebagai beton ringan. Akan tetapi beton busa memiliki kuat tekan yang relatif rendah. Untuk itu diperlukan material penyusun beton busa yang bisa meningkatkan kuat tekannya, serta diharapkan memiliki keunggulan lain, seperti lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

Kuat tekan merupakan salah satu sifat yang paling penting sebagai parameter mekanis dasar yang dibutuhkan dalam desain suatu struktur. Kuat tekan adalah kemampuan suatu struktur dalam menerima gaya tekan persatuan luas penampang. Untuk meningkatkan kuat tekan beton busa, maka digunakan bahan tambah serat *macro-synthetic*.

Serat *Macro Synthetic* yang berbasis *polyolefin* yang menjadi kemajuan ilmu dalam dunia polimer. Biaya produksi yang lebih rendah dibandingkan dengan plastik dan bahan yang mereka gantikan. *polyolefin* serat mencakup spektrum kegunaan dalam masyarakat saat ini. Mengenai penggunaannya dalam beton, pengembangan serat *Macro Synthetic* berbasis poliolefin dengan sifat mekanik yang ditingkatkan telah memperluas penggunaan serat plastik tersebut melebihi penggunaan konvensional dalam pengendalian retak susut. Serat *Macro Synthetic* bersifat hidrofobik karena tidak menyerap air, permukaannya tidak dapat menjadi basah, ketahanan terhadap bahan kimia dan juga dapat meningkatkan kinerja sifat mekanik beton. Kekuatan ikatan antara macro fiber, semen dan gesekan antar muka yang terkait dengannya adalah sumber utama yang menghambat pergerakan serat.

Dari uraian diatas, penulis mencoba untuk mengangkat sebuah tugas akhir berjudul :

**“KUAT TEKAN BETON BUSA YANG MENGGUNAKAN SERAT  
*MACRO SYNTHETIC*”**

**B. Rumusan Masalah Penelitian**

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, makadapat diambil rumusan masalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan serat *Macro Synthetic* terhadap kuat tekan beton busa?

2. Bagaimana pengaruh penambahan serat *Macro Synthetic* terhadap hubungan tegangan-regangan beton busa?
3. Bagaimana pengaruh penambahan serat *Macro Synthetic* terhadap pola retak beton busa?

### **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh penambahan serat *Macro Synthetic* terhadap kuat tekan beton busa.
2. Menganalisis pengaruh penambahan serat *Macro Synthetic* terhadap hubungan tegangan-regangan beton busa.
3. Menganalisis pengaruh penambahan serat *Macro Synthetic* terhadap pola retak beton busa.

### **D. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini secara umum diharapkan dapat memberikan informasi masukan sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai rancangan campuran beton busa dengan menggunakan serat *Macro Synthetic*.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pengetahuan pembaca dalam bidang Teknik Sipil serta pengaplikasian dilapangan agar dapat memberikan solusi yang lebih efektif bagi pelaksanaan konstruksi.

### **E. Batasan Masalah**

Demi tercapainya penelitian diperlukan suatu batasan dalam penulisan agar pembahasan tidak meluas ruang lingkupnya sehingga tujuan dari penulisan dapat tercapai dan dipahami.

Adapun ruang lingkup penulisan yang dijadikan batasan dalam penulisan adalah :

1. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium.
2. Semen yang digunakan adalah semen portland komposit (PCC).
3. Pasir yang digunakan merupakan pasir sungai.
4. Foam Agent yang digunakan adalah Sikaporo® 40.
5. Proses *curing* dilakukan dengan cara *curing* udara.
6. Serat yang digunakan adalah serat *Macro Synthetic*.
7. Menggunakan cetakan benda uji berbentuk silinder 10 cm x20 cm.
8. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 dan 28 hari.

### **F. Sistematika Penulisan**

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

Berikut merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut :

**BAB 1. PENDAHULUAN**

Bab ini mengandung uraian tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang penelitian, rumusan masalah, maksud dan tujuan diadakan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

**BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi uraian mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian

**BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas mengenai uraian tentang metode, bahan, peralatan, cara penelitian serta uraian pelaksanaan penelitian.

**BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh

**BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini memuat uraian tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil-hasil analisis terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan yang disertai dengan saran-saran yang diusulkan.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terdahulu

Nambiar, dkk (2009) melakukan penelitian yang berfokus pada perilaku susut pada beton berbuisa dimana beton busa dengan volume foam 50%, susut diamati menjadi sekitar 36% lebih rendah dari campuran dasar. Susut pada beton berbuisa adalah fungsi dari volume busa dengan demikian secara tidak langsung berkaitan dengan jumlah penyusutan dan sifat beton berbuisa. Pada kadar air yang rendah susut pada beton berbuisa sangat meningkat dan penyusutan menurun seiring dengan peningkatan volume busa serta dalam rentang kadar air yang lebih tinggi, penyusutan yang terjadi relatif lebih kecil. Meskipun hilangnya air dari pori-pori udara buatan pada beton berbuisa yang relatif lebih besar tidak akan menyebabkan penyusutan, pori-pori udara buatan ini berpengaruh pada stabilitas volume beton berbuisa secara tidak langsung, efek ini lebih besar pada volume busa yang lebih tinggi.

Gelim (2011), melakukan penelitian tentang berat jenis dan perilaku campuran beton busa dimana untuk campuran beton busa, ada perbedaan yang signifikan dalam Berat Jenis ( $1000-1500 \text{ kg/m}^3$ ) dan perilaku penyerapan air sebagai peningkatan massa per-satuan volume. Beton busa dengan kepadatan rendah menyerap lebih banyak air dibandingkan dengan kepadatan yang lebih tinggi. Hal ini juga jelas bahwa campuran pasta semen yang tidak mengandung abu terbang ( $w/c=0,6$ ) menyerap lebih

banyak air dari pada campuran beton busa Hal ini juga dapat terlihat bahwa ada kecenderungan peningkatan penyerapan dengan penurunan kepadatan untuk semua campuran tetapi penyerapan kenaikan jauh lebih signifikan dalam pasta (tidak ada busa) campuran dari dalam campuran beton busa.

Saeid Gorbani, dkk (2018) menjelaskan bahwa bahwa penggunaan air bermagnetisasi untuk mencampur beton dapat meningkatkan kemampuan kerja beton segar dan *hardened strength* nya. Sementara itu, penggunaan beton busa dalam industri konstruksi semakin populer karena sifat-sifatnya yang sangat baik, seperti bobotnya yang rendah dan sifat isolasi termal yang sangat baik. Tetapi stabilitas busa dan kuat tekan beton yang relatif rendah dan kuat tarik belah dari beton masih menjadi tantangan utama bagi para insinyur untuk menggunakan bahan ini. Penelitian ini bermaksud untuk mengevaluasi pengaruh air magnet pada stabilitas busa, kekuatan tekan, kuat tarik belah, penyerapan air dan struktur mikro beton busa. Sebanyak 9 campuran telah disiapkan sebelumnya dengan air yang melewati medan magnet permanen selama 1, 5 dan 10 kali pada kecepatan aliran masing-masing 0,75 m/s; 1,75 m/s dan 2,75 m/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilitas busa, kuat tekan dan kuat tarik belah dari beton busa meningkat secara signifikan dengan menggunakan air bermagnet, sedangkan penyerapan air beton busa yang berkurang sedikit.

Malau (2014), menjelaskan dalam penelitiannya bahwa ada beberapa metode untuk membuat beton yang dapat digunakan untuk

mengurangi berat jenis (densitas) beton menjadi lebih ringan. Salah satu cara untuk membuat beton menjadi lebih ringan adalah dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen sehingga terjadi banyak pori-pori didalam beton. Bahan yang digunakan untuk membuat gelembung- gelembung udara/gas adalah foaming agent. Bahan tersebut digunakan untuk dapat menghasilkan beton yang lebih ringan.

## **B. Teori Beton**

Beton (*concrete*) merupakan campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) (SNI 2847:2019)

Beton segar adalah campuran beton setelah selesai diaduk hingga beberapa saat karakteristik belum berubah. Beton keras adalah adukan beton yang terdiri dari campuran semen Portland atau sejenisnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang telah mengeras (SNI 2493:2011).

Agregat halus yang digunakan pada pencampuran beton biasanya adalah pasir alam atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Dari bahan pembentuk beton tersebut, semen berfungsi mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat.

Beton ringan adalah beton yang mengandung agregat berat volume setimbang (*equilibrium density*), antara 1140 dan 1840 kg/m<sup>3</sup> (SNI 2847:2019).

Adapun kelebihan dan kekurangan beton antara lain sebagai berikut:

Kelebihan Beton :

1. Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
2. Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan.  
Cetakan dapat pula dipakai berulang kali sehingga lebih ekonomis.
3. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan kedalam retakan beton dalam proses perbaikan.
4. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.
5. Beton tahan aus dan tahan bakar, sehingga perawatannya lebih murah.

Kekurangan Beton :

1. Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu di beri baja tulangan sebagai penahan gaya tarik.

2. Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dibuat dilatasi (expansion joint) untuk mencegah terjadinya retakan akibat terjadinya perubahan suhu.
3. Untuk mendapatkan beton kedap air secara sempurna, harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti.

Beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil, terutama pada struktur tahan gempa.

### **C. Teori Beton Ringan**

Beton ringan adalah beton yang memiliki agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton  $1850 \text{ kg/m}^3$  (SNI 03-3449-2002).

Beton ringan dapat dibagi lagi dalam tiga golongan berdasarkan tingkat kepadatan dan kekuatan beton yang dihasilkan dan berdasarkan jenis agregat ringan yang dipakai (Prawito, 2010). Klasifikasi beton ringan adalah sebagai berikut ini :

- Beton insulasi (Insulating Concrete)

Beton ringan dengan berat (density) antara  $300 \text{ kg/m}^3$  -  $800 \text{ kg/m}^3$  dan berkekuatan tekan berkisar 0,69 - 6,89 MPa, yang biasanya dipakai sebagai beton penahan panas (insulasi panas) disebut juga Low Density Concrete. Beton ini banyak digunakan untuk keperluan

insulasi, karena mempunyai kemampuan konduktivitas panas yang rendah, serta untuk peredam suara. Jenis agregat yang biasa digunakan adalah Perlite dan Vermiculite.

- Beton ringan dengan kekuatan sedang (Moderate Strength Concrete) Beton ringan dengan berat (density) antara 800 kg/m<sup>3</sup> - 1440 kg/m<sup>3</sup>, yang biasanya dipakai sebagai beton struktur ringan atau sebagai pengisi (fill concrete). Beton ini terbuat dari agregat ringan buatan seperti: terak (slag), abu terbang (fly ash), lempung, batu sabak (slate), batu serpih (shale), dan agregat ringan alami, seperti pumice, skoria, dan tufa. Beton ini biasanya memiliki kekuatan tekan berkisar 6,89 - 17,24 MPa.
- Beton Struktural (Structural Concrete)  
Beton ringan dengan berat (density) antara 1440 kg/m<sup>3</sup> - 1850 kg/m<sup>3</sup> yang dapat dipakai sebagai beton struktural jika bersifat mekanik (kuat tekan) dapat memenuhi syarat pada umur 28 hari mempunyai kuat tekan berkisar > 17,24 MPa Untuk mencapai kekuatan sebesar itu, beton ini dapat memakai agregat kasar seperti expanded shale, clays, slate, dan slag.

Ada beberapa cara untuk memproduksi beton ringan tetapi itu semuanya hanya tergantung pada adanya rongga udara dalam agregat, atau pembuatan rongga udara dalam beton (Prawito, 2010), yaitu dilakukan dengan 3 cara berikut ini.

- Beton ringan dengan bahan batuan yang berongga atau agregat

ringan buatan yang digunakan juga sebagai pengganti agregat kasar/kerikil. Beton ini memakai agregat ringan yang mempunyai berat jenis yang rendah (berkisar  $1400 \text{ kg/m}^3 - 2000 \text{ kg/m}^3$ )

- Beton ringan tanpa pasir (No Fines Concrete), dimana beton tidak menggunakan agregat halus (pasir) pada campuran pastinya atau sering disebut beton non pasir, sehingga tidak mempunyai sejumlah besar pori-pori. Berat isi berkisar antara  $880 - 1200 \text{ kg/m}^3$  dan mempunyai kekuatan berkisar  $7 - 14 \text{ MPa}$ .
- Beton ringan yang diperoleh dengan memasukan udara dalam adukan atau mortar (beton aerasi), sehingga akan terjadi pori-pori udara berukuran  $0,1 - 1 \text{ mm}$ . Memiliki berat isi  $200 - 1440 \text{ kg/m}^3$ .

Sementara itu, beton busa adalah campuran antara semen, air, agregat dengan bahan tambah (admixture) tertentu yaitu dengan membuat gelembung-gelembung gas atau udara dalam adukan semen sehingga terjadi banyak pori-pori udara didalam beton. Dengan ditambahkan foaming agent maka akan terbentuk pori-pori yang terjadi akibat reaksi kimia dimana kalsium hidroksida yang terkandung dalam pasir akan bereaksi membentuk gas hidrogen. Gas hidrogen tersebut akan membentuk gelembung-gelembung didalam campuran beton yang mengakibatkan volumenya akan menjadi lebih besar dari volume semula. Diakhir pengembangan, hidrogen yang terbentuk tadi akan terlepas ke atmosfer dan akan digantikan udara. Akibat terbentuknya rongga di dalam campuran beton tadi, maka berat jenis dari beton tersebut akan lebih kecil dari semula. Penggunaan foaming agent

bertujuan untuk memperoleh berat jenis beton yang lebih ringan. *Foam agent* adalah suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Surfaktan adalah zat yang cenderung terkonsentrasi pada antarmuka dan mengaktifkan antarmuka tersebut dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen. Dengan demikian akan terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya.

#### **D. Teori Beton Busa Berserat**

Purnama Gunawan (2015), Solusi untuk meningkatkan kekuatan beton ringan *foam* ini adalah dengan menambahkan serat kedalam adukan berupa serat *polyethylene*. Metode yang digunakan adalah pengamatan secara eksperimental dan kemudian dilakukan analisis secara teoritis untuk mendukung kesimpulan akhirnya. Benda uji berupa silinder 15cm x30cm untuk pengujian modulus elastisitas, kuat tekan, dan kuat tarik belah. Alat yang digunakan untuk pengujian adalah CTM (*Compression Testing Machine*). Hasil dari penelitian ini adalah peningkatan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton ringan *foam* setelah ditambah serat *polyethylene* pada kadar 0,5% dari berat volume. Penambahan kadar serat sebesar 0,5% menghasilkan peningkatan kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas berturut-turut sebesar 48,24%; 28,91%; dan 44,85% dibandingkan dengan beton ringan *foam* tanpa serat.

Widodo S (2005), Substitusi pasir dengan butiran polystyrene cenderung menurunkan kuat beton, jenis beton ringan-struktural hanya dapat dicapai pada penggunaan polystyrene sebesar 25% dari volume total agregat halus untuk nilai faktor air semen sebesar 0,50 dengan kuat tekan rata-rata 17,35 MPa.

## **E. Material Penyusun Beton**

### **E.1 Semen Portland**

Semen merupakan bahan pengikat hidrolis, yaitu bahan anorganik yang ditumbuk halus dan ketika bercampur dengan air, dengan menggunakan reaksi dan proses hidrasi membentuk pasta yang mengikat dan mengeras, setelah mengeras, tetap mempertahankan kekuatan dan stabilitasnya meskipun di dalam air (Standar BS EN 197-1).

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Semen Portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan

mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenisnya berkisar antara 3,12 dan 3,16, dan berat volume satu sak semen adalah 94 lb/ft<sup>3</sup>. Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silika (SiO<sub>2</sub>) – dari lempung,
3. Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – dari lempung

(dengan sedikit presentasi magnesia, MgO, dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya (Edward G. Nawy, 1995).

Indonesia telah mampu memproduksi semen Portland yang terdiri atas 5 jenis dan penggunaan (semen Portland jenis I,II,III,IV dan V). Dewasa ini, Indonesia juga telah mengembangkan semen Portland Pozzolan dan semen Portland Komposit yang menggunakan material anorganik dan linker semen (M. Wihardi Tjaronge,2012).

Adapun jenis dan penggunaan semen portland (menurut SNI 15-2049-2004) yakni:

- a. Jenis I yaitu semen yang penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyarakan pada jenis-jenis lain
- b. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau hidrasi sedang.

- c. Jenis III yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
- e. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat (SNI 15-2049-2004).

Syarat mutu semen Portland (menurut SNI 15-2049-2004) yakni :

Persyaratan kimia semen Portland harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

**Tabel 1. Syarat kimia utama**

No	Uraian	Jenis semen Portland (%)				
		I	II	III	IV	V
1	SiO <sub>2</sub> , minimum	-	20 <sup>b,c)</sup>	-	-	-
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , maksimum	-	6,0	-	-	-
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , maksimum	-	6,0 <sup>b,c)</sup>	-	6,5	-
4	MgO, maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	SO <sub>3</sub> , maksimum					
5	Jika C <sub>3</sub> A ≤ 8,0	3,0	3,0 d)	3,5	2,3 <sup>d)</sup>	2,3 <sup>d)</sup>
	Jika C <sub>3</sub> A > 8,0	3,5		4,5		
6	Hilang pijar, maksimum	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
7	Bagian tak larut, maksimum	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
8	C <sub>3</sub> S, maksimum <sup>a)</sup>	-	-	-	35 <sup>b)</sup>	-
9	C <sub>2</sub> S, minimum <sup>a)</sup>	-	-	-	40 <sup>b)</sup>	-
10	C <sub>3</sub> A , maksimum <sup>a)</sup>	-	8,0	15	7 <sup>b)</sup>	5 <sup>b)</sup>
11	C <sub>4</sub> AF + 2 C <sub>3</sub> A atau <sup>a)</sup>					
	C <sub>4</sub> AF + C <sub>2</sub> F , maksimum	-	-	-	-	25 <sup>c)</sup>

Sumber : SNI 15-2049-2004

**CATATAN:**

- a) Persyaratan pembatasan secara kimia berdasarkan perhitungan untuk senyawa potensial tertentu tidak harus diartikan bahwa oksida dari senyawa potensial tersebut dalam keadaan murni.

C = CaO, S = SiO<sub>2</sub>, A = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, contoh C<sub>3</sub>A = 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) dan Fosfor pentaoksida (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) termasuk dalam Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Nilai yang biasa digunakan untuk Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam menghitung senyawa potensial (misal: C<sub>3</sub>A) untuk tujuan spesifikasi adalah jumlah endapan yang diperoleh dengan penambahan NH<sub>4</sub>OH dikurangi jumlah Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang diperoleh dalam analisis kimia basah.

Apabila:  $\frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{Fe}_2\text{O}_3} \geq 0,64$ , maka persentase C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A dan C<sub>4</sub>AF

dihitung sebagai berikut:

$$\text{C}_3\text{S} = 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = (4,071 \times \% \text{CaO}) - (7,600 \times \% \text{SiO}_2) - (6,718 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1,430 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) - (2,852 \times \% \text{SO}_3)$$

$$\text{C}_2\text{S} = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = (2,867 \times \% \text{SiO}_2) - (0,7544 \times \% \text{C}_3\text{S})$$

$$\text{C}_3\text{A} = 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = (2,650 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1,692 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\text{C}_4\text{AF} = 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = (3,043 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

Apabila:  $\frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{Fe}_2\text{O}_3} < 0,64$ , terbentuk larutan padat (C<sub>4</sub>AF + C<sub>2</sub>F) =



maka (C<sub>4</sub>AF + C<sub>2</sub>F) dan C<sub>3</sub>S dihitung sebagai berikut:

Semen dengan komposisi ini didalamnya tidak terdapat  $C_3A$ .  $C_2S$  tetap dihitung dengan menggunakan rumus di atas: Perhitungan untuk semua senyawa potensial adalah berdasarkan hasil penentuan oksidanya yang dihitung sampai sedekat mungkin 0,1%. Semua hasil perhitungan dilaporkan sampai sedekat mungkin dengan 1,0%.

- b) Apabila yang disyaratkan adalah kalor hidrasi seperti yang tercantum pada tabel syarat fisika tambahan (Tabel 4.), maka syarat kimia ini tidak berlaku.
- c) Apabila yang disyaratkan adalah pemuain karena sulfat yang tercantum pada tabel syarat fisika tambahan (Tabel 4.), maka syarat kimia ini tidak berlaku.
- d) Tidak dapat dipergunakan

**Tabel 2.** Syarat kimia tambahan

No	Uraian	Jenis semen portland (%)				
		I	II	III	IV	V
1	$C_3A$ , maksimum	-	-	8	-	-
2	$C_3A$ , minimum	-	-	5	-	-
3	$(C_3S + 2 C_3A)$ , maksimum	-	58 <sup>b)</sup>	-	-	-
4	Alkali, sebagai ( $Na_2O + 0,658 K_2O$ ), 0,60 maksimum	0,60 c)	0,60 c)	0,60 c)	0,60 c)	0,60 c)

Sumber : SNI 15-2049-2004

### CATATAN

- a) Syarat kimia tambahan ini berlaku hanya secara khusus disyaratkan.
- b) Sama dengan keterangan untuk <sup>b)</sup> pada syarat kimia utama.

- c) Hanya berlaku bila semen digunakan dalam beton yang agregatnya bersifat reaktif terhadap alkali.

Persyaratan fisika semen Portland harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

**Tabel 3. Syarat Fisika Utama**

No	Uraian	Jenis semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	Kehalusan: Uji permeabilitas udara, m <sup>2</sup> /kg Dengan alat : Turbidimeter, min Blaine, min	160 280	160 280	160 280	160 280	160 280
2	Kekekalan : Pemuaian dengan autoclave, maks %	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
3	Kuat tekan: Umur 1 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum Umur 3 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum Umur 7 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum Umur 28 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	- 125 200 280	- 100 70 <sup>a)</sup> 175 120 <sup>a)</sup>	120 240 - -	- - 70 170	- 80 150 210
4	Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat: Gillmore Awal, menit, minimal Akhir, menit maksimum Vicat - Awal, menit, minimal - Akhir, menit, maksimum	60 600 45 375	60 600 45 375	60 600 45 375	60 600 45 375	60 600 45 375

Sumber : SNI 15-2049-2004

### CATATAN

Syarat kuat tekan ini berlaku jika syarat kalor hidrasi seperti tercantum pada tabel syarat fisika tambahan (Tabel 4.) atau jika syarat  $C_3S + C_3A$  seperti tercantum pada tabel syarat kimia tambahan disyaratkan (Tabel 2.).

**Tabel 4.** Syarat fisika tambahan

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	Pengikatan semu penetrasi akhir, % minimum	50	50	50	50	50
2	Kalor hidrasi					
	Umur 7 hari, kal/gram, maks	-	70 <sup>b)</sup>	-	60	-
	Umur 28 hari, kal/gram, maks	-	-	-	70	-
3	Kuat tekan: Umur 28 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	-	280	-	-	-
4	Pemuaian karena sulfat hari, %, maksimum	14	220 <sup>b)</sup>	-	-	0,040
5	Kandungan udara mortar, % volume, maksimum	12	12	12	12	12

Sumber : SNI 15-2049-2004

#### CATATAN

- a) Persyaratan fisika tambahan ini berlaku hanya jika secara khusus diminta.
- b) Bila syarat kalor hidrasi ini disyaratkan, maka syarat  $C_3S + C_3A$  seperti tercantum pada tabel kimia tambahan (Tabel 2.) tidak diperlukan.

Syarat kuat tekan ini berlaku bila syarat kalor hidrasi seperti yang tercantum pada tabel syarat fisika tambahan (Tabel 4.) atau bila syarat  $C_3S + C_3A$  seperti yang tercantum pada tabel syarat kimia tambahan (Tabel 2.) disyaratkan.

## E.2 Agregat Halus

Menurut SNI 03-2847-2002 agregat halus adalah butiran halus yang memiliki kehalusan 2mm - 5mm. Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton ataupun batako. Pasir merupakan bahan pengisi yang digunakan dengan semen untuk membuat adukan. Selain itu juga pasir berpengaruh terhadap sifat tahan susut, keretakan dan kekerasan pada batako atau produk bahan bangunan campuran semen lainnya. Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm; (SNI 03-2834-2002).

Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 dan No.100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No.100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yang sesuai dengan standar analisis saringan dari ASTM (*American Society of Testing and Materials*). Untuk beton penahan radiasi, serbuk baja halus dan serbuk besi pecah digunakan sebagai agregat halus (Nawy, E. G, 1998).

Persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6821-2002 adalah sebagai berikut:

- a. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
- b. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat di uji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat. Sedangkan jika dipakai magnesium sulfat
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus di cuci.

### **E.3 Air**

Air diperlukan dalam pembuatan beton agar dapat terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan juga dapat mengubah sifat-sifat semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan.

Karena karakter pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total (semen + agregat halus + agregat kasar) material yang menentukan, melainkan hanya perbandingan antara air dan semen pada campuran yang

menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya (Nawy, E. G. 1998).

#### **E.4 Busa**

*Foam agent* adalah suatu larutan pekat dari jenis *polyether polyol* yang dibentuk dari proses anionik. *Foam agent* yang digunakan berjenis *rigid foams* yang biasa digunakan dalam industri pelapis permukaan, perekat, atau sealant. Metode pengadukan foam agent bisa dilakukan dengan mesin generator busa dan metode adukan manual.

#### **E.5 Serat *Macro Synthetic***

Pengaruh poliolefin serat makro pada patahan, sifat beton pada keadaan segar dan beton ringan dengan pemadatan sendiri (SCLC) *self-compacting lightweight concrete* telah diuji. Empat campuran SCLC yang telah dirancang sedemikian rupa, sehingga kandungan rasio air terhadap pengikat tetap konstan sementara untuk volume kandungan serat bervariasi dari 0,0% hingga 0,5% berdasarkan volume beton. Pada Tabel 5 kita dapat melihat *Mix Design Proportion*.

**Tabel 5. Mix Design Proportion**

ID	W/B	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )							SP	% by volume Fiber
		Water	Cement	Silica Fume	Limestone Powder	Fine Aggregate	Coarse aggregat			
F0.0	0,37	162,8	400	40	225	850	255	7	0,0	
F0.1	0,37	162,8	400	40	225	850	255	8	0,1	
F0.3	0,37	162,8	400	40	225	850	255	8	0,3	
F0.5	0,37	162,8	400	40	225	850	255	9	0,5	

Sumber : (Karamloo, M., 2020).

**Tabel 6. Characteristics of the fibers**

Fiber	Super Emboss
Section	Round
Tensile strength (MPa)	600
Base material	Virgin copolymer polyolefin
Spesific density	0,91
Length	40
Chemical resistance	Excellent
Elastic modulus (GPa)	6,4
Melt point (°C)	160-170
Water absorption	No

Sumber : (Karamloo, M., 2020).

Selain itu, untuk mengevaluasi pengaruh ukuran pada parameter patahan dan kekuatan balok, tiga ukuran spesimen yang berbeda dipertimbangkan sedemikian rupa sehingga secara geometris mereka tetap serupa. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kandungan serat memiliki efek yang dapat diabaikan terhadap sifat mekanik SCLC. Namun, perilaku pasca puncak spesimen dipengaruhi oleh jumlah kandungan serat.

**Tabel 7.** *Mechanical properties of fiber-reinforced SCLC mixes*

Mix ID	Compressive strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity
F0.0	40,77 (7,18%)	2,96 (4,23%)	23,43 (2,99%)
F0.1	42,03 (5,59%)	3,12 (5,32%)	25,15 (4,22%)
F0.3	40,53 (7,74%)	3,27 (3,24%)	24,05 (0,88%)
F0.5	38,90 (3,96%)	3,42 (0,77%)	24,8 (0,10%)

Sumber : (Karamloo, M., 2020).

Peningkatan volume serat poliolefin dari 0,0% menjadi 0,5% mampu meningkatkan kekuatan tarik benda uji sebesar 15,54%, namun hal ini berbeda untuk kuat tekan dan modulus elastisitasnya. Dengan kata lain, maksimum jumlah modulus elastisitas dan kuat tekan dicapai dengan menambahkan kandungan serat 0,1% (Karamloo, M., 2020).

Penggunaan serat digunakan untuk mengontrol pengurangan kekuatan dan susut pada beton. Keretakan mungkin terjadi, terutama pada beton berusia muda. Serat mampu meningkatkan kekuatan awal dan menghalangi pertumbuhan retakan awal. Bahkan ketika menggunakan serat pendek dan tipis yang memiliki kekuatan dan modulus elastisitas rendah, dapat memenuhi persyaratan (Kauffman, 2007).

Serat poliolefin (polipropilen, polietilen, dll.) mampu mencapai kekuatan yang sangat tinggi, tetapi umumnya modulus elastisitasnya sangat rendah. Kontraksi Poisson dan sifat hidrofobik polipropilen dan polietilen memiliki sifat ikatan yang agak buruk ketika diamati pada proses matriks semen. Namun demikian, serat struktural berbasis poliolefin, yang disebut serat sintetis makro telah banyak digunakan untuk memperkuat beton pada pelat, shotcrete, dan elemen pra-cetak. Analisis tentang

bagaimana serat ideal harus disusun menunjukkan, bahwa di satu sisi permukaan serat harus memungkinkan dispersi yang baik tanpa mempengaruhi sifat reologi beton segar. Pada beton yang mengeras, permukaan serat harus memfasilitasi ikatan dengan matriks semen. Zona antarmuka yang padat harus dibentuk. Sebaliknya, serat harus mampu menahan beban tegangan tinggi. Kebanyakan polimer memenuhi baik sifat permukaan yang diinginkan atau permintaan kekuatan tinggi. Laju aliran leleh, ukuran dan distribusi molekul, dan gugus fungsi merupakan parameter kunci polimer yang paling penting (Kauffman, 2007).

Serat polimer sintetis (*synthetic polymeric fiber*) atau biasa disebut serat sintetis adalah serat yang dibuat oleh manusia dari hasil riset dan pengembangan dalam industri petrokimia dan tekstil. Terdapat dua bentuk serat fisik, yaitu : serat filamen tunggal dan serat yang dihasilkan dari pita filamen. Saat ini terdapat dua volume serat sintetis yang berbeda yang digunakan dalam aplikasi yaitu: presentase volume rendah (0,1% sampai 0,3%) dan presentase volume tinggi (0,4% sampai 0,8%). Sebagian besar aplikasi serat sintetis memiliki volume 0,1%. Pada tingkat ini, kekuatan beton dan karakteristiknya tidak berpengaruh karena retakan bisa dikendalikan. Serat sintetis telah banyak digunakan sebagai perkuatan dalam struktur beton. Serat yang termasuk dalam golongan serat sintetis antara lain: Polypropylene, polyethylene, polyester, nylon, aramid, acrylic dan PVA (Balaguru,1992).

## **F. Sifat Mekanik Beton**

Sifat mekanis beton keras dapat diklasifikasikan sebagai (1) sifat jangka pendek atau sesaat dan (2) sifat jangka panjang. Sifat jangka pendek adalah (1) kekuatan tekan, tarik dan geser, dan (2) kekuatan yang diukur dengan modulus elastisitasnya. Sifat jangka panjang dapat diklasifikasikan dalam rangkai dan susut. Namun, pada penelitian ini hanya membahas kuat tekan beton saja. Beton baik dalam menahan tegangan tekan dari pada jenis tegangan yang lain dan umumnya pada perencanaan struktur beton memanfaatkan sifat ini. Karenanya kekuatan tekan dari beton dianggap sifat yang paling penting dalam banyak kasus.

### **F.1. Slump Flow**

*Slump* adalah penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji *slump* diangkat. Pengujian *slump* merupakan suatu teknik untuk memantau homogenitas dan *workability* adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan satu nilai *slump*. Dalam kondisi laboratorium, dengan material beton yang terkendali secara ketat, nilai *slump* umumnya meningkat sebanding dengan nilai kadar air campuran beton, dengan demikian berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Tetapi dalam pelaksanaan di lapangan harus hati-hati, karena banyak faktor yang berpengaruh terhadap perubahan adukan beton pada pencapaian nilai *slump* yang ditentukan, sehingga hasil *slump* yang diperoleh di lapangan

tidak sesuai dengan kekuatan beton yang diharapkan (SNI 1972:2008). Adapun slump flow adalah jarak terluar dari ujung ke ujung aliran beton segar secara lateral yang diukur dari diameter terluar (Kementrian PUPR 2017).

## F.2. Berat Volume Beton

Berat volume menurut SNI 1973:2016 adalah berat per satuan volume. Berdasarkan SNI 1973:2016 untuk menghitung berat volume (*density*) beton dalam kondisi segar dapat digunakan rumus :

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Dimana :

D = Densitas beton (kg/m<sup>3</sup>)

M<sub>c</sub> = Massa wadah ukur yang diisi beton (kg)

M<sub>m</sub> = Massa wadah ukur (kg)

V<sub>c</sub> = Volume wadah ukur (m<sup>3</sup>)

Untuk menghitung berat volume (*density*) beton dalam kondisi bebas udara dapat digunakan rumus :

$$D = \frac{M}{V}$$

Dimana :

D = Densitas beton dalam kondisi bebas udara (kg/m<sup>3</sup>)

M = Massa total dari semua material dalam campuran (kg)

V = Volume absolut total dari komponen material dalam campuran (m<sup>3</sup>)

### F.3. Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan dapat dicapai sampai 14000 psi atau lebih, bergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta lama dan kualitas perawatan. Kekuatan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 3000 psi (20.684 N/mm<sup>2</sup>) sampai 6000 psi (41.368 N/mm<sup>2</sup>), dan beton komersial dengan agregat biasa, kekuatannya sekitar 300 psi (2.068 N/mm<sup>2</sup>) sampai 10000 psi (68.947 N/mm<sup>2</sup>). Kekuatan tekan  $f'_c$  ditentukan dengan silinder standar ( berukuran 6 in x 12 in) yang dirawat dibawah kondisi standar laboratorium pada kecepatan pembebanan tertentu, pada umur 28 hari. Spesifikasi standar yang dipakai di Amerika Serikat biasanya diambil dari ASTM C-39. Perlu dipahami bahwa kekuatan silinder karena perbedaan pemadatan dan kondisi perawatan. (Nawy, E. G. 1998).

Kuat tekan beban beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Berdasarkan SNI 1974:2011, kuat tekan beton dihitung dengan membagi beban tekan maksimum yang diterima benda uji selama pengujian dengan luar penampang melintang.

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

Dimana:

$f'_c$  = Kuat tekan beton (N/mm<sup>2</sup>)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima beban (mm<sup>2</sup>)

Dalam penelitian ini, kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum  $f'_c$  dengan satuan  $N/mm^2$  atau MPa (Mega Pascal). Besarnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

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

#### F.4. Ketepatan

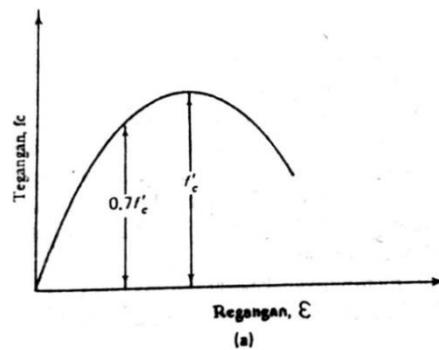
Berdasarkan SNI 1974:2011 ketepatan operator tunggal dari pengujian silinder dilihat dari nilai koefisien variasi. Nilai yang dapat diterima sebagai berikut :

**Tabel 8.** Rentang koefisien variasi yang dapat diterima

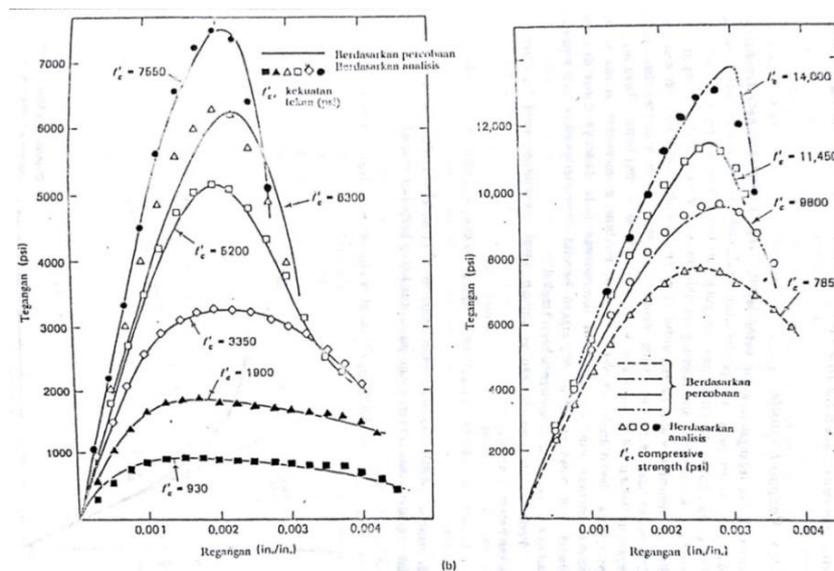
Operator tunggal	Koefisien variasi	Rentang yang dapat diterima	
		2 Hasil	3 Hasil
Kondisi laboratorium	2,37%	6,6%	7,8%
Kondisi Lapangan	2,87%	8,0%	9,5%

### F.5. Kurva Tegangan-Regangan

Hubungan tegangan regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan-persamaan analisis dan desain juga prosedur-prosedur pada struktur beton. Gambar 1. memperlihatkan kurva tegangan regangan tipikal yang diperoleh dari percobaan dengan menggunakan benda uji silinder beton dan dibebani tekan uniaksial selama beberapa menit.



**Gambar 1.** Kurva tegangan-regangan tipikal beton (Nawy, E. G. 1998).



**Gambar 2.** Kurva tegangan-regangan untuk berbagai kekuatan beton (Nawy, E. G. 1998).

Bagian pertama kurva ini ( sampai sekitar 40% dari  $f_c'$ ) pada umumnya untuk tujuan praktis dapat dianggap linear. Sesudah mendekati 70% tegangan hancur, materialnya banyak kehilangan kekakuannya sehingga menambah ketidaklinieran diagram. Pada beban batas, retak yang searah dengan arah beban menjadi sangat terlihat dan hampir semua silinder beton (kecuali yang kekuatannya sangat rendah) akan segera hancur. Gambar 2. memperlihatkan kurva tegangan regangan beton untuk berbagai kekuatan yang diperoleh dari Portland cement Association. Terlihat jelas bahwa (1) semakin rendah kekuatan beton, semakin tinggi regangan hancurnya, (2) semakin tinggi kekuatan tekan beton, panjang bagian linier pada kurva semakin bertambah; dan (3) ada reduksi daktilitas apabila kekuatan beton bertambah (Nawy, E. G. 1998).

#### **F.6. Modulus Elastisitas**

Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan terhadap regangan. Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Dari pengujian tekan silinder beton 10 x 20 cm dihitung besarnya modulus elastisitas beton dengan menggunakan rumus ASTM C 469-94 dan volumetric strain di hitung dengan rumus:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_\alpha + 2\varepsilon_L \quad (1)$$

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_l - 0.00005} \quad (2)$$

Dimana :

$E_c$  = Modulus Elastisitas, MPa,

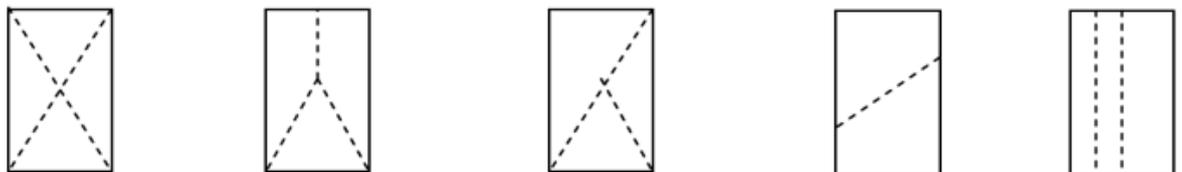
$S_1$  = Tegangan 40% dari beban ultimit,

$S_2$  = Tegangan searah regangan longitudinal,  $\varepsilon_1$ , dan

$\varepsilon_1$  = Regangan longitudinal.

### F.7. Pola Retak dan Kehancuran

Berdasarkan SNI 1974-2011 pola kehancuran pada benda uji dibedakan menjadi 5 bentuk :



**Gambar 3.** Pola kehancuran berdasarkan SNI 1974-2011

Keterangan:

1. Bentuk kehancuran kerucut
2. Bentuk kehancuran kerucut dan belah
3. Bentuk kehancuran kerucut dan geser
4. Bentuk kehancuran geser
5. Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar).