

TESIS

**KINERJA BETON BUSA DARI CAMPURAN SEMEN DAN
SERAT POLIOLEFIN**

**PERFORMANCE OF FOAM CONCRETE BY BLENDED
CEMENT AND POLYOLEFIN FIBERS**

SAHIRUDDIN

D012 19 1 014



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

HALAMAN SAMPUL

**KINERJA BETON BUSA DARI CAMPURAN SEMEN DAN
SERAT POLIOLEFIN**

**Sebagai Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Magister
Disusun dan Diajukan Oleh :**

**SAHIRUDDIN
D012 19 1 014**



Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

TESIS

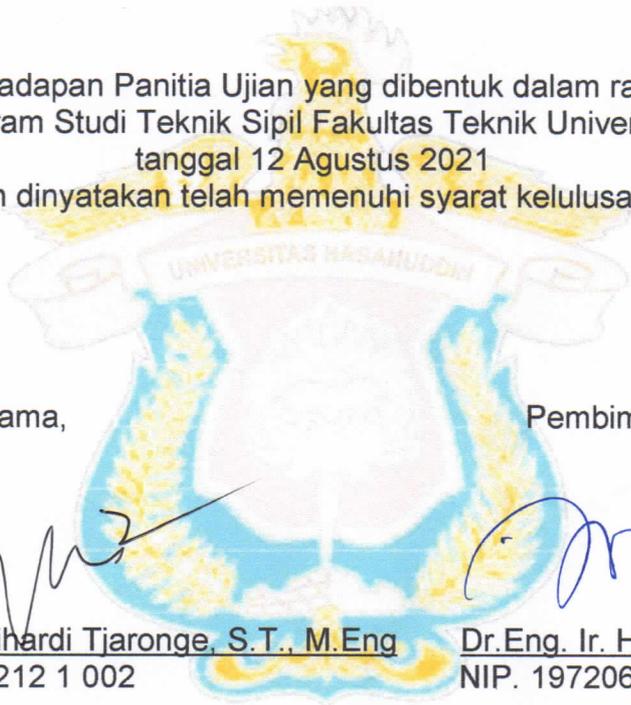
KINERJA BETON BUSA DARI CAMPURAN SEMEN DAN SERAT POLIOLEFIN

Disusun dan diajukan oleh

SAHIRUDDIN
D012191014

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Magister Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 12 Agustus 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan



Pembimbing Utama,

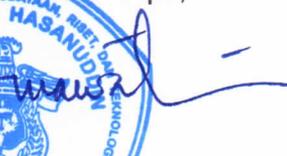
Pembimbing Pendamping,

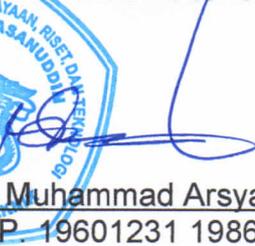

Prof. Dr. Ir. H. M. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng
NIP. 19680529 200212 1 002


Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT
NIP. 19720619 200012 1 001

Ketua Program Studi S2
Teknik Sipil,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,


Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT
NIP. 19720619 200012 1 001


Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.
NIP. 19601231 198609 1 001



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tanga dibawah ini

Nama : Sahiruddin
Nomor Mahasiswa : D012191014
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S2 (Magister)

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis berjudul

KINERJA BETON BUSA DARI CAMPURAN SEMEN DAN SERAT POLIOLEFIN

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

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

Makassar, 12 Agustus 2021

Yang menyatakan



SAHIRUDDIN

KATA PENGANTAR

Puji Tuhan kami panjatkan kehadiran Tuhan yang maha kuasa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni **“Kinerja Beton Busa Dari Campuran Semen dan Serat Poliolefin”** dapat terselesaikan. Dalam melaksanakan penelitian ini upaya dan perjuangan keras kami lakukan dalam menyelesaikannya.

Kami menyampaikan penghargaan yang sangat tinggi dan amat mendalam kepada bapak **Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng**, atas bimbingan, arahan dan petunjuknya sehingga penelitian dan penyusunan tesis ini dapat kami laksanakan dengan baik. Ucapan dan penghargaan yang sama kami sampaikan kepada **Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT**. Selaku sekretaris komisi penasehat yang banyak memberikan waktu, arahan dan bimbingannya kepada kami. Kepada bapak kami mengucapkan terima kasih dan penghormatan yang setinggi-tingginya atas bimbingan yang begitu tulus dan ikhlas.

Penghargaan yang setinggi tingginya kepada ; Rektor Universitas Hasanuddin (**Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA**), bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc** (Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, MT**. (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (bapak **Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng**), bapak **Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT**. (Ketua Program Studi S2 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin) dan bapak/ibu dosen

Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan membimbing dalam proses perkuliahan. Bapak/ibu staf Pascasarjana Unhas dan staf Prodi S2 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam proses administrasi, kami sampaikan banyak terima kasih.

Ucapan terima kasih yang setinggi tingginya atas segala keikhlasan, pikiran dan tenaganya yang tidak ternilai. Hanya dengan doa semoga Allah SWT. Tuhan Yang Maha Kuasa dapat membalasnya.

Makassar, Juli 2021

Sahiruddin

ABSTRAK

SAHIRUDDIN. Kinerja Beton Busa dari Campuran Semen dan Serat Poliolefin (dibimbing oleh: **H. M. Wihardi Tjaronge** dan **Rita Irmawaty**).

Semen menjadi kontributor utama emisi gas rumah kaca, karena 6 - 7% dari total gas CO₂ diemisikan ke atmosfer bumi setiap tahunnya. Dari sisi produk turunan semen, telah dikembangkan beton busa (*foam concrete*). Serat *Macro Synthetic* yang berbasis *polyolefin* yang menjadi kemajuan ilmu dalam dunia polimer digunakan sebagai bahan tambah untuk meningkatkan nilai kuat tekan beton busa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perilaku mekanis (kuat tekan, modulus elastisitas, dan poisson rasio) beton busa yang menggunakan serat *Macro Synthetic*. Penelitian ini berbentuk uji eksperimental di laboratorium. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa beton berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Dilakukan tiga kali pengecoran, dimana pengecoran pertama yaitu tanpa serat, pengecoran kedua dan ketiga menggunakan serat, dengan jumlah serat *Macro Synthetic* tiap pengecoran berbeda. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik mekanik beton busa yang menggunakan serat *Macro Synthetic*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran beton yang menggunakan serat *Macro Synthetic* mempunyai daya kuat tekan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran beton busa tanpa serat *Macro Synthetic*, campuran beton busa dengan tambahan serat macro synthetic mempunyai nilai modulus yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran semen tanpa serat macro synthetic, campuran beton busa dengan tambahan serat macro synthetic mempunyai nilai poisson ratio yang lebih rendah jika dibandingkan dengan campuran semen tanpa serat *Macro Synthetic*.

Kata kunci : Beton busa, semen, *Macro Synthetic* dan perilaku mekanik

ABSTRACT

SAHIRUDDIN. Performance of Foam Concrete by Blended Cement and Polyolefin Fibers (supervised by: **H. M. Wihardi Tjaronge** dan **Rita Irmawaty**).

Cement is a major contributor to greenhouse gas emissions, because 6 - 7% of the total CO₂ gas is emitted into the earth's atmosphere every year. In terms of cement derivative products, foam concrete has been developed. Macro Synthetic fiber based on polyolefin which is a scientific advance in the world of polymers is used as an additive to increase the compressive strength of foam concrete. This study aims to analyze the mechanical behavior (compressive strength, modulus of elasticity, and Poisson ratio) of foam concrete using Macro Synthetic fiber. This research is in the form of an experimental test in a laboratory. The test object used in this study was a cylindrical concrete with a diameter of 10 cm and a height of 20 cm. Casting was carried out three times, where the first casting was without fiber, the second and third castings used fiber, with a different number of Macro Synthetic fibers for each casting. The compressive strength test was carried out to evaluate the mechanical characteristics of foam concrete using Macro Synthetic fiber. The results showed that the concrete mixture using Macro Synthetic fiber had a higher compressive strength when compared to the foam concrete mixture without Macro Synthetic fiber, the foam concrete mixture with the addition of macro synthetic fiber had a higher modulus value when compared to the cement mixture without fiber. macro synthetic, a mixture of foam concrete with the addition of macro synthetic fiber has a lower Poisson ratio value when compared to a mixture of cement without Macro Synthetic fiber.

Keywords : Foam concrete, cement, *Macro Synthetic* and mechanical behavior

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR NOTASI	ix
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	6
E. Batasan Masalah.....	6
F. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Penelitian Terdahulu Tentang Beton Busa.....	9
B. Beton.....	13
C. Beton Busa (Foam Concrete).....	15
D. Material Penyusun Beton Busa	18
E. Sifat Mekanik Beton Busa.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Tempat dan Waktu Penelitian	34
B. Jenis dan Sumber Penelitian	34

C. Tahapan Penelitian.....	34
D. Metode/Standar Pemeriksaan Karakteristik Material..	36
E. Analisa Rancangan Campuran (Mix Design)	39
F. Alat dan Bahan Penelitian.....	40
G. Pembuatan Benda Uji	42
H. Perawatan Benda Uji	44
I. Pemeriksaan Berat Volume Beton	45
J. Pengujian Kuat Tekan.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Karakteristik Material	48
B. Rancangan Campuran Beton Busa.....	49
C. Berat Volume Mix Design Beton Busa	50
D. Pengujian Kuat Tekan Beton Busa	51
E. Hubungan Tegangan Regangan Beton Busa	54
F. Rekapitulasi Hubungan Tegangan Beton Busa	62
G. Modulus Elastisitas	63
H. Poisson Ratio.....	64
I. Koefisien Nilai Modulus Elastisitas Beton Busa	66
J. Pola Retak Setelah Pengujian Kuat Tekan	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	71
B. Saran	72

DAFTAR PUSTAKA 73

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Sifat Fisika Semen Portland Komposit (SNI 15-7064-2004) ...	20
2.	Sifat Fisik Serat Polyolefin Polymer Based Fiber	25
3.	Rentang Koefisien Variasi Yang Dapat Diterima	29
4.	Metode Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus	36
5.	Karakteristik Kimia PCC	37
6.	Karakteristik Fisik PCC.....	37
7.	Karakteristik Serat Macro Synthetic	38
8.	Mix Design Beton Busa I.....	39
9.	Mix Design Beton Busa II.....	40
10.	Jumlah Benda Uji	42
11.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus	48
12.	Komposisi Campuran Beton Busa (Mix Design).....	49
13.	Berat Volume Benda Uji Beton Busa.....	50
14.	Kuat Tekan Benda Uji	52
15.	Rekapitulasi Tegangan Regangan Beton Busa.....	62
16.	Rekapitulasi Nilai Modulus Elastisitas Umur 7 Hari.....	63
17.	Rekapitulasi Nilai Modulus Elastisitas Umur 28 Hari.....	64
18.	Rekapitulasi Nilai Poisson Ratio Beton Busa Umur 7 Hari.....	65
19.	Rekapitulasi Nilai Poisson Ratio Beton Busa Umur 28 Hari.....	65
20.	Koefisien Modulus Elastisitas Untuk Kuat Tekan Beton Busa...	66
21.	Koefisien Modulus Elastisitas Untuk Berat Isi Beton Busa	66

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Partisi Beton Busa	3
2. Serat Polyolefin Polymer Based Fiber	24
3. Kurva Tegangan Regangan Tipikal Beton.....	30
4. Kurva Tegangan Regangan Untuk Berbagai Kekuatan Beton ..	30
5. Pola Kehancuran Berdasarkan SNI 1974-2011.....	33
6. Bagan Alir Penelitian	35
7. Material Beton Busa	41
8. Prosedur Pembuatan Benda Uji	44
9. Proses Curing Udara Benda Uji	45
10. Metode Pengujian Kuat Tekan	47
11. Diagram Perbandingan Antara Umur Curing dan Berat Volume Beton Busa	51
12. Diagram Perbandingan Antara Umur Curing dan Kuat Tekan .	53
13. Hubungan Tegangan Regangan Pengujian Kuat Tekan Benda Uji BB-0 Umur 7 Hari	55
14. Hubungan Tegangan Regangan Pengujian Kuat Tekan Benda Uji BB-0 Umur 28 Hari	56
15. Hubungan Tegangan Regangan Pengujian Kuat Tekan Benda Uji BB-1 Umur 7 Hari	57
16. Hubungan Tegangan Regangan Pengujian Kuat Tekan Benda Uji BB-1 Umur 28 Hari	59

17.	Hubungan Tegangan Regangan Pengujian Kuat Tekan Benda Uji BB-2 Umur 7 Hari	60
18.	Hubungan Tegangan Regangan Pengujian Kuat Tekan Benda Uji BB-2 Umur 28 Hari	61
19.	Pola Retak Benda Uji BB-0 Umur 7 Hari	67
20.	Pola Retak Benda Uji BB-1 Umur 7 Hari	67
21.	Pola Retak Benda Uji BB-2 Umur 7 Hari	68
22.	Pola Retak Benda Uji BB-0 Umur 28 Hari	68
23.	Pola Retak Benda Uji BB-1 Umur 28 Hari	69
24.	Pola Retak Benda Uji BB-2 Umur 28 Hari	69

DAFTAR NOTASI

$f'c$	= Kuat Tekan Beton (N/mm^2)
P	= Beban Maksimum (N)
A	= Luas Penampang yang Menerima Beban (mm^2)
ϵ	= Regangan
ΔL	= Perubahan Panjang
L	= Panjang Awal
E_c	= Modulus Elastisitas Beton (N/mm^2)
S_1	= Tegangan Pada regangan 0.000050 (N/mm^2)
S_2	= Tegangan 40 % Dari Beban ultimait (N/mm^2)
ϵ_2	= Regangan longitudinal Pada Saat Tegangan S_2
ϵ_1	= Regangan longitudinal pada tegangan S_2 .
$f'c$	= Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari (MPa)
Wc	= Berat Satuan Beton (kg/m^3)
G'	= Kekakuan Geser
d	= Total Defleksi (mm)
a	= Panjang Dinding (mm)
b	= Lebar Dinding (mm)
E_m	= Berat Volume (Densitas) Beton
A	= Berat Silinder Yang Sudah Dikeringkan (kg)
B	= Berat Silinder Pada Keadaan Jenuh Permukaan Kering (kg)
C	= Berat Silinder Dalam Air Sampai Terendam Penuh (kg)
D	= Densitas beton (kg/m^3)
M_c	= Massa wadah ukur yang diisi beton (kg)
M_m	= Massa wadah ukur (kg)
V_c	= Volume wadah ukur (m^3)
M	= Massa total dari semua material dalam campuran (kg)
V	= Volume absolut total dari komponen material dalam campuran (m^3)

ν = poisson ratio

δ_1 = pembacaan displacement LVDT₁

δ_2 = pembacaan displacement LVDT₂

δ_3 = pembacaan displacement LVDT₃

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Selama satu abad terakhir, beton merupakan bahan yang populer dengan penggunaan yang banyak dan luas karena metode pembuatannya sederhana untuk mencapai kekuatan yang direncanakan di mana semen Portland Biasa (OPC) adalah bahan penyusun utama beton. Namun demikian, semen menjadi kontributor utama emisi gas rumah kaca, karena 6 - 7% dari total gas CO₂ diemisikan ke atmosfer bumi setiap tahunnya. (Deja, J. 2010). Untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya untuk mengurangi efek buruk terhadap lingkungan tersebut, di antaranya dengan mengganti sumber bahan baku pembuatan semen ataupun membuat alternatif produk turunannya.

Dari sisi bahan baku, beberapa pabrik semen sudah menggantikan produksi *Ordinary Portland Cement* (OPC) dengan *Portland Composite Cement* (PCC) yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. Selain untuk mengurangi efek negatif terhadap lingkungan, produksi PCC juga lebih ekonomis sehingga dapat meningkatkan kapasitas produksi semen. Salah satu bahan yang ditambahkan (*additive*) dalam produksi PCC adalah abu terbang (*fly ash*). Abu terbang dikategorikan dalam material "*pozzolon*" yakni material *siliceous* atau *aluminous* yang di dalamnya terdapat sedikit sekali atau tidak sama sekali material *cementitious* sebagaimana yang

dimiliki semen Portland. Standar spesifikasi abu terbang mengacu pada ASTM C 618-05, 2005. Abu terbang yang dihasilkan selama pembakaran batu bara untuk produksi energi merupakan produk sampingan industri yang diakui sebagai pencemar lingkungan. Sejumlah besar penelitian menyatakan bahwa abu terbang adalah adsorben yang menjanjikan untuk menghilangkan berbagai polutan. Kapasitas adsorpsi abu terbang dapat ditingkatkan setelah aktivasi kimia dan fisik. Pengelolaan abu terbang sebagai limbah B3 yang biasa dilakukan saat ini menjadi masalah serius dalam penyimpanan dan berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, upaya terus-menerus telah dilakukan untuk memanfaatkan abu terbang sebagai bahan tambahan dalam produksi PCC untuk mengurangi dampak lingkungan sekaligus meningkatkan nilai ekonomisnya. Selain ditambahkan ke dalam proses produksi PCC, abu terbang juga dapat dipergunakan langsung dalam produksi produk turunan dari semen. Industri beton sudah menggunakan abu terbang untuk ditambahkan langsung dalam produksi *ready mix* dan beton pracetak.

Dari sisi produk turunan semen, telah dikembangkan beton busa (*foam concrete*), suatu pasta semen atau mortar yang didefinisikan sebagai beton dengan density 400–1,850 kg/m³, memiliki rongga udara acak yang dibuat dari campuran *foam agent* di dalam mortar. Beton busa memiliki *flowability* yang tinggi, penggunaan kadar semen yang rendah, dan penggunaan agregat yang efisien (Ramamurthy, K., 2009). Pembangunan

gedung diseluruh dunia kini semakin memperhatikan penggunaan beton busa. Penghematan energi dan pertimbangan ramah lingkungan menjadi alasan utama penggunaan material ini. Bahan beton busa terdiri dari bahan utama dan bahan tambahan. Bahan utama adalah mortar yang terdiri: semen, agregat, air, yang ditambahkan bahan lain berupa: *foam agent*. Beton busa adalah pasta semen yang rapuh/*porous* atau campuran semen dan pasir halus dengan sel-sel udara mikro atau makroskopik yang seragam didistribusikan secara merata di seluruh campuran untuk menghasilkan beton ruang (ACI 523.4R-2009). Material ini menjadi bahan struktural ekonomis, ramah lingkungan, ringan yang menyediakan isolasi termal yang tahan api dan rayap.



Gambar 1. Partisi beton busa

Di dunia konstruksi, beton ruang banyak juga diaplikasikan untuk material nonstruktural seperti partisi, kelebihanannya yang tahan terhadap insulasi termal mampu menghemat penggunaan energi alat pendingin udara, serta massa jenisnya yang lebih ringan sehingga dapat mengurangi

konsumsi agregat dan semen. Gambar 1 memperlihatkan partisi beton busa.

Tidak seperti beton pada umumnya, beton busa dapat berupa pasta semen atau mortar yang diklasifikasikan sebagai beton ruang, dengan penambahan *foam agent* dengan kadar yang tepat dapat menginjeksi udara berupa gelembung kecil masuk kedalam beton sehingga membuat massa jenis beton berkurang. Beton busa bersifat *self-compactibility* karena memiliki daya alir tinggi yang dapat memudahkan dalam pekerjaan pengecoran sehingga tidak memerlukan pemadatan atau getaran karena dapat mempengaruhi kepadatan desain beton busa.

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, 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 :

“KINERJA BETON BUSA DARI CAMPURAN SEMEN DAN SERAT *POLIOLEFIN*”

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perilaku mekanis (kuat tekan, modulus elastisitas, dan poisson rasio) beton busa yang menggunakan serat *Macro Synthetic*.
2. Bagaimana perilaku retak beton busa yang menggunakan serat *Macro Synthetic*.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Menganalisa perilaku mekanis (kuat tekan, modulus elastisitas, dan poisson rasio) beton busa yang menggunakan serat *Macro Synthetic*.

2. Menganalisa perilaku retak beton busa yang menggunakan serat Macro Synthtic.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Untuk pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang teknologi bahan untuk mengetahui karakteristik kuat tekan, modulus elastisitas, dan poisson rasio beton busa yang menggunakan serat Macro Synthetic.
2. Berkontribusi dalam peningkatan efisiensi pada proyek-proyek konstruksi di Indonesia.

E. Batasan Masalah

Agar penelitian ini berjalan dengan baik dan sesuai dengan rencana, maka penelitian ini diberikan batasan masalah yaitu :

1. Semen yang digunakan adalah tipe PCC.
2. Pasir yang digunakan adalah pasir silika dari sungai Jene'berang, Sulawesi Selatan, Indonesia.
3. *Foam Agent* yang digunakan adalah *Sika Poro*.
4. *Superplasticizer* yang digunakan adalah *Tipe F (formal dehide)*.
5. Serat yang digunakan adalah Serat Macro Synthetic yang merupakan bahan additive dan bukan sebagai bahan substitusi agregat.
6. Pengujian kuat tekan, modulus elastisitas dan poisson ratio menggunakan silinder ukuran 10 x 20 cm yang dilakukan pada umur 7 dan 28 hari.

7. Proses *curing* dengan kondisi suhu ruangan atau curing udara hingga pada umur pengujian tiba.

F. Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil dan Pembahasan, serta Simpulan dan Saran. Berikut ini merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dan isi dari kelima bab tersebut yang telah dikemukakan di atas:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menyajikan hal-hal mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan yang berisi tentang gambaran secara garis besar mengenai hal-hal yang dibahas dalam bab-bab berikutnya. Selain itu dalam Bab ini menjelaskan secara lengkap mengenai maksud dan arah penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang digunakan sebagai landasan atau acuan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tempat dan waktu penelitian, persiapan alat dan bahan, cara penelitian serta uraian tentang pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini merupakan pembahasan dari hasil-hasil pengujian karakteristik material, densitas benda uji, kuat tekan benda uji, hubungan tegangan regangan benda uji, dan pola keruntuhan benda uji.

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat simpulan mengenai analisis hasil yang diperoleh saat penelitian yang disertai dengan saran-saran yang diusulkan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu Tentang Beton Busa (Foam Concrete)

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.

Purnama Gunawan (2015), Menjelaskan bahwa pengaruh penambahan serat polypropilene pada beton ringan dengan teknologi gas terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas adalah peningkatan maksimum kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas berturut-turut sebesar 48,18% pada kadar serat 0,75%; 48,44% pada kadar serat 0,75%; dan 59,47% pada kadar serat 0,75% dibandingkan dengan beton ringan gas tanpa serat polypropilene.

Menurut Neville dan Brooks (2010), ukuran gelembung udara (busa) dalam beton busa sangat kecil kira-kira 0,1~1,0 mm dan tersebar merata menjadikan sifat beton lebih baik untuk campuran beton adalah bahan berbasis protein hydrolyzed dalam adukan beton. Ada 2 metode dasar yang dapat ditempuh untuk menghasilkan gelembung gas/udara dalam beton busa atau membuat membuat beton ber-aerasi yaitu :

- a. *Gas concrete*, dibuat dengan memasukkan suatu reaksi kimia dalam bentuk gas/udara ke dalam mortar basah, sehingga ketika bercampur menghasilkan gelembung-gelembung gas/udara dalam jumlah yang

banyak. Cara yang sering digunakan adalah dengan menambahkan bubuk aluminium kira-kira 0,2% dari berat semen ke dalam campuran.

- b. *Foamed concrete*, dibuat dengan menambahkan foaming agent ke dalam campuran. Foaming agent merupakan salah satu bahan pembuat busa yang biasanya berasal dari bahan berbasis protein hydrolyzed atau resin sabun. Fungsi dari *foam agent* adalah untuk menstabilkan gelembung udara selama pencampuran dengan cepat. Bahan pembentuk foam agent dapat berupa bahan alami dan buatan. Foam agent dengan bahan alami berupa protein memiliki kepadatan 80 gram/liter, sedangkan bahan buatan berupa synthetic memiliki kepadatan 40 gram/liter.

Menurut Bombatkar, S. dkk. (2017), beton busa memiliki karakteristik yaitu :

- a. Isolator panas yang baik. Beton busa adalah sejenis penahan panas dan bahan insulasi yang sering digunakan pada pekerjaan dinding dan atap, dan memiliki efisiensi penghematan energi yang tinggi. Interiornya memiliki banyak pori-pori seragam yang mengontrol sebagian besar udara dan dapat mencegah dari pertukaran panas dan dingin. Konduktivitas termal dari beton busa yang biasa digunakan adalah sekitar 7 kali lebih kecil dari pada bata tanah liat dan 14 kali lebih sedikit dari beton semen biasa.
- b. Tahan api dan isolator suara yang baik. Beton busa terutama terdiri dari pasta semen, agregat, karakteristik bahan anorganik lainnya dari

pembakaran spontan dan pori-pori yang tersebar, sehingga memiliki ketahanan api yang baik. Pada saat yang sama, karena keberadaan banyak pori-pori tertutup, beton busa memiliki kinerja sebagai insulasi suara yang baik.

- c. Memiliki performa seismik yang baik. Beton busa, dengan density yang kecil dan modulus elastis kecil, merupakan bahan struktur berpori yang banyak mengandung gelembung tertutup. Beton busa adalah bahan bangunan dengan kinerja seismik yang sangat baik ketika mengalami aksi gelombang gempa, yang dapat meredakan dan menyerap beban dampak yang timbul.

B. 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/m³ (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. Beton Busa (Foam Concrete)

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 melampui berat isi maksimum beton 1850 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 kg/m^3 - 800 kg/m^3 dan berkekuatan tekan berkisar $0,69$ - $6,89 \text{ MPa}$, 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^3 - 1440 kg/m^3 , 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 $6,89$ - $17,24 \text{ MPa}$.
- Beton Struktural (Structural Concrete)
Beton ringan dengan berat (density) antara 1440 kg/m^3 - 1850 kg/m^3 yang dapat dipakai sebagai beton struktural jika bersifat mekanik (kuat tekan) dapat memenuhi syarat pada umur 28 hari mempunyai kuat tekan berkisar $> 17,24 \text{ MPa}$ 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. Material Penyusun Beton Busa

D.1 Semen

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/ft³. Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silika (SiO₂) – dari lempung,
3. Alumina (Al₂O₃) – 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).

Menurut SNI 15-7064-2004, semen Portland komposit terbuat dari bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak (klinker) semen Portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan

anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari massa semen portland komposit. Adapun sifat fisika semen Portland komposit berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 15-7064-2004) seperti pada Tabel 1.

Biro penelitian teknik PT. Semen Tonasa (2012), menyatakan semen Tipe *Portland Composite Cement* (PCC) merupakan jenis semen varian baru yang mempunyai karakteristik mirip dengan semen OPC pada umumnya, tetapi semen jenis ini mempunyai kualitas yang lebih baik, ramah lingkungan dan mempunyai harga yang lebih ekonomis. Komposisi bahan baku semen PCC adalah klinker, gipsum dan zat tambahan (*additive*). Semen PCC lebih ramah lingkungan karena menggunakan bahan limbah sebagai bahan pembuat semen PCC seperti abu terbang.

Tabel 1. Sifat fisika semen Portland komposit (SNI 15-7064-2004)

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1	Kehalusan dengan alat blaine	M ² /kg	Min. 280
2	Kekekalan bentuk dengan autoclave : 1. Pemuaian 2. Penyusutan	% %	Maks. 0,80 Maks. 0,20
3	Waktu pengikatan dengan alat vicat : 1. Pengikatan awal 2. Pengikatan akhir	Menit Menit	Min. 45 Min. 375
4	Kuat tekan : 1. Umur 3 hari	kg/cm ²	Min. 125

	2. Umur 7 hari	kg/cm ²	Min. 200
	3. Umur 28 hari	kg/cm ²	Min. 250
5	Pengikatan semu 1. penetrasi akhir	%	Min. 50
6	Kandungan udara dalam mortar	% volume	Maks. 12

Bahan aditif yang digunakan yaitu batu kapur (*lime stone*), abu terbang (*fly ash*) dan *trass*. PCC menggunakan tambahan zat aditif *fly ash* dan *trass* dimana terdapat senyawa SiO₂ yang dapat meningkatkan kuat tekan. PCC ditambahkan juga *lime stone* yang berfungsi meningkatkan kuat tekan pada kuat tekan. Hal ini terjadi karena *lime stone* mempunyai bentuk fisik yang halus, sehingga dengan nilai kehalusan tersebut, *lime stone* dapat menutup rongga-rongga yang terdapat dalam semen sehingga bisa meningkatkan kuat tekan.

D.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.

D.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).

D.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.

D.5 Serat *Macro Synthetic*

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).



Gambar 2. Serat Polyolefin Polymer based Fiber

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).

Tabel 2. Sifat fisik serat Polyolefin Polymer based Fiber

Karakteristik	Nilai
Massa Jenis	0,92 g/cm ³
Panjang	48 mm
Lebar rata-rata	1,37 mm
Ketebalan rata-rata	0,34 mm
Titik Lebur	170 ⁰ C
Penyerapan air	Nil
Daya tarik	550 MPa

E. 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.

E.1. Slump

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).

E.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 :

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

D = Densitas beton (kg/m³)

M_c = Massa wadah ukur yang diisi beton (kg)

M_m = Massa wadah ukur (kg)

V_c = Volume wadah ukur (m³)

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

$$D = \frac{M}{V} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

D = Densitas beton dalam kondisi bebas udara (kg/m³)

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

V = Volume absolut total dari komponen material dalam campuran (m³)

E.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/mm²) sampai 6000 psi (41.368 N/mm²), dan beton komersial dengan agregat biasa, kekuatannya sekitar 2.068 N/mm² sampai 68.947 N/mm². Kekuatan tekan f'_c ditentukan dengan silinder standar (berukuran 100 mm x 200 mm) 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.

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

f'_c = Kuat tekan beton (N/mm²)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima beban (mm²)

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.

E.4. Ketepatan

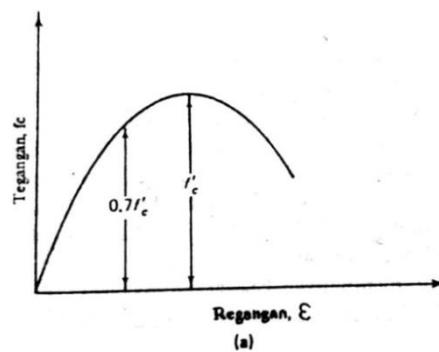
Berdasarkan SNI 1974:2011 ketepatan operator tunggal dari pengujian silinder dilihat dari nilai koefisien variasi. Nilai yang dapat diterima sebagai berikut :

Tabel 3. Rentang koefisien variasi yang dapat diterima

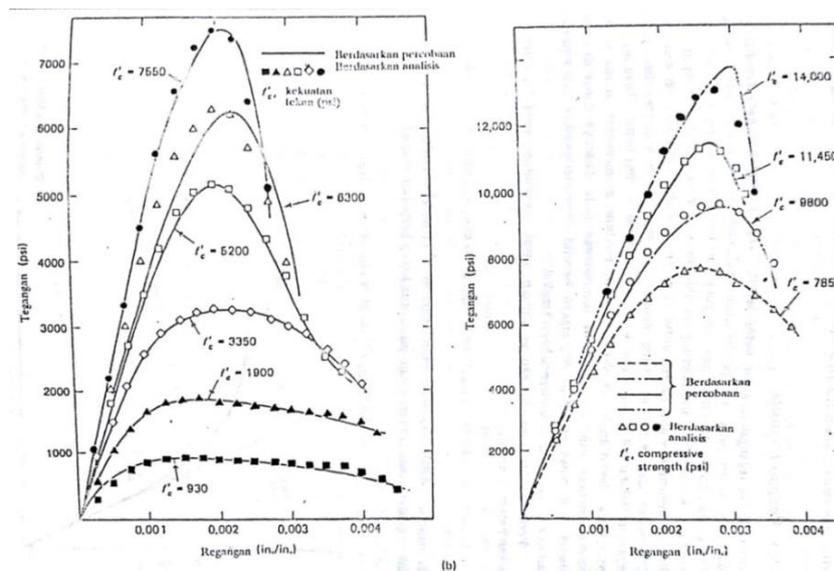
Operator tunggal	Koefisien variasi	Rentang yang dapat diterima	
		2 Hasil	3 Hasil
Kondisi laboratorium	2,37%	6,6%	7,8%
Kondisi Lapangan	2,87%	8,0%	9,5%

E.5. Kurva Tegangan-Regangan

Hubungan tegangan regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan-persamaan analisis dan desain juga prosedur-prosedur pada struktur beton. Gambar 3. memperlihatkan kurva tegangan regangan tipikal yang diperoleh dari percobaan dengan menggunakan benda uji silinder beton dan dibebani tekan uniaksial selama beberapa menit.



Gambar 3. Kurva tegangan-regangan tipikal beton (Nawy, E. G. 1998).



Gambar 4. 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 4. 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).

E.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:

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_l - 0.00005} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

E_c = Modulus Elastisitas, (N/mm²),

S_2 = Tegangan 40% dari beban ultimit (N/mm²),

S_1 = Tegangan searah regangan 0,000005 (N/mm²) and

ϵ_l = Regangan longitudinal pada tegangan S_2 .

E.7. Poisson Ratio

Ketika sebuah gaya satu arah diberikan kepada material tersebut sehingga menghasilkan regangan dan membuat material tersebut mengalami displacement, regangan lateral dan aksial di ukur menggunakan 3 LVDT [11] arah horizontal dan di letakkan pada posisi tengah benda uji pembacaan displacement dan perhitungan poisson ratio dilakukan dengan menggunakan alat LVDT sebanyak 3 buah dengan rumus sebagai berikut (2)(3)

$$\epsilon_l = \frac{\frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{3}}{D} \dots\dots\dots (5)$$

$$\nu = \frac{\epsilon_{l2} - \epsilon_{l1}}{\epsilon_l - 0.00005} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

ϵ_l = longitudinal strain produced by stress S_2

δ_1 = pembacaan displacement LVDT₁

δ_2 = pembacaan displacement LVDT₂

δ_3 = pembacaan displacement LVDT₃

D = Diameter benda Uji

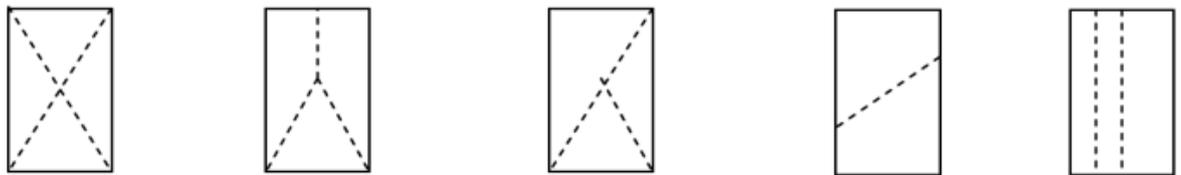
ν = poisson ratio

ε_{11} = lateral strain at the stress level S_1

ε_{12} = lateral strain at the stress level S_2

E.8. Pola Retak dan Kehancuran

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



Gambar 5. 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).