

SKRIPSI

**STUDI KARAKTERISTIK BETON VARIASI PANJANG
HUMAN HAIR FIBER (HHF) SEBAGAI SUBTITUSI SEMEN**

Disusun dan diajukan oleh:

**GREGORIUS AGUNG
D011 20 1100**



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



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI KARAKTERISTIK BETON VARIASI PANJANG
HUMAN HAIR FIBER (HHF) SEBAGAI SUBSTITUSI
SEMEN**

Disusun dan diajukan oleh

GREGORIUS AGUNG

D011 20 1100

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 14 Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng.
NIP: 196207291987031001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST, MT
NIP: 197912262005011001

Ketua Program Studi,



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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Gregorius Agung

NIM : D011201100

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Studi Karakteristik Beton Variasi Panjang Human Hair Fiber (HHF) Sebagai Subtitusi Semen }

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

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

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

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

Gowa, 14 Agustus 2024

Yang Menyatakan

A handwritten signature in black ink is written over a 10,000 Indonesian postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAL TEMPEL' and '40EE6ALX368599092'. The signature is stylized and appears to read 'Gregorius Agung'.

Gregorius Agung



ABSTRAK

GREGORIUS AGUNG. STUDI KARAKTERISTIK BETON VARIASI PANJANG HUMAN HAIR FIBER (HHF) SEBAGAI SUBTITUSI SEMEN (dibimbing oleh Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng dan Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.)

Beton merupakan bahan bangunan yang sering dipakai dalam dunia konstruksi karena memiliki data tahan terhadap kekuatan tekan yang sangat kuat. Beton sering dijumpai baik dalam perumahan, gedung, jalan dan bangunan-bangunan lainnya. Beton memiliki kelemahan terhadap tegangan tarik maka dalam beberapa hal, campuran beton sering ditambahkan serat untuk menunjang kinerjanya. Beton serat inilah yang bertujuan untuk mengurangi kelemahan terhadap tegangan tarik. Salah satu serat yang dipakai adalah *Human Hair Fiber* yang berfokus pada substitusi semen. Dengan adanya penambahan HHF ini maka dapat mengatasi kelemahan beton terhadap tegangan tarik. Karena HHF memiliki panjang yang berbeda maka perlulah dipisah, dipilah, dan diseragamkan yang memiliki panjang yang sama. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi panjang HHF dengan berfokus pada substitusi semen dengan variasinya 0 mm, 20 mm, 40 mm, dan 60 mm untuk mengetahui nilai kekuatan tekan, modulus elastisitas, kekuatan tarik belah dan kekuatan lentur beton. Secara keseluruhan, penelitian ini menggunakan 36 benda uji yang berupa silinder berukuran 100 mm x 200 mm dan balok 100 mm x 100 mm x 400 mm yang akan dilakukan curing dengan suhu ruang $\pm 25^{\circ}\text{C}$ selama 28 hari. Dan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa beton HHF dengan variasi panjang 20 mm ini memiliki nilai kekuatan tekan, modulus elastisitas, kekuatan tarik belah dan kekuatan lentur yang paling bagus dibandingkan dengan variasi panjang 40 mm dan 60 mm.

Kata Kunci: Beton, Semen, *Human Hair Fiber*, Panjang



ABSTRACT

GREGORIUS AGUNG. *STUDY OF CONCRETE CHARACTERISTICS OF VARIATIONS IN LENGTH OF HUMAN HAIR FIBER (HHF) AS A CEMENT SUBSTITUTION* (supervised by Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng dan Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.)

Concrete is a building material that is often used in the world of construction because it has data that is resistant to very strong compressive strength. Concrete is often found in housing, buildings, roads and other structures. Concrete has a weakness in tensile stress, so in some cases, fiber is often added to the concrete mixture to support its performance. This fiber concrete aims to reduce weakness against tensile stress. One of the fibers used is Human Hair Fiber which focuses on cement substitution. With the addition of HHF, it can overcome concrete's weakness in tensile stress. Because HHF has different lengths, it is necessary to separate, sort and standardize those that have the same length. The aim of this research is to determine the effect of variations in HHF length by focusing on cement substitution with variations of 0 mm, 20 mm, 40 mm and 60 mm to determine the values of compressive strength, modulus of elasticity, splitting tensile strength and flexural strength of concrete. Overall, this research uses 36 test objects in the form of cylinders measuring 100 mm x 200 mm and blocks 100 mm x 100 mm x 400 mm which will be cured at a room temperature of $\pm 25^{\circ}\text{C}$ for 28 days. And the results of this research show that HHF concrete with a length variation of 20 mm has the best values of compressive strength, modulus of elasticity, splitting tensile strength and flexural strength compared to variations in lengths of 40 mm and 60 mm.

Keywords: Concrete, Cement, *Human Hair Fiber*, Lengths



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Beton	7
2.3 Material Pembentuk Beton.....	8
2.3.1 Semen.....	8
2.3.2 Air	10
2.3.3 Agregat	11
2.3.4 Agregat Kasar	13
2.3.5 Agregat Halus	14
2.4 Pengujian Karakteristik Beton	16
2.4.1 Kekuatan Tekan	17
2.4.2 Kekuatan Tarik Belah	18
2.4.3 Kekuatan Lentur.....	19
2.4.4 Modulus Elastisitas	20
2.5 Human Hair Fiber	22
2.6 <i>Scanning Electron Microscpe (SEM)</i>	23
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN.....	24
3.1 Bagan Alir Penelitian	24
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	25
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	26
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	26
3.4.1 Peralatan Penelitian	26
3.4.2 Material Penelitian.....	27
3.3 Pemeriksaan Karakteristik Material	28
3.4.1 Agregat Kasar	28
3.4.2 Agregat Halus	29
3.4.3 Kekuatan Benda Uji.....	29
3.4.4 Perawatan HHF dengan Perendaman NaOH 5%.....	29
3.4.5 Pembuatan Benda Uji Beton HHF.....	31



3.2 Perawatan Benda Uji.....	35
3.3 Pengujian Benda Uji	36
3.8.1 Kekuatan Tekan Beton	36
3.8.2 Kekuatan Tarik Belah	37
3.8.3 Kekuatan Lentur	39
3.8.4 Modulus Elastisitas	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Karakteristik Agregat	41
4.2 Kadar Air HMF.....	42
4.3 Rancangan Campuran Beton dan Berat Isi Beton.....	43
4.4 Kekuatan Tekan Beton (f'_c).....	44
4.5 Kekuatan Tarik Belah Beton (f_t)	50
4.6 Kekuatan Lentur Beton (f'_r).....	52
4.7 Hubungan Kekuatan Tekan dengan Kekuatan Tarik Belah Beton	54
4.8 Modulus Elastisitas Beton.....	56
4.9 Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	58
4.10 Pola Retak	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kekuatan Tekan dengan Variasi Mix 1:2:4 dan 1:1.5:3.....	4
Gambar 2. Kekuatan Tarik Belah dengan Variasi mix 1:2:4 dan 1:1.5:3	5
Gambar 3. Kekuatan Lentur dengan Variasi mix 1:2:4 dan 1:1.5:3	5
Gambar 4. Agregat Kasar.....	14
Gambar 5. Agregat Halus.....	16
Gambar 6. Sketsa Gambar Tipe/Bentuk Kehancuran Benda Uji	18
Gambar 7. Grafik Hubungan Tegangan Regangan	21
Gambar 8. Bagan Alir Penelitian	25
Gambar 9. Peta Lokasi Penelitian	26
Gambar 10. Bahan-bahan Dalam Penelitian	28
Gambar 11. Proses Pemilahan HHF.....	29
Gambar 12. Pencucian HHF	30
Gambar 13. Pernyiapan Material	31
Gambar 14. Pencampuran Agregat	32
Gambar 15. Penambahan Sisa Air	32
Gambar 16. Pengujian Slump	33
Gambar 17. Pemadatan Campuran Beton	34
Gambar 18. Pemadatan Campuran Beton	34
Gambar 19. Pengeluaran Benda Uji.....	35
Gambar 20. Perawatan Benda Uji.....	36
Gambar 21. Pengujian Kekuatan Tekan.....	36
Gambar 22. Pengujian Kekuatan Tarik Belah.....	38
Gambar 23. Pengujian Kekuatan Tarik Belah.....	39
Gambar 24. Gradasi butiran agregat halus	41
Gambar 25. Pengujian Kekuatan Tekan Beton	44
Gambar 26. Kekuatan Tekan Beton Berdasarkan HHF.....	46
Gambar 27. Hubungan Beban dan Perpindahan Beton Normal	47
Gambar 28. Hubungan Beban dan Perpindahan Variasi 20 mm	47
Gambar 29. Hubungan Beban dan Perpindahan Variasi 40 mm	48
Gambar 30. Hubungan Beban dan Perpindahan Variasi 60 mm	49
Gambar 31. Gabungan Hubungan Beban dan Perpindahan Keseluruhan Variasi	49
Gambar 32. <i>Set-up</i> Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton.....	50
Gambar 33. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton.....	50
Gambar 34. Pengujian Kekuatan Lentur Beton	53
Gambar 35. <i>Set-up</i> Pengujian Kekuatan Lentur Beton	53
Gambar 36. Perbandingan Modulus Elastisitas Eksperimental dan Teori.....	55
Gambar 37. Perbandingan Modulus Elastisitas Eksperimental dan Teori.....	57
Gambar 38. Mikrofoto SEM Sample 0mm HHF	58
Gambar 39. Mikrofoto SEM Sampel 20mm HHF	59
Gambar 40. Hasil Pola Retak HHF 0 mm-KT 1	60
Gambar 41. Hasil Pola Retak HHF 0 mm-KT 2	60
Gambar 42. Hasil Pola Retak HHF 0 mm-KT 3	61
Gambar 43. Hasil Pola Retak HHF 20 mm-KT 1	61
Gambar 44. Hasil Pola Retak HHF 20 mm-KT 2	61



Gambar 45. Hasil Pola Retak HHF 20 mm-KT 3	62
Gambar 46. Hasil Pola Retak HHF 40 mm-KT 1	62
Gambar 47. Hasil Pola Retak HHF 40 mm-KT 2	62
Gambar 48. Hasil Pola Retak HHF 40 mm-KT 3	63
Gambar 49. Hasil Pola Retak HHF 60 mm-KT 1	63
Gambar 50. Hasil Pola Retak HHF 60 mm-KT 2	63
Gambar 51. Hasil Pola Retak HHF 60 mm-KT 3	64

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Batasan Gradasi untuk Agregat Halus	15
Tabel 2. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus	16
Tabel 3. Sifat Mekanis dari Rambut (Wolfram, 2003)	23
Tabel 4. Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar	28
Tabel 5. Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus	29
Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	41
Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	42
Tabel 8. Nilai Kadar Air Berbagai Serat Alam	43
Tabel 9. Komposisi <i>Mix Design</i> Beton	44
Tabel 10. Kekuatan Tekan Beton	45
Tabel 11. Kekuatan Tarik Belah Beton	51
Tabel 12. Kekuatan Lentur Beton	52
Tabel 13. Persamaan Korelasi antara Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik Belah Beton	54
Tabel 14. Nilai Hubungan Kekuatan Tarik Belah Terhadap Kekuatan Tekan	55
Tabel 15. Modulus Elastisitas Beton	56



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$f'c$	Kekuatan tekan beton (MPa atau N/mm ²)
P	Gaya tekan aksial (N)
A	Luas penampang melintang benda uji (mm ²)
L	Panjang benda uji (mm)
D	Diameter benda uji (mm)
E_c	Modulus elastisitas (MPa atau mm ²)
S_2	Tegangan pada 40% tegangan runtuh (N/mm ²)
S_1	Tegangan pada saat regangan 0,00005 (N/mm ²)
W_c	Berat volume (kg/m ³)
X_i	Kekuatan tekan beton sampel ke-i
Y_i	Kekuatan tarik belah beton sampel ke-i
a	Faktor korelasi antara kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah
UTM	<i>Universal testing machine</i>
mm	Milimeter
kg	Kilogram
A	Luas penampang benda uji (mm ²)
P	Beban tekan (N)
HHF	<i>Human Hair Fiber</i>



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Persiapan Material.....	72
Lampiran 2 Dokumentasi Pembuatan Benda Uji.....	73
Lampiran 3 Perawatan Benda Uji	74
Lampiran 4 Dokumentasi Pengujian Benda Uji.....	75
Lampiran 5 Tabel Modulus Elastisitas Beton	76



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas Akhir yang berjudul “Studi Substitusi Pasir dengan Variasi Limbah Serbuk Kaca Terhadap Karakteristik Beton”, ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami beton.

Penulis menyadari sepenuhnya banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini. Penyusun Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari beberapa pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.,IPM., ASEAN.Eng. .**, 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 Dr. Eng. Bambang Bakri, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Bapak Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng.** selaku dosen pembimbing I.
5. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku dosen pembimbingan II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan tugas akhir ini dan selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
6. **Seluruh Bapak dan Ibu Dosen** Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas jasa dan ilmu yang telah diberikan kepada saya

selama semester satu hingga kini.



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 istimewa penulis persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu Ayahanda **Rapi Mallo** , dan Ibu **Desmiwati Rante Lino**, beserta kerabat yang kuanggap sebagai keluarga sendiri, yaitu Bapak **Roberth Albert** dan Ibu **Fransiska K.** atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spiritual maupun materi.
2. Saudari dan saudara tercinta **Bernadeth Karyadi, Ambrosius Sandy Agung, Benediktus Agung dan Stanly Kyanto Roberth** yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Seluruh **rekan-rekan di Laboratorium Riset Gempa dan Rekayasa Struktur**, yang senantiasa memberikan semangat dan memberi warna kebersamaan di Lab.
4. **Sheren, Nabe, Ardi, Syahrur, Miko, Dimas, Amar, Acel, dan Rivaldo** selaku partner penulis selama perkuliahan yang selalu membantu penulis, memberikan masukan dan saran serta motivasi.
5. Teman-teman **PB Djarum** yang terdiri dari **Marcel, Cakra, Krisna, Fauzi, Farhan, Faje, Afdal, Fanny dan Datri** yang selalu ada dari semester pertama menemani hingga saat ini,
6. Keluarga **KMKT-UH**, terkhusus Angkatan 2020 yang senantiasa memberikan dukungan dan doa dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Saudara-saudari **Entitas 2020**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2020 yang senantiasa memberikan warna yang begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Gowa, 14 Agustus 2024



Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah rambut merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari usaha tukang cukur maupun salon yang ada pada pemukiman warga setempat. Limbah ini begitu banyak dijumpai pada lingkungan sekitar, terutama di kota yang memiliki kepadatan penduduk tinggi. Karena begitu banyak limbah rambut ini, dapat berdampak positif maupun negatif. Tetapi kebanyakan para pemilik usaha hanya menumpuk limbah rambut pada tempat sampah dan berakhir pada tempat pembuangan akhir. Hal ini hanya akan berdampak negatif karena jaranganya pengolahan dari limbah rambut ini.

Oleh karena itu, dicari solusi yang efektif untuk mereduksi dampak negatif dari pembuangan limbah rambut ini. Salah satu solusinya adalah beton serat (*fiber reinforced concrete*). Beton serat didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar dan sejumlah kecil serat/*fiber*. Bahan serat tersebut dapat berupa seperti baja (*steel*), plastic (*polyroplene*), kaca (*glass*) dan karbon (ACI 544, 1982). Serat yang digunakan dapat terdiri dari berbagai jenis bahan antara lain kawat, plastik, limbah kain, bambu dan rambut.

Rambut merupakan limbah yang dapat digunakan kembali sebagai salah satu bahan substitusi campuran beton yang berfokus pada semen. Limbah rambut memiliki komposisi kimiawi sebesar 45,68% karbon, 27,9% oksigen, 6,6% hidrogen, 15,72% nitrogen dan 5,03% belerang (Sezgin, & Enis, 2018). Dengan presentase karbon yang tinggi tersebut maka limbah rambut dari manusia dapat digunakan sebagai fiber dalam beton serat.

Beton serat HHF (*human hair fiber*) telah lama di teliti oleh Bheel, Awoyera, Aluko, Mahro, Vilorina, & Sierra,(2020) yang berfokus pada limbah rambut sebagai substitusi semen dengan variasi 0%, 1%, 2% 3%, dan 4% yang memiliki panjang rambut 8-100 mm. Dalam penelitiannya disimpulkan bahwa kuat tekan optimum

kuat lentur dan kuat tarik belah optimum pada 2%. Dalam peneletian (Elahi, & Waqas, 2022) menggunakan variasi panjang rambut sekitar 20-



mm substitusi semen dengan variasi 0%, 1%, 2%, dan 3% dengan hasil kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur paling optimum pada 2%. Maka beton HHF yang berfokus substitusi semen ini menggunakan 2% dengan melakukan pendalaman pada pemisahan panjang 0 mm, 20 mm, 40 mm dan 60 mm.

Penggunaan limbah rambut manusia yang berfokus pada pemisahan panjang rambut sebagai substitusi semen ini dapat dikembangkan nantinya lagi untuk sistem infrastruktur yang berfokus pada penggunaan beton serat pada pembangunannya.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penting untuk dilakukan penelitian secara eksperimental yaitu **“STUDI KARAKTERISTIK BETON VARIASI PANJANG HUMAN HAIR FIBER (HHF) SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN”**

1.2 Rumusan Masalah

Untuk uraian pada latar belakang, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, dan kekuatan lentur beton dengan penggunaan HHF sebagai substitusi semen dengan variasi panjang 0 mm, 20 mm, 40 mm, dan 60 mm.
2. Hasil dari modulus elastisitas beton HHF dengan substitusi semen pada beton silinder

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis perilaku kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, dan kekuatan lentur beton dengan penggunaan HHF sebagai substitusi semen dengan variasi 0 mm, 20 mm, 40 mm dan 60 mm.
2. Menentukan modulus elastisitas beton rambut manusia dengan substitusi semen pada beton silinder.

1.4 Manfaat Penelitian



lalui penelitian ini diharapkan memberi sejumlah manfaat sebagai berikut:
HHF merupakan limbah dari tukang cukur yang terus mengalami peningkatan kuantitas karen jumlah populasi manusia yang meningkat

tiap tahunnya. Disaat yang sama penggunaa limbah alami ini, jarang terpake dan berdampak pada penumpukan sampah berskala yang terus berlanjut. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberi solusi berupa material HHF sebagai salah satu bahan substitusi semen dalam pemnbutana campuran beton pada pembangunan yang berfokus menggunakan beton serat.

2. Menjadi bahan referensi bagi peneliti selanjutnya dalam mengembangkan beton serat berbasis HHF sebagai substitusi semen.

1.5 Ruang Lingkup

Agar tujuan penelitian ini lebih terarah dan fokus, maka hal yang akan dicapai dan perlu membuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengujian terhadap HHF substitusi semen dengan variasi panjang 0 mm, 20 mm, 40 mm dan 60 mm.
2. Menggunakan H HF dengan presentase 2% terhadap semen.
3. Menggunakan NaOH dengan presesntase 5% untuk *treatment* rambut.
4. Semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cement*.
5. Pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, modulus elastisitas dan pola retak beton silinder ukuran 100 x 200 mm pada umur 28 hari sebanyak 24 sampel.
6. Pengujian kekuatan lentur beton dengan ukuran 100 x 100 x 400 mm pada umur 28 hari sebanyak 12 sampel.
7. Benda uji diberi beban aksial dengan beban merata seukuran penampang silinder menggunakan alat uji UTM (*Universal Testing Machine*) dengan kapasitas 1000 kN.
8. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin berdasarkan standar pengujian yang berlaku.

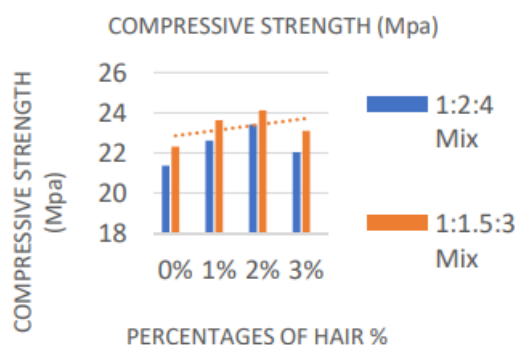


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Akbar, Umar, Hussain, Pan, & Ou,(2022) melakukan penelitian beton dengan menggunakan HHF sebagai substitusi semen dengan variasi 0%, 1%, 1,5%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dengan panjang HHF berkisar antara 30-40 mm dengan diameter 70 μ m. Dalam hasil penelitiannya diketahui bahwa pada kuat tekan maksimum pada variasi 2% dengan umur perendaman beton pada 7, 14, dan 28 hari didapatkan 13,72, 16,45 dan 20.04 MPa. Sedangkan kuat tarik belah maksimum pada variasi 2% dengan umur perendaman beton pada 7, 14, dan 28 hari didapatkan 1.4, 1.76, dan 2.44 MPa. Dan terakhir pada kuat lentur maksimum pada variasi 2% dengan umur perendaman beton pada 7, 14, dan 28 hari didapatkan 1,56, 1,96, dan 2,62 MPa.

Waqas & Ayub,(2022) dalam penelitian beton dengan campuran HHF terhadap semen menggunakan dua variasi mix yaitu 1:2:4 dan 1:1.5:3 yang memiliki panjang antara 20-60 mm dengan variasi presentase 0%, 1%, 2% dan 3%. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa pada kuat tekan maksimum pada 2% dengan perendaman 28 hari variasi mix 1:2:4 dan 1:1.5:3 yaitu 23,42 MPa dan 24,13 MPa. Pada gambar 1 merupakan grafik pendukung hasil penelitian kekuatan tekan.

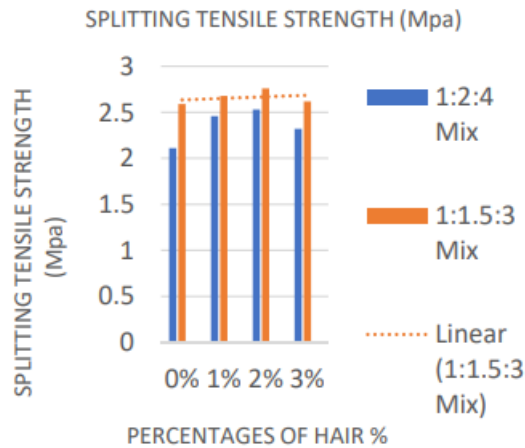


Gambar 1. Kekuatan Tekan dengan Variasi Mix 1:2:4 dan 1:1.5:3

Sumber : (Waqas & Ayub, 2022)



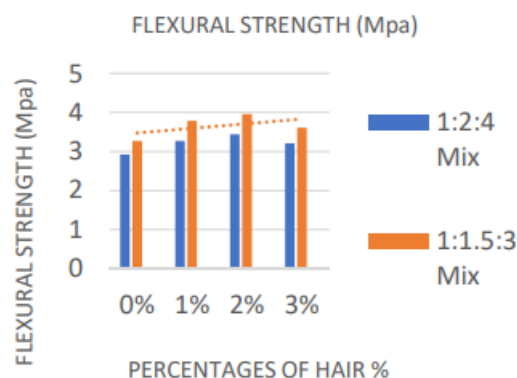
Hasil kekuatan tarik belah pada umur 28 hari dengan rasio mix 1:2:4 dan 1:1.5:3 maksimum pada variasi 2% didapatkan 2,53 MPa dan 2,76 MPa. Pada gambar 2 merupakan grafik pendukung hasil dari penelitian kekuatan tarik belah.



Gambar 2. Kekuatan Tarik Belah dengan Variasi mix 1:2:4 dan 1:1.5:3

Sumber : (Waqas & Ayub, 2022)

Terkahir hasil dari penelitian kekuatan lentur pada umur perendaman 28 hari dengan rasio mix 1:2:4 dan 1:1.5:3 yang maksimum pada 2% adalah 3,44 Mpa dan 3,96 MPa. Dan gambar 3 merupakan grafik pendukung hasil penelitian kekuatan lentur.



Gambar 3. Kekuatan Lentur dengan Variasi mix 1:2:4 dan 1:1.5:3

Sumber : (Waqas & Ayub, 2022)



Oveas & Singh,(2019) melakukan penelitian dengan mencoba mensubstitusi semen dalam campuran beton menggunakan human hair variasi 0%, 1%, 2%, dan 3%. Human hair yang digunakan di dalam penelitian ini memiliki panjang 50 – 60 mm. Hasil pengujian kekuatan tekan menunjukkan peningkatan kekuatan pada variasi 1% sebesar 8.82% dan pada variasi 2% sebesar 16.86%. Namun, pada variasi 3% kekuatan tekan beton mengalami penurunan sebesar 2.20% jika dibandingkan dengan variasi 0% sebagai beton kontrol. Untuk kekuatan tarik belah beton, tren yang sama ditunjukkan di mana hasil pengujian kekuatan tarik belah mengalami peningkatan sebesar 9.49% pada variasi 1% dan meningkat sebesar 29.75% pada variasi 2% sementara pada variasi 3% mengalami penurunan sebesar 3.16% jika dibandingkan dengan beton kontrol. Hasil pengujian kekuatan lentur juga menunjukkan tren yang sama di mana peningkatan terjadi pada variasi 1% sebesar 6.02% dan pada variasi 2% peningkatan terjadi sebesar 15.66% kemudian kekuatan lentur mengalami penurunan pada variasi 3% sebesar 3.16% sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi substitusi 2% human hair terhadap berat semen memberikan nilai optimum untuk semua jenis pengujian kekuatan mekanik beton.

Meghwar, Khaskheli, & Kumar,(2020) menggunakan panjang *human hair* 5-10 mm dengan variasi 0%,1%,2%, dan 3% terhadap berat semen. etelah dilakukan pengujian, ditemukan bahwa kekuatan tarik belah beton meningkat sebesar 14.87% pada variasi 1% dan meningkat sebesar 5.13% pada variasi 2%. Sementara itu, kekuatan tarik belah beton mengalami penurunan sebesar 3.59% pada variasi 3% jika dibandingkan dengan beton kontrol. Fluktuasi tren didapatkan pada pengujian kekuatan lentur beton di mana terjadi penurunan pada variasi 1% sebesar 24.07% kemudian terjadi peningkatan pada variasi 2% sebesar 7.41% kemudian terjadi penurunan lagi pada variasi 3% sebesar 10.29% jika dibandingkan dengan beton kontrol.



2.2 Beton

Menurut Muloyono,(2017) beton merupakan suatu material yang terdiri dari bahan penyusun fungsinya yaitu semen hidrolis, air, agregat, dengan atau tidak menggunakan bahan tambah lainnya. Beton dapat mengandung sejumlah rongga udara yang terperangkap atau dapat juga rongga udara yang sengaja dimasukkan melalui penambahan bahan tambahan. Bahan tambahan kimia sering digunakan untuk mempercepat, memperlambat, memperbaiki sifat kemudahan pengerjaan (*workability*), mengurangi air pencampur, menambah kekuatan, atau mengubah sifat-sifat lain dari beton yang dihasilkan.

Menurut Hidayat, Mahdi, & Rahayu,(2020) Beton merupakan konstruksi yang sangat penting dan paling dominan digunakan pada struktur bangunan. Bangunan di dirikan dengan menggunakan beton sebagai bahan konstruksi utama, baik bangunan gedung, bangunan air, bangunan sarana transportasi dan bangunan-bangunan yang lainnya. Beton juga memiliki keunggulan yaitu kebutuhan pemeliharaan yang minimal serta ketahanan (*durability*) beton cukup tinggi, lebih tahan karat sehingga tidak perlu dicat seperti struktur baja, dan lebih tahan terhadap bahaya kebakaran. Dalam beberapa kasus, campuran beton memerlukan bahan tambah untuk menunjang kinerjanya. Pemberian bahan tambah memiliki tujuan untuk mengubah satu atau lebih dari sifat beton dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Manfaat pemberian bahan tambah beton untuk mempercepat pengerasan, meningkatkan kinerja beton, menambah kuat tekan,menambah *daktalitas* (mengurangi sifat getas), dan mengurangi retak-retak.

Menurut Muloyono,(2017) secara umum kelebihan dan kekurangan beton dapat dilihat sebagai berikut :

1. Kelebihan beton antara lain :

- a. Bisa dengan mudah membentuknya sesuai dengan kebutuhan konstruksi,
- b. mampu memikul beban yang berat,
- c. tahan terhadap temperatur yang tinggi,
- d. biaya pemeliharaan yang kecil.



2. Kekurangan beton antara lain :

- a. Bentuk yang telah dibuat sulit untuk dirubah,
- b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi,
- c. Berat sendiri yang besar,
- d. Daya pantul suara yang besar

2.3 Material Pembentuk Beton

2.3.1 Semen

Menurut Amelia & Rosyad,(2020) Semen merupakan bahan perekat hidraulik yang didapatkan dengan cara menghaluskan klinker, dimana klinker ini terdapat dari bahan utama silikat-silikat kalsium dan bahan tambahan batu gypsum yang diamankan karena senyawa ini dapat bereaksi dengan air dan dapat membentuk zat baru bersifat perekat pada bebatuan. Semen dalam pengertian ini adalah bahan yang memiliki sifat *adhesive* dan *cohesive*, dipakai dengan bahan pengikat (bonding material), yang biasanya dicampurkan dengan batu kerikil dan pasir.

Berdasarkan (SNI 2049:2015), semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Adapun beberapa jenis semen yang umum digunakan sebagai berikut :

1. *Portland Composite Cement*

Menurut (SNI 2004:15-7064), merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6%-35% dari massa semen portland

posit.



2. *Ordinary Portland Cement (OPC)*

Adalah semen paling umum dalam penggunaan di seluruh dunia khususnya di negara Indonesia karena merupakan bahan dasar beton, dan plesteran semen.

Menurut (SNI 2049:2015), semen *portland/Ordinary Portland Cement (OPC)* dibedakan menjadi :

a. *Portland Cement Type I (Ordinary Portland Cement)*

Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain. Jenis ini paling banyak diproduksi karena digunakan hampir semua pada jenis konstruksi.

b. *Portland Cement Type II (Moderate sulfat resistance)*

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

c. *Portland Cement Type III (High Early Strength Portland Cement)*

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi. Kekuatan 28 hari umumnya dapat dicapai dalam 1 minggu. Semen jenis ini umum dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus dapat cepat dipakai.

d. *Portland Cement Type IV (Low Heat of Hydration)*

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah. Dipakai untuk kondisi di mana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan masif seperti bendungan gravitasi yang besar.

e. *Portland Cement Type V (Sulfat Resistance Cement)*

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Umumnya dipakai di daerah di mana tanah atau airnya memiliki kandungan sulfat tinggi.

Portland Pozzolan Cement

Menurut (SNI 0302:2014), suatu semen hidrolis terdiri dari campuran yang seimbang antara semen portland dengan pozzolan halus, diproduksi dengan



menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6% sampai dengan 40% massa semen portland pozolan.

2.3.2 Air

Fungsi air pada campuran beton adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya proses pengikatan serta sebagai pelicin antara campuran agregat dan semen agar mudah dikerjakan. Pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan. Air berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Selain itu kelebihan air akan mengakibatkan beton mengalami bleeding, yaitu air bersama-sama semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan beton antara lapis permukaan (akibat bleeding) dengan beton lapisan di bawahnya. Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, bila dihembuskan dengan udara tidak keruh dan lain-lain, tetapi tidak berarti air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum.. (Tjokrodinuljo, 2007).

Air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut (Muloyono, 2017) :

1. Harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
2. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton (asam-asam, zat organik dsb) lebih dari 15gram/liter.
4. Kandungan klorida (Cl) < 0,50gram/liter, dan senyawa sulfat < 1gram/liter sebagai SO₃.
5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang menggunakan

suling, maka penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.



6. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat diatas, air tidak boleh mengandung klorida lebih dari 0,05 gram/liter.

2.3.3 Agregat

Menurut Muloyono,(2017), Pemilihan agregat yang digunakan juga akan mempengaruhi sifat pengerjaan, butiran yang besar akan menyebabkan kesulitan, terutama akan menimbulkan segregasi. Jika ini terjadi kemungkinan akan terjadi rongga-rongga pada saat beton mengeras akan besar. Selain dua kreteria utama tersebut hal lain yang patut dipertimbangkan adalah keawetan (durability) dan permeabilitas beton sendiri. Dua karakteristik agregat yang akan berpengaruh penting pada penentuan proporsi campuran beton dan akan mempengaruhi pengerjaan beton segar, adalah: Gradasi (ukuran partikel dan distribusi) dan Sifat partikel (bentuk, porositas, tekstur permukaan).

Secara umum agregat dapat dibedakan dari ukuran bentuknya yang dapat dibedakan menjadi dua, yaitu, agregat kasar dan agregat halus. Batasan ukuran 4,80 mm, *British Standard* atau 4,75 mm, Standar (ACI 318-14). Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya lebih kecil dari 40 mm, untuk yang lebih besar dari 40 mm digunakan untuk pekerjaan sipil lainnya, misalnya untuk pekerjaan jalan, tanggul-tanggul penahan tanah, bronjong, atau bendungan, dan lainnya. Agregat halus biasanya dinamakan pasir dan agregat kasar dinamakan kerikil, split, batu pecah, kricak, dan lainnya (Mulyono, Teknologi Beton, 2015).

Jenis-jenis agregat dapat diklasifikasikan berdasarkan kriteria sebagai berikut (Mulyono, 2015).

1. Berdasarkan berat

Agregat normal dihasilkan dari pemecahan batuan dari quarry atau langsung dari sumber alam, mempunyai berat jenis rata-rata 2,5-2,7 atau tidak kurang dari 1,2 kg/dm³, biasanya berasal dari granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya. Beton yang di buat dengan agregat adalah beton normal, yaitu, beton yang mempunyai berat isi 2.200-2.500 kg/m³ . Agregat yang memiliki berat lebih

il dari agregat normal merupakan agregat ringan dan agregat yang lebih at dari agregat normal merupakan agregat berat.



2. Berdasarkan Bentuk

Bentuk agregat belum terdefinisikan secara jelas, sehingga sifat-sifat tersebut sulit diukur dengan baik. Sejumlah peneliti telah banyak membicarakan tentang hal ini, salah satunya Mather, yang menyatakan bahwa bentuk butir agregat ditentukan oleh dua sifat yang tidak saling tergantung yaitu kebulatan/ketajaman sudut (sifat yang tergantung pada ketajaman relatif) secara numerik dinyatakan dengan rasio antara jari-jari rata-rata dari sudut lengkung ujung atau sudut butir dari jari-jari maksimum lengkung salah satu ujung/sudutnya, dan yang kedua adalah sperikal yaitu rasio antara luas permukaan dengan volume butir. Klasifikasi agregat berdasarkan bentuk agregat dapat dibedakan menjadi, yaitu: agregat bulat; agregat bulat sebagian atau tidak teratur; agregat bersudut; agregat panjang; agregat pipih; dan agregat pipih dan panjang

3. Berdasarkan Tekstur Permukaan

Permukaan yang kasar akan mempunyai ikatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan permukaan agregat yang licin. Jenis lain dari permukaan agregat adalah mengkilap dan kusam. Umumnya agregat dibedakan menjadi kasar, agak kasar, licin, agak licin. Berdasarkan pemeriksaan visual, tekstur agregat dapat dibedakan menjadi sangat halus (*glassy*), halus, granular, kasar, berkilat (*crystalline*), berpori, dan berlubang-lubang. Secara numerik belum dipakai untuk menentukan definisi dari susunan permukaan agregat.

4. Berdasarkan Kekasaran Permukaan

Berdasarkan tingkat kekasaran permukaannya agregat dibagi menjadi lima yaitu: sangat kasar (*high roughness*), cukup kasar (*moderate roughness*), sedikit kasar (*low roughness*), halus (*smooth*) dan sangat halus (*polished*)

5. Berdasarkan Ukuran Butir Nominal

Dari ukuran agregat ini agregat dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu agregat kasar dan agregat halus yaitu: (1) Agregat halus ialah agregat yang semua butirnya menembus ayakan berlubang 4,8 mm atau 4,75 mm atau 5,0 mm, dan (2) Agregat kasar ialah agregat yang semua butirnya tertinggal di ayakan 4,8 mm atau 4,75 mm atau 5,0 mm.



6. Berdasarkan Gradasi

Gradasi agregat ialah distribusi dari ukuran agregat. Distribusi ini bervariasi dapat dibedakan menjadi tiga yaitu gradasi sela (*gap grade*), gradasi menerus (*continous grade*) dan gradasi seragam (*unifor grade*). Gradasi Menerus; jika agregat yang semua ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik. Gradasi Seragam; Agregat yang mempunyai ukuran yang sama didefinisikan sebagai agregat seragam.

2.3.4 Agregat Kasar

Agregat kasar harus dirancang sampai dengan ukuran terbesar secara praktis di bawah kondisi kerja tertentu. Ukuran maksimum yang dapat digunakan tergantung pada faktor-faktor seperti ukuran dan bentuk beton yang akan dibuat, jumlah dan distribusi tulangan baja pada beton, dan ketebalan pelat. Gradasi juga mempengaruhi sifat pengerjaan dan sifat pengecoran (*placeability*) beton. Terkadang agregat dengan ukuran sedang yang kurang dalam campuran, sekitar 9,5 mm (3/8), dapat menghasilkan beton dengan sifat penyusutan tinggi, membutuhkan air yang tinggi, dan sulit dalam pengerjaan serta penuangan (*placeability*). Daya Tahan mungkin juga akan terpengaruh. Berbagai opsi yang tersedia dibutuhkan untuk menghasilkan gradasi agregat yang optimal. Ukuran maksimum agregat kasar harus tidak melebihi seperlima dimensi terkecil antara sisi cetakan maupun tiga perempat jarak antara tulangan beton, tulangan bundel, atau tendon prategang atau saluran. Hal ini untuk membatasi ukuran agregat selain itu pelat beton tanpa tulangan di tanah, ukuran maksimum tidak boleh melebihi sepertiga ketebalan slab. Ukuran yang lebih kecil dapat digunakan ketika ketersediaan atau pertimbangan ekonomi dibutuhkan beton, (Mulyono, 2015). Agregat kasar yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini:





Gambar 4. Agregat Kasar

2.3.5 Agregat Halus

Agregat halus dalam campuran beton dapat menggunakan hitungan dengan metoda berdasarkan berat atau metoda berdasarkan volume absolut. Metoda berdasarkan berat apabila berat per satuan volume beton dapat dianggap atau diperkirakan dari pengalaman, maka berat agregat halus yang dibutuhkan adalah perbedaan dari berat beton segar dan berat total dari bahan-bahan lainnya. Umumnya, berat satuan dari beton telah diketahui dengan ketelitian cukup dari pengalaman sebelumnya yang memakai bahan-bahan yang sama. (Mulyono, 2015).

Adapun spesifikasi agregat halus yang disyaratkan dalam (ACI 318-14) sebagai berikut :

1. Susunan Butiran (Gradasi)

Gradasi (pembagian/distribusi butir, grading) ialah distribusi ukuran butiran agregat. Agregat diayak berurutan menurut ayakan standar, yang disusun mulai dari ayakan terbesar di bagian paling atas. Gradasi dinyatakan dalam suatu angka, yaitu modulus kehalusan (*Fine Modulus* – FM). Modulus kehalusan adalah suatu angka yang secara kasar menggambarkan rata-rata ukuran butir agregat. Modulus kehalusan yaitu berada diantara $2,3 < FM < 3,1$.

Selain itu batasan gradasi untuk agregat halus dapat dilihat dari Tabel 1 sebagai berikut :



Tabel 1. Batasan Gradasi untuk Agregat Halus

Ukuran Saringan ASTM	Persentase berat yang lolos pada tiap saringan
9.5 mm (3/8 in)	100
4.75 mm (No. 4)	95-100
2.36 mm (No. 8)	80-100
1.18 mm (No. 16)	50-85
0.600 mm (No. 30)	25-60
0.300 mm (No. 50)	5-30
0.150 mm (No. 100)	0-10

Sumber : (ACI 318-14)

Pada saat sebelum pencampuran agregat pentingnya untuk mengetahui kualitas dari agregat halus. Adapun syarat-syarat agregat halus menurut (ACI 318-14) adalah sebagai berikut :

1. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan No.200), tidak boleh melebihi 5% terhadap berat kering. Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat harus dicuci.
2. Agregat halus harus bersih dari zat organik yang akan merugikan beton, atau kadar organik jika diuji di laboratorium tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari standar percobaan Abrams Harder.
3. Agregat halus yang digunakan tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen.
4. Harus mempunyai variasi besar butiran (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 2,3 – 3,1. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zona yaitu zona I, II, III atau IV.

Berdasarkan (ASTM C 136-01), mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus menjadi empat daerah atau zona yaitu :zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus) dan zona IV (halus), batas-batas gradasi dapat dilihat tabel 2 sebagai berikut :



Tabel 2. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus

No saringan	Ukuran saringan (mm)	Persentase Berat yang lolos saringan (%)			
		Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
3/8"	9,6	100	100	100	100
No.4	4,8	90-100	90-100	90-100	90-100
No.8	2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
No.16	1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
No.30	0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
No.50	0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
No.100	0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : (ASTM C 136-01)

Gambar 5 adalah agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini :



Gambar 5. Agregat Halus

2.4 Pengujian Karakteristik Beton

Beton tidak saja heterogen, tetapi juga material yang anisotropis. Kekuatan bervariasi dengan alam dan arah dari tegangan terhadap bidang pengecorannya. Kekuatan tarik hanya sekitar 10-20% dari kekuatan tekan.

menurut Mulyono,(2015), ada berbagai alasan untuk melakukan pengujian
as :



1. Mencari hubungan antara sifat fisik dan mekanik dari material beton dan sifat elastis dari kekuatan beton keras.
2. Menentukan sifat mekanis dari beton.
3. Perlu dilakukan evaluasi terhadap konstanta fisik, misalnya modulus elastisitas.
4. Untuk mengetahui kontrol kualitas dari hasil pengujian.

2.4.1 Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan beton didefinisikan sebagai besarnya tekanan yang mampu ditahan oleh luasan permukaan beton sehingga beton tersebut hancur.

Menurut Muloyono,(2017), kekuatan tekan beton dinyatakan dalam *megapascal* (MPa). Kekuatan tekan beton dapat dihitung menurut (Suryani, Dewi, & Harmiyati, 2018) pada persamaan 1 sebagai berikut :

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

Dimana :

$f'c$ = Kekuatan tekan beton (N/mm²)

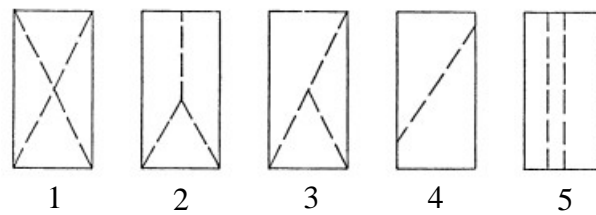
P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima beban (mm²)

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton, secara cepat kekuatan beton akan linier naiknya sampai umur 28 hari, setelah itu kenaikan kekuatan beton akan kecil. Laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja tekannya.

Adapun bentuk kehancuran benda uji setelah dilakukan uji kekuatan tekan beton sebagai pada gambar 6, berikut :





Gambar 6. Sketsa Gambar Tipe/Bentuk Kehancuran Benda Uji

Sumber : (Suryani, Dewi, & Harmiyati, 2018)

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)

Kekuatan tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur artinya, semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki maka akan dituntut mutu beton yang lebih baik. Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu kekuatan tekan rata-rata yang disyaratkan. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, beton yang telah dirancang campurannya harus di produksi sedemikian hingga memperkecil frekuensi terjadinya beton dengan kekuatan tekan yang lebih rendah dari kekuatan tekan rencana seperti yang telah disyaratkan, yaitu kriteria penerimaan beton tersebut harus sesuai dengan standar yang berlaku (Muloyono, 2017).

2.4.2 Kekuatan Tarik Belah

Kekuatan tarik belah beton dilakukan dengan pengujian *split cylinder* yang hasilnya mendekati kekuatan tarik yang sebenarnya. Metode yang sering digunakan dalam menentukan kekuatan tarik adalah tes pembelahan silinder. Dimensi benda uji yang sering digunakan untuk menentukan kekuatan tarik belah beton yaitu 100 mm x 200 mm, dimana benda uji akan diberikan beban merata searah sumbu dari panjang benda uji sampai dengan benda uji terbelah menjadi dua



Tujuan dari pengujian kekuatan tarik belah beton adalah untuk mengetahui daya ikatan antara semen dan agregat dari benda uji silinder yang umum diberikan sebagai kekuatan tarik belah beton f_{ct} yang nilainya menurut (ASTM C496/C 496M-04) dapat dihitung pada persamaan 2 sebagai berikut :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2)$$

Dimana :

f_{ct} = Kekuatan tarik belah (N/mm²)

P = Beban uji maksimum (beban belah/hancur)(N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)

2.4.3 Kekuatan Lentur

Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah, maka pada balok terjadi reformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat mengakibatkan keruntuhan elemen struktur. Pada saat beban luar mencapai taraf pembebanan demikian disebut keadaan batas keruntuhan karena lentur. Karena itu perencana harus mendisain penampang elemen pada balok sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban kerja, dan masih mempunyai keamanan yang cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan. Kekuatan elemen (penampang) yang mengalami lentur tergantung pada distribusi material pada penampang, juga jenis materialnya. Sebagai respon (reaksi) atas adanya lentur yang bekerja pada penampang struktur maka penampang akan memberikan gaya perlawanan (aksi) untuk mengimbangi gaya tarik dan tekan yang terjadi pada penampang. (Suryani, Dewi, & Harmiyati, 2018)

Kekuatan lentur dalam penelitian ini ditentukan dengan menggunakan benda uji untuk balok berukuran panjang 400 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 100 mm. Pengujian kekuatan lentur dilakukan dengan mengacu pada (SNI, 2154:2014), dan dihitung dengan persamaan 3, sebagai berikut:



$$f_r = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (3)$$

Dimana:

f_r = Kekuatan Lentur (N/mm^2)

P = Beban (N)

L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b = lebar tampang melintang benda uji (mm)

h = tinggi tampang melintang benda uji (mm)

2.4.4 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan tolak ukur sifat elastis beton, regangan yang terjadi selama pembebanan dianggap elastis, menggambarkan besarnya tegangan pada satu satuan regangan. Nilai modulus elastisitas beton dapat dihasilkan dari pengujian di laboratorium dengan menggunakan alat kompressometer. Pengujian modulus elastisitas beton berfungsi mengetahui kemampuan daya elastisitas beton dalam memikul beban besar dalam waktu yang cepat/tiba-tiba, dapat dilakukan bersamaan dengan pengujian kekuatan tekan, dimana besaran modulus elastisitas beton berdasarkan (ASTM C 469-02) diperoleh dengan persamaan 4 sebagai berikut :

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (4)$$

Dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (N/mm^2)

S_2 = Tegangan pada 40% dari tegangan ultimate (N/mm^2)

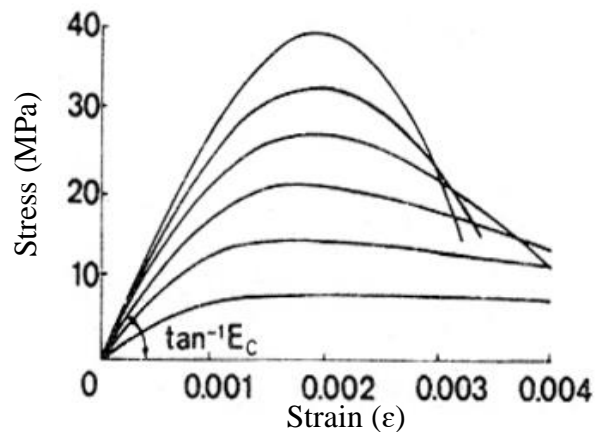
S_1 = Tegangan pada kondisi regangan ε_2 (N/mm^2)

ε_2 = Regangan pada kondisi S_2

Regangan dengan nilai 0,00005



Gambar 7 menunjukkan bentuk parabolik dari kurva atau diagram tegangan ($f'c$) – regangan (ϵ) untuk benda uji beton berbentuk silinder.



Gambar 7. Grafik Hubungan Tegangan Regangan

Sumber : (Siswanto & Salim, 2018)

Berdasarkan (Muloyono, 2017), modulus elastisitas didefinisikan sebagai kemiringan garis yang digambar dari tegangan nol hingga tegangan tekan sebesar $0,45f'_c$. Modulus elastisitas beton (E_c) dapat dihitung jika nilai w_c di antara 1400 dan 2560 kg/m^3 pada persamaan 5 sebagai berikut :

$$E_c = w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c} \quad (5)$$

Dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (N/mm^2)

f'_c = Kekuatan Tekan Beton (N/mm^2)

w_c = Berat Satuan Beton (kg/m^3)



Sedangkan, untuk beton normal (E_c) dapat dihitung pada persamaan 6 sebagai berikut :

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (6)$$

Dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (N/mm²)

f'_c = Kekuatan Tekan Beton (N/mm²)

2.5 Human Hair Fiber

Menurut (Sezign & Enis, 2018) rambut manusia terdiri dari tiga struktur utama yang disebut kutikula, korteks dan medula. Kutikula adalah bagian terluar helai rambut sedangkan korteks merupakan bagian Tengah menempati 75% dari total wilayah. Medulanya paling tipis bagian silinder sebagai lapisan terdalam rambut manusia. Komposisi umum rambut adalah 45,68% karbon, 27,9% oksigen, 6,6% hidrogen, 15,72% nitrogen, dan 5,03% sulfur. Selain struktur mikronya, struktur makro manusia rambut (diameter serat, panjang serat, penampang serat, dll.). Pengaruh besar pada sifat mekanik rambut manusia helai dan sifat geometris rambut ini mungkin berbeda-beda ke asalnya. Misalnya, rambut Eropa berbentuk oval, sedangkan rambut orang Asia berbentuk oval melingkar, rambut Afrika berbentuk elips dengan bentuk penampang. Umumnya, sehelai rambut mampu menahan beban sebanyak satu helai rambut 70g. Di sisi lain, helaian rambut memiliki daya tarik yang serupa kekuatan dengan kawat tembaga, jika kawat dan helai rambutnya memiliki diameter yang sama. Serat rambut menunjukkan sifat elastis yang baik baik dalam kondisi basah maupun kering kondisi. Adapun tegangan putus rambut yang bisa dilihat pada tabel 3:



Tabel 3. Sifat Mekanis dari Rambut (Wolfram, 2003)

Tipe Rambut	Tegangan Putus (MPa)	
	Keadaan Kering	Keadaan Basah
Kaukasia	178-188	155-165
Asia	185-190	158-165
Afrika	112-191	94-160

2.6 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan instrumen yang telah secara luas digunakan dalam mengobservasi material anorganik seperti logam dan komposit maupun material organik. SEM menggunakan elektron, dalam menghasilkan pencitraan.

Pengujian SEM dilakukan dengan tujuan untuk memvisualisasikan permukaan sampel material dengan resolusi tinggi. Keuntungan utama dari SEM adalah visualisasi resolusi tinggi yang memungkinkan pengamatan detail terhadap permukaan struktur dalam skala mikrometer hingga nanometer. Oleh karena itu, SEM sangat berguna dalam berbagai aplikasi seperti pada penelitian ilmu material. Informasi yang diperoleh dari SEM dapat digunakan untuk memahami struktur, morfologis, distribusi ukuran partikel, dan permukaan retakan sampel.

