

SKRIPSI

**PENGARUH PERENDAMAN *HUMAN HAIR FIBER* (HHF)
DENGAN VARIASI NATRIUM HIDROKSIDA SEBAGAI
SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK BETON**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUHAMMAD SYAHRUR RAMADHAN DAEROBI
D011 20 1031**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH PERENDAMAN *HUMAN HAIR FIBER* (HHF) DENGAN VARIASI NATRIUM HIDROKSIDA SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK BETON

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD SYAHRUR RAMADHAN DAEROBI
D011 20 1031

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 9 Oktober 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



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

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Muhammad Syahrur Ramadhan Daerobi

NIM : D011201031

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Pengaruh Perendaman *Human Hair Fiber* (HHF) Dengan Variasi Natrium Hidroksida Sebagai Substitusi Semen Terhadap Karakteristik Beton}

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 risiko.

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, 9 Oktober 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Syahrur Ramadhan Daerobi

ABSTRAK

MUHAMMAD SYAHRUR RAMADHAN DAEROBI. *PENGARUH PERENDAMAN HUMAN HAIR FIBER (HHF) DENGAN VARIASI NATRIUM HIDROKSIDA SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK BETON* (dibimbing oleh Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT. dan Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng.)

Beton merupakan bahan konstruksi yang kuat dan serbaguna, dibuat dari campuran semen, air, dan agregat. Namun, beton juga memiliki kelemahan. Salah satunya adalah rentan terhadap retak karena perubahan suhu, pembebanan berlebih, atau faktor lingkungan tertentu yang dapat berdampak pada integritas strukturalnya. Berbagai penelitian dan inovasi dilakukan untuk mengatasi kelemahan ini, salah satunya adalah dengan penambahan rambut manusia yang memiliki sifat kuat tarik tinggi pada campuran beton sebagai *reinforcement material*. Meskipun begitu, sifat rambut yang hidrofilik menyebabkan banyak grup *hydroxyl* bergabung dengan molekul air melalui ikatan hidrogen yang menyebabkan turunnya sifat mekanis dari bahan komposit. Untuk meningkatkan ikatan antara serat dan bahan dibutuhkan modifikasi terhadap permukaan rambut. Perendaman menggunakan alkali Natrium Hidroksida (NaOH) umum digunakan untuk memodifikasi struktur dari rambut, berfungsi untuk memecah grup *hydroxyl* (OH) serta struktur *crystalline* yang padat menjadi struktur jaringan amorf yang baru. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi perendaman *Human Hair Fiber* menggunakan alkali NaOH sebagai substitusi semen terhadap kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, modulus elastisitas beton dan kekuatan lentur beton. Secara garis besar, penelitian ini dilakukan dengan membuat 36 benda uji berupa silinder berukuran 100mm x 200mm serta balok berukuran 100 mm x 100 mm x 400 mm yang kemudian dilakukan curing dalam suhu ruang $\pm 25^{\circ}\text{C}$ selama 28 hari. Setelah itu dilakukan pengujian kekuatan tekan, tarik belah, dan lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton substitusi *HHF* variasi perendaman 5% NaOH memiliki nilai kekuatan tekan, tarik belah, nilai modulus elastisitas, dan nilai kekuatan lentur rata-rata beton tertinggi dibanding variasi perendaman NaOH 0% dan 10%.

Kata Kunci: Beton, *Reinforcement Material*, *Human Hair Fiber*, Natrium Hidroksida (NaOH), Substitusi

ABSTRACT

MUHAMMAD SYAHRUR RAMADHAN DAEROBI. THE EFFECTS OF TREATED HUMAN HAIR FIBER (HHF) WITH VARIATIONS OF SODIUM HYDROXIDE AS CEMENTS SUBSTITUTION ON CONCRETE CHARACTERISTICS (supervised by Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT. and Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng.)

Concrete is a strong and versatile construction material, made from a mixture of cement, water, and aggregate. However, concrete also has weaknesses. One of them is that it is susceptible to cracking due to temperature changes, excessive loading, or certain environmental factors that can affect its structural integrity. Various studies and innovations have been carried out to overcome this weakness, one of which is by adding human hair which has high tensile strength properties to the concrete mixture as a reinforcement material. However, the hydrophilic nature of hair causes many hydroxyl groups to combine with water molecules through hydrogen bonds which causes a decrease in the mechanical properties of the composite material. To improve the bond between the fiber and the material, modification of the hair surface is needed. Treatments using alkali Sodium Hydroxide (NaOH) is commonly used to modify the structure of hair, serves to break down the hydroxyl group (OH) and the solid crystalline structure into a new amorphous network structure. The purpose of this study was to determine the effect of variations in treatments of Human Hair Fiber using alkali NaOH as a cement substitute on the compressive strength, splitting tensile strength, modulus of elasticity of concrete and flexural strength of concrete. In general, this study was conducted by making 36 test objects in the form of cylinders measuring 100mm x 200mm and blocks measuring 100 mm x 100 mm x 400 mm which were then cured at room temperature $\pm 25^{\circ}c$ for 28 days. After that, compressive strength, splitting tensile, and flexural strength tests were carried out. The results of the study showed that HHF substitution concrete with a 5% NaOH treatment variation had the highest compressive strength, splitting tensile strength, modulus of elasticity, and average flexural strength values compared to 0% and 10% NaOH treatment variations.

Keywords: Concrete, Reinforcement Material, Human Hair Fiber, Sodium Hydroxide (NaOH), Substitution

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR ISTILAH DAN ARTI SIMBOL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
KATA PENGANTAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Beton	7
2.2.1 Teori Beton	7
2.2.2 Material Pembentuk Beton	9
2.2.3 Pengujian Karakteristik Beton	20
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	26
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data	27
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	27
3.4.1 Peralatan Penelitian	27
3.4.2 Material Penelitian	28

3.5	Pemeriksaan Karakteristik Material	29
3.5.1	Agregat Kasar	29
3.5.2	Agregat Halus	30
3.6	Pembuatan Benda Uji	30
3.7	Perawatan Benda Uji	34
3.8	Pengujian Kekuatan Tekan	35
3.9	Pengujian Kekuatan Tarik Belah	36
3.10	Pengujian Kekuatan Lentur	36
	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Material	38
4.1.1	Agregat Kasar	38
4.1.2	Agregat Halus	38
4.1.3	Kadar Air <i>Human Hair Fiber</i> (HHF)	39
4.2	Rancangan Campuran	40
4.3	Kekuatan Tekan Beton	40
4.4	Kekuatan Tarik Belah Beton (f_t)	45
4.5	Hubungan Kekuatan Tekan dengan Kekuatan Tarik Belah Beton	48
4.6	Modulus Elastisitas Beton	49
4.7	Kekuatan Lentur Beton	51
4.8	Analisis <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	54
4.9	Pola Retak	54
	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1	Kesimpulan	58
5.2	Saran	59
	DAFTAR PUSTAKA	60
	LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Limbah Rambut Manusia	17
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 3. Lokasi Penelitian	27
Gambar 4. Bahan Penelitian	29
Gambar 5. Proses Penyiapan Rambut	31
Gambar 6. Proses Penimbangan Pasir	32
Gambar 7. Proses Memasukkan HHF ke dalam Campuran	32
Gambar 8. Proses Penuangan Air ke dalam Campuran	33
Gambar 9. Proses Pengujian Slump	33
Gambar 10. Proses memasukkan Campuran ke dalam Mould	34
Gambar 11. Memasukkan Sampel ke dalam Bak Curing	34
Gambar 12. Proses Curing Benda Uji	35
Gambar 13. Set-up Alat Pengujian Kekuatan Tekan	35
Gambar 14. Set-up Alat Pengujian Kekuatan Tarik Belah	36
Gambar 15. Set-up Alat Pengujian Kekuatan Lentur	37
Gambar 16. Histogram Kekuatan Tekan Beton	42
Gambar 17. Grafik Beban-Perpindahan Variasi 0% NaOH.....	43
Gambar 18. Grafik Beban-Perpindahan Variasi 5% NaOH	44
Gambar 19. Grafik Beban-Perpindahan Variasi 10% NaOH	44
Gambar 20. Grafik Beban-Perpindahan Rata-Rata	45
Gambar 21. Histogram Kekuatan Tarik Belah Beton	47
Gambar 22. Perbandingan Koefisien Berbagai Peneliti	49
Gambar 23. Perbandingan Modulus Elastisitas Eksperimental dan Teori	51
Gambar 24. Histogram Kekuatan Lentur Beton	53
Gambar 25. Hasil SEM Beton Substitusi HHF 2%	54
Gambar 26. Hasil Pola Retak PA 0%-T1	55
Gambar 27. Hasil Pola Retak PA 0%-T2	55
Gambar 28. Hasil Pola Retak PA 0%-T3	55
Gambar 29. Hasil Pola Retak PA 5%-T1	56
Gambar 30. Hasil Pola Retak PA 5%-T2	56

Gambar 31. Hasil Pola Retak PA 5%-T3	56
Gambar 32. Hasil Pola Retak PA 10%-T1	57
Gambar 33. Hasil Pola Retak PA 10%-T2	57
Gambar 34. Hasil Pola Retak PA 10%-T3	57

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus	14
Tabel 2. Sifat Mekanis dari Rambut	18
Tabel 3. Sifat Mekanis HHF yang Direndam dan Tidak Direndam	20
Tabel 4. Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar	29
Tabel 5. Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus	30
Tabel 6. Variasi Benda Uji	30
Tabel 7. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	38
Tabel 8. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	39
Tabel 9. Nilai Kadar Air Berbagai Serat Alam	40
Tabel 10. Komposisi Mix Design Beton	40
Tabel 11. Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton	41
Tabel 12. Hasil Uji Kekuatan Tarik Belah Beton	46
Tabel 13. Koefisien Kekuatan Tarik Belah Terhadap Kekuatan Tekan	48
Tabel 14. Nilai Hubungan Kekuatan Tarik Belah Terhadap Kekuatan tekan	48
Tabel 15. Nilai Modulus Elastisitas Beton Variasi 0% NaOH	50
Tabel 16. Nilai Modulus Elastisitas Beton Variasi 5% NaOH	50
Tabel 17. Nilai Modulus Elastisitas Beton Variasi 10% NaOH	51
Tabel 18. Hasil Uji Kekuatan Lentur Beton	52

DAFTAR ISTILAH 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)
UTM	<i>Universal testing machine</i>
mm	Milimeter
kg	Kilogram
A	Luas penampang benda uji (mm ²)
P	Beban tekan (N)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Persiapan Material	63
Lampiran 2 Dokumentasi Pembuatan Benda Uji.....	64
Lampiran 3 Perawatan Benda Uji	65
Lampiran 4 Dokumentasi Pengujian Benda Uji.....	66
Lampiran 5 Tabel Modulus Elastisitas Beton	67

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, 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 “Pengaruh Perendaman *Human Hair Fiber* (HHF) Dengan Variasi Natrium Hidroksida Sebagai Substitusi Semen 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 Kepala Laboratorium Riset Gempa dan Rekayasa Struktur sekaligus dosen pembimbing II.
5. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku dosen pembimbingan I 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 sejak 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 teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu Ayahanda **Muhammad Daerobi**, dan Ibu **Aisyah Syamsuddin**, beserta seluruh keluarga, atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spiritual maupun materi.
2. Seluruh **rekan-rekan di Laboratorium Riset Gempa dan Rekayasa Struktur**, yang senantiasa memberikan semangat dan memberi warna kebersamaan di Lab.
3. Saudara **Muhammad Nurhidayat, Fitriah Ramadhani R, Rahmat Husain, dan Zulfahmi** yang telah menjadi sahabat dan menemani penulis melewati masa perkuliahan bersama-sama.
4. Teman-teman sirkel **Sarangheo** yang telah menemani dan menghibur penulis hingga saat ini.
5. Saudara-saudari **ENTITAS 2021**, 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, 9 Oktober 2024

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah bahan konstruksi yang sering digunakan dan merupakan material yang kuat dan serbaguna. Dibuat dari campuran semen, air, dan agregat, beton memiliki sifat-sifat mekanis yang membuatnya ideal untuk berbagai proyek konstruksi. Kekuatan tekan yang tinggi menjadikan beton pilihan utama untuk struktur bertingkat, jembatan, dan infrastruktur besar lainnya. Sifatnya yang tahan terhadap api dan lingkungan membuat beton cocok untuk berbagai kondisi cuaca dan situasi. Namun, beton juga memiliki kelemahan. Salah satu kelemahannya yang signifikan adalah rentan terhadap retak. Perubahan suhu, pembebanan berlebih, atau faktor lingkungan tertentu dapat menyebabkan retak pada struktur beton, yang kemudian dapat berdampak pada integritas strukturalnya. Oleh karena itu, penelitian dan inovasi terus dilakukan untuk mengatasi kelemahan ini, salah satunya adalah dengan penambahan serat pada campuran beton untuk menambah kuat tarik dari beton. Berbagai jenis serat dapat digunakan untuk menambah kuat tarik dari beton seperti serat baja, serat kaca, serat sintetis, serta serat alami. Salah satu jenis serat alami yang dapat digunakan adalah rambut manusia.

Rambut manusia merupakan sebuah bahan yang seringkali dianggap tidak bermanfaat di masyarakat sehingga hanya dibuang begitu saja di berbagai belahan dunia. Menurut Gupta (2014), rata-rata setiap individu dapat menghasilkan sekitar 100 gram limbah rambut per tahun. Oleh karena itu, diperkirakan bahwa jumlah limbah rambut di Indonesia dengan populasi sekitar 278,8 juta jiwa (BPS, 2023), mencapai sekitar 27,9 juta kilogram setiap tahun. Dampak negatif lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah rambut manusia mengakibatkan berbagai masalah, seperti penyumbatan pada sistem drainase, peningkatan konsentrasi nitrogen dalam badan air yang berasal dari lindi (cairan yang keluar dari sampah/limbah) yang berpotensi menyebabkan eutrofikasi, menjadi tempat berkembang biak bagi hama dan patogen, serta mengakibatkan gangguan pada sistem pernapasan karena debu yang terbawa oleh angin (Gupta, 2014).

Rambut manusia memiliki sifat kuat tarik yang tinggi yang membuatnya berpotensi untuk digunakan sebagai *reinforcement material*. Rambut manusia tersusun dari 45% karbon, 28% oksigen, 6,7% hidrogen, 15% nitrogen, dan 5,3% sulfur (Choudhry dan Pandey, 2012). Protein dalam rambut yang membentuk struktur α - helix memberikan peningkatan pada kekuatan struktural dan elastisitas dari rambut, *cortex* keratin juga membantu dalam memberikan kekuatan dan elastisitas pada rambut manusia karena rantai molekulnya yang panjang. Keratin tidak dapat larut dalam air sehingga tahan terhadap enzim-enzim *proteolytic*. Daya tahan rambut manusia terhadap degradasi yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan berasal dari hubungan antara molekul-molekul *cysteine* dan protein keratin yang membentuk ikatan kimia disulfida yang sangat kuat (Sezgin, H. dan Enis I. Y., 2018).

Meskipun begitu, sifat rambut yang hidrofilik menyebabkan banyak grup *hydroxyl* bergabung dengan molekul air melalui ikatan hidrogen. Daya serap air yang tinggi serta komabilitas yang kurang baik antara serat dan bahan menyebabkan kurangnya ikatan antara serat dan bahan. Akibatnya, ikatan antara serat dan bahan menjadi lemah yang menyebabkan turunnya sifat mekanis dari bahan komposit. Maka dari itu, untuk meningkatkan ikatan antara serat dan bahan dibutuhkan modifikasi terhadap permukaan rambut. Modifikasi terhadap permukaan rambut dengan cara kimiawi menghasilkan variasi terhadap sifat kuat tarik yang disebabkan oleh penghancuran unsur-unsur dari rambut atau mengecilnya dinding sel. Perendaman menggunakan alkali umum digunakan untuk memodifikasi struktur dari rambut. Natrium Hidroksida (NaOH) adalah alkali yang umum digunakan untuk memecah grup *hydroxyl* (OH) serta struktur *crystalline* yang padat menjadi struktur jaringan amorf yang baru. NaOH juga menghilangkan penyusun rambut tertentu seperti hemiselulosa, lignin, lilin, dan minyak yang dapat meningkatkan kekasaran permukaan dari rambut. Lebih jauh, perendaman menggunakan alkali meningkatkan luas permukaan dari rambut yang dapat meningkatkan kelekatan dan ikatan antara rambut dan bahan yang menyebabkan kekuatan yang lebih baik pada komposit (Kathiresan dan Meenakshisundaram, 2022).

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis melakukan penelitian dengan

judul **“PENGARUH PERENDAMAN *HUMAN HAIR FIBER* (HHF) DENGAN VARIASI NATRIUM HIDROKSIDA SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK BETON”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi perendaman *Human Hair Fiber* (HHF) menggunakan alkali NaOH sebagai substitusi semen terhadap kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, dan modulus elastisitas beton?
2. Bagaimana pengaruh variasi perendaman HHF menggunakan alkali NaOH sebagai substitusi semen terhadap kekuatan lentur beton?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis pengaruh variasi perendaman HHF menggunakan alkali NaOH sebagai substitusi semen terhadap kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, dan modulus elastisitas beton.
2. Menganalisis pengaruh variasi perendaman HHF menggunakan alkali NaOH sebagai substitusi semen terhadap kekuatan lentur beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi tentang pemanfaatan/penggunaan limbah rambut manusia sebagai substitusi semen dalam pembuatan beton.
2. Mengurangi dampak buruk limbah rambut manusia terhadap lingkungan.
3. Dapat memanfaatkan limbah-limbah yang tidak termanfaatkan dengan baik terutama pemanfaatan limbah rambut manusia sehingga dapat memberi nilai tambah tersendiri.

1.5 Ruang Lingkup

Mengingat luasnya cakupan permasalahan penelitian ini, maka perlu

dilakukan pembatasan agar fokus pada penyelesaian yang akan dibahas dalam penelitian ini:

1. Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin berdasarkan standar pengujian yang berlaku.
2. Limbah rambut berasal dari tempat pangkas rambut di sekitaran Makassar dan Gowa.
3. Penelitian menggunakan benda uji yang berupa silinder dengan ukuran 100 mm x 200 mm dan balok berukuran 100 mm x 100 mm x 400 mm.
4. Pengujian beton dilakukan pada umur 28 hari.
5. Semen yang digunakan adalah semen portland Tonasa
6. Pasir yang digunakan merupakan pasir yang berasal dari Sungai Jeneberang, Bili-Bili, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan
7. Kerikil yang digunakan merupakan pasir yang berasal dari Sungai Jeneberang, Bili-Bili, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan
8. Penelitian ini menggunakan HHF yang direndam dalam larutan alkali NaOH dengan variasi 0%, 5%, dan 10% selama 1 jam sebagai substitusi semen sebanyak 2% terhadap berat semen dengan panjang HHF sepanjang 20 mm.
9. Kekuatan tekan rencana adalah 25 MPa
10. Benda uji diberi beban aksial dengan beban merata seukuran penampang silinder menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* (UTM) dengan kapasitas 1000 kN.
11. Pembebanan dilakukan hingga benda uji mengalami hancur pada beban maksimum.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Waqas dan Elahi (2022) bertujuan menyelidiki secara eksperimental pengaruh penambahan *Human Hair Fiber* (HHF) pada sifat mekanis dari beton. Dari hasil penelitian tersebut, didapatkan bahwa terjadi peningkatan kuat tekan dengan peningkatan tertinggi pada penambahan HHF sebanyak 2% yaitu sebesar 9,59% pada perbandingan campuran 1:2:4 dan 8,15% pada perbandingan campuran 1:1,5:3, peningkatan lebih rendah terjadi pada persentase penambahan lainnya. Hal yang sama terjadi pula untuk modulus elastisitas di mana peningkatan tertinggi terjadi pada penambahan sebanyak 2% HHF. Kuat tarik belah juga mengalami peningkatan tertinggi pada penambahan sebanyak 2% yaitu sebesar 19,9% pada perbandingan campuran 1:2:4 dan 6,56% pada perbandingan campuran 1:1,5:3, peningkatan lebih rendah terjadi pada persentase penambahan lainnya. Kuat lentur mengalami peningkatan tertinggi pada penambahan sebanyak 2% yaitu sebesar 17,8% pada perbandingan campuran 1:2:4 dan 21,1% pada perbandingan campuran 1:1,5:3, peningkatan lebih rendah terjadi pada persentase penambahan lainnya.

Penelitian yang dilakukan oleh Bheel *et al.* (2020) bertujuan untuk menguji pengaruh HHF sebagai serat terhadap sifat fisik dan mekanik beton dengan konsentrasi HHF sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% terhadap berat semen. Hasil yang didapatkan adalah terjadinya peningkatan terhadap kuat tekan sebesar 8,15% pada penambahan HHF sebanyak 1% dan penurunan sebesar 19,33% pada penambahan sebanyak 4%. Peningkatan kuat tarik belah tertinggi terlihat pada penambahan HHF sebanyak 2% dengan peningkatan sebesar 21,83% dan penurunan sebesar 6,33% pada penambahan sebanyak 4%. Kuat lentur mengalami peningkatan sebesar 12,71% pada penambahan HHF sebanyak 2% dan penurunan sebesar 9,83% pada penambahan sebanyak 4%.

Penelitian yang dilakukan oleh Meghwar *et al.* (2020) bertujuan menyelidiki secara eksperimental perilaku sifat mekanis beton jika ditambahkan HHF sebagai serat sebanyak 1%, 2%, dan 3% terhadap berat semen. Hasil yang

didapatkan adalah terjadinya peningkatan kuat tarik belah sebesar 15% untuk rasio campuran 1:2:4 dan 4,2% untuk rasio campuran 1:1,5:3 dengan penambahan HHF sebanyak 1% dari berat semen dan terjadinya penurunan pada persentase lainnya. Kuat lentur juga mengalami kenaikan sebesar 7,4% untuk rasio campuran 1:2:4 dan 6% untuk rasio campuran 1:1,5:3 dengan penambahan HHF sebanyak 2% dari berat semen dan terjadinya penurunan pada persentase lainnya

Penelitian yang dilakukan oleh Yan *et al.* (2016) bertujuan menyelidiki secara eksperimental pengaruh perendaman alkali terhadap struktur mikro dan sifat mekanis dari sabut kelapa, *coir fibre reinforced-polymer composites (CRFE)* dan *coir fibre reinforced cementitious (CRFC)*. Sabut kelapa direndam menggunakan larutan NaOH 5% pada suhu 20°C selama 30 menit. Hasil yang didapatkan adalah, setelah dilakukan perendaman, sabut kelapa mempunyai permukaan yang lebih kasar, hal ini dapat meningkatkan ikatan antara komposit dan sabut kelapa. Kemudian jika CRFC yang menggunakan sabut kelapa yang telah direndam dibandingkan dengan CRFC yang menggunakan sabut kelapa yang tidak direndam, terjadi peningkatan pada kuat tekan sebesar 7,1% dan tegangan sebesar 70%, serta peningkatan terhadap kuat lentur sebesar 21,4%. Hal ini bisa disebabkan oleh meningkatnya ikatan antara sabut kelapa dan campuran semen.

Penelitian yang dilakukan oleh Kathiresan dan Meenakshisundaram (2022) bertujuan menyelidiki secara eksperimental pengaruh perendaman alkali pada serat alami dan rambut manusia terhadap kuat tariknya untuk penggunaan pada material komposit. Rambut manusia beserta serat alami lainnya direndam menggunakan larutan NaOH 5% selama 4 jam. Hasilnya adalah, serat dari kapuk mempunyai kuat tarik yang tertinggi yaitu sebesar 94-123 MPa. Jika dibandingkan dengan kapuk yang telah mengalami perendaman, HHF mempunyai kuat tarik yang lebih rendah sebesar 23-63%, dan sebesar 6-11% jika dibandingkan dengan serat flamboyan. Untuk menguji efek perendaman NaOH pada rambut manusia dengan lebih baik, dilakukan pengujian kembali dengan merendam rambut manusia dengan durasi 1, 2, 3, dan 4 jam. Hasilnya menunjukkan bahwa rambut manusia yang direndam pada larutan NaOH dengan durasi 1 jam mempunyai kuat tarik dan modulus Young yang paling tinggi jika dibandingkan dengan perendaman dengan durasi 2, 3, dan 4 jam. Rambut manusia yang direndam selama 1 jam memiliki kuat tarik 16-22% lebih

tinggi jika dibandingkan dengan yang tidak mengalami perendaman. Bahkan rambut manusia yang mengalami perendaman selama 3 jam masih mempunyai kuat tarik yang lebih baik dibandingkan serat kapuk, flamboyan, dan pinang. Rambut manusia yang direndam selama 4 jam terlihat mengalami penurunan kuat tarik yang signifikan diakibatkan oleh hancurnya struktur keratin karena hilangnya asam amino *cystine* pada *cortical cell*.

2.2 Beton

2.2.1 Teori Beton

Berdasarkan SNI 2847:2019 definisi beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Seiring bertambahnya usia beton, beton mengeras dan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) setelah umur 28 hari. Beton mempunyai kuat tekan yang baik, oleh karena itu beton banyak digunakan dalam pemilihan jenis konstruksi khususnya struktur bangunan, jembatan, dan jalan.

Sifat-sifat beton segar yaitu mudah diaduk, diangkut, dicor dan ditempatkan, dan diselesaikan tanpa menimbulkan pemisahan bahan susunan pada adukan dan mutu beton yang disyaratkan oleh konstruksi tetap dipenuhi. Sifat-sifat lain beton adalah:

1. *Durability* (keawetan), merupakan kemampuan beton bertahan seperti kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi dalam jangka waktu yang direncanakan. Dalam hal ini perlu pembatasan nilai faktor air semen maksimum maupun pembatasan dosis semen minimum yang digunakan sesuai dengan kondisi lingkungan.
2. Kuat Tekan, kuat tekan beton mengidentifikasi mutu sebuah struktur di mana semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kuat beton ditentukan berdasarkan pembebanan uniaksial benda uji silinder beton berdiameter 150 mm, tinggi 300 mm dengan satuan MPa (N/m²) untuk SNI 1974:2011. Benda uji silinder juga digunakan pada metode ACI sedangkan metode British benda uji yang

digunakan adalah kubus dengan sisi ukuran 150 mm. Benda uji dengan ukuran berbeda dapat juga dipakai tetapi perlu dikoreksi terhadap *size effect*.

3. Kuat tarik, kuat tarik beton jauh lebih kecil dari kuat tekannya, yaitu sekitar 10%-15% dari kuat tekannya. Kuat tarik beton merupakan sifat yang penting untuk memprediksi retak dan defleksi beton.
4. Modulus elastisitas, adalah perbandingan antara kuat beton dengan regangan beton yang biasanya ditentukan pada 25%-50% dari kuat tekan beton.
5. Rangkak (*creep*), adalah penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya bahan yang bekerja.
6. Susut (*shrinkage*), merupakan perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan tetapi disebabkan oleh beton kehilangan kelembaban karena penguapan. Karena kelembaban tidak pernah meninggalkan beton seluruhnya secara *uniform*, perbedaan-perbedaan kelembaban mengakibatkan terjadinya tegangan-tegangan internal dengan susut yang berbeda. Tegangan-tegangan yang disebabkan oleh perbedaan susut dapat cukup besar dan ini merupakan salah satu alasan perlunya kondisi perawatan yang basah. Makin besar perbandingan luas permukaan terhadap penampang bagian konstruksi susut yang terjadi akan semakin besar. Oleh sebab itu, susut pada bahan-bahan percobaan yang jauh lebih kecil dari bahan-bahan percobaan yang kecil.
7. Kelecekan (*workability*), adalah sifat-sifat adukan beton atau mortar yang ditentukan oleh kemudahan dalam pencampuran, pengangkutan, pengecoran, pemadatan, dan *finishing*. *Workability* juga dapat dijelaskan sebagai besarnya kemudahan kerja yang dibutuhkan untuk menghasilkan kompaksi penuh.
8. Perawatan beton (*curing*), adalah langkah perawatan beton yang perlu dilakukan dalam proses konstruksi untuk memaksimalkan hasil pengecoran beton. Apabila *curing* beton tidak dilakukan maka beton berpotensi retak atau rusak akibat kehilangan kelembaban yang terlalu cepat atau serentak.

Sebagai bahan konstruksi, beton mempunyai kelebihan dan kekurangannya dibandingkan dengan bahan lainnya. Kelebihan menurut Kardiyono Tjokrodimuljo (1995) adalah sebagai berikut:

1. Harga relatif murah.

2. Memiliki kekuatan tekan yang tinggi.
3. Mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk yang bervariasi.
4. Dapat dikombinasikan dengan tulangan baja untuk menahan gaya tarik.
5. Dapat disemprotkan ke permukaan beton lama.
6. Dapat dipompa sehingga dapat dituang pada tempat yang sulit dijangkau.
7. Tahan aus dan kebakaran sehingga perawatan mudah.

Adapun kekurangan dari beton antara lain:

1. Memiliki kekuatan lentur yang rendah.
2. Beton segar menyusut saat pengeringan dan beton keras mengembang saat basah.
3. Dapat mengembang karena pengaruh suhu.
4. Sulit untuk kedap air secara sempurna.

2.2.2 Material Pembentuk Beton

A. Semen *Portland*

Menurut Kumaat, E. J. (2022) Semen *portland* ialah jenis bahan yang dihasilkan dengan cara menghaluskan terak yang terdiri dari batu gamping, kapur dan tinambah lainnya. Semen portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik. Di dunia sebenarnya terdapat berbagai macam semen, dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi-kondisi tertentu sesuai dengan sifat-sifatnya yang khusus. Semen jika diaduk dengan air akan membentuk adukan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir menjadi mortar semen dan jika ditambah lagi dengan kerikil/ batu pecah disebut beton.

Bahan-bahan tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu bahan aktif dan bahan pasif. Kelompok aktif yaitu semen dan air, sedangkan yang pasif yaitu pasir dan kerikil (disebut agregat, agregat halus dan agregat kasar). Kelompok yang pasif disebut bahan pengisi sedangkan yang aktif disebut perekat/pengikat. Istilah perekat tampaknya lebih cocok mengingat fungsinya seperti lem, bukan seperti tali yang biasa untuk mengikat kayu bakar atau jerami.

Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga antara butir agregat. Walaupun semen hanya kira-kira mengisi 10% saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan yang aktif maka perlu dipelajari maupun dikontrol secara ilmiah.

Perbedaan sifat jenis semen satu terhadap semen yang lain dapat terjadi karena perbedaan susunan kimia maupun kehalusan butir-butirnya. Adapun sifat-sifat semen *portland* adalah sebagai berikut (Kumaat, E. J., 2022):

1. Susunan Kimia

Bahan dasar semen terdiri dari batu gamping, kapur dengan ditambah seperti gipsum. Pada dasarnya, ada 4 unsur yang paling penting, yakni:

- a. Trikalsium silikat (C_3S) atau $3CaO.SiO_2$
- b. Dikalsium silikat (C_2S) atau $2CaO.SiO_2$
- c. Trikalsium aluminat (C_3A) atau $3CaO.Al_2O_3$
- d. Tetrakalsium aluminoforit (C_4AF) atau $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

Dua unsur yang pertama (a dan b) biasanya merupakan 70 sampai 80 persen dari semen sehingga merupakan bagian yang paling menonjol dalam menentukan daya ikat semen.

2. Hidrasi Semen

Ketika semen bersentuhan dengan air maka proses hidrasi berlangsung dalam arah ke luar dan ke dalam. Hasil hidrasi mengendap di bagian luar dan inti semen yang belum terhidrasi di bagian dalam, secara bertahap terhidrasi, sehingga volumenya mengecil. Reaksi tersebut berlangsung lambat, antara 2 - 5 jam (disebut periode induksi atau tak aktif) sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan pecah. Pada tahapan hidrasi berikutnya, pasta semen terdiri dari gel (suatu butiran sangat halus hasil hidrasi, memiliki luas permukaan yang amat besar), dan sisa-sisa semen yang tak bereaksi, kalsium hidroksida $Ca(OH)_2$, dan air, dan beberapa senyawa yang lain. Kristal-kristal dari berbagai senyawa yang dihasilkan membentuk suatu rangkaian tiga dimensi yang saling merekat secara acak dan kemudian sedikit demi sedikit mengisi ruangan yang mula-mula ditempati air, lalu menjadi kaku dan muncul lah suatu kekuatan yang selanjutnya mengeras menjadi benda yang padat dan kuat.

3. Kekuatan Pasta Semen dan Faktor Air-Semen

Kekuatan semen yang telah mengeras tergantung pada jumlah air yang dipakai waktu proses hidrasi berlangsung. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi hanya kira-kira 25% dari berat semennya, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan setelah mengeras. Air berlebih dari yang diperlukan untuk proses hidrasi pada umumnya memang diperlukan pada pembuatan beton agar adukan beton dapat campur dengan baik, diangkut dengan mudah, dan dapat dicetak tanpa rongga-rongga yang besar (tidak keropos). Namun, hendaknya selalu diusahakan jumlah air sesedikit mungkin, agar kekuatan beton tidak terlalu rendah.

4. Sifat Fisik Semen

Semen Portland yang dipakai untuk struktur harus mempunyai kualitas tertentu yang telah ditetapkan agar dapat berfungsi secara efektif. Pemeriksaan secara berkala perlu dilakukan, baik yang masih berbentuk bubuk kering maupun yang pasta semennya yang sudah keras, juga betonnya yang dibuat dari semen tersebut. Sifat-sifat fisik semen yang penting yaitu:

- a. Kehalusan butir. Kehalusan butir reaksi antara semen dan air dimulai dari permukaan butir-butir semen, sehingga makin luas permukaan butir-butir semen (dari berat semen yang sama) makin cepat proses hidrasinya. Hal ini berarti bahwa, butir-butir semen yang halus akan menjadi kuat dan menghasilkan panas hidrasi yang lebih cepat dari pada semen dengan butir-butir yang lebih kasar. Secara umum, semen berbutir halus meningkatkan kohesi pada beton segar (*fresh concrete*) dan dapat pula mengurangi *bleeding*, tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut. Menurut SII 0013-81, paling sedikit 90% berat semen harus dapat lewat ayakan lubang 0,09mm. Namun perlu dicatat, bahwa jika butir-butir semen terlalu halus, sifat semen akan menjadi kebalikannya, karena terjadi hidrasi awal oleh kelembaban udara.
- b. Waktu Ikatan. Semen jika dicampur dengan air membentuk bubur yang secara bertahap menjadi kurang plastis, dan akhirnya menjadi keras. Pada proses ini, tahap pertama dicapai ketika pasta semen cukup kaku untuk menahan suatu tekanan. Waktu untuk mencapai tahap ini disebut sebagai

waktu ikatan. Waktu tersebut dihitung sejak air dicampur dengan semen. Waktu ikatan dibagi menjadi dua bagian, yaitu waktu ikatan awal (*initial time*) dan waktu ikatan akhir (*final setting time*). Waktu dari pencampuran semen dan air sampai saat kehilangan sifat keplastisannya disebut waktu ikatan awal, dan waktu sampai mencapai pastanya menjadi massa yang keras disebut waktu ikatan akhir. Pada semen *Portland* biasa waktu ikatan awal tidak boleh kurang dari 60 menit, dan waktu ikatan akhir tidak boleh lebih dari 480 menit (8 jam).

- c. Berat jenis. Berat jenis semen berkisar pada $3,15 \text{ gr/cm}^3$. Berat jenis digunakan dalam hitungan perbandingan campuran.

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Menurut SII 0031-81, semen *portland* di Indonesia dibagi menjadi 5 jenis, yaitu:

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

B. Agregat Kasar

Menurut SNI 2847:2019 agregat kasar adalah kerikil dari hasil disintegrasi alami dari bebatuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5mm sampai 40mm. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan-bahan organik dan mampu memiliki ikatan yang baik. Agregat kasar dapat dibedakan menjadi dua yaitu agregat kasar tak dipecahkan dan agregat kasar dipecahkan. Agregat kasar tak dipecahkan merupakan agregat alami

yang merupakan batu kerikil alami yang banyak ditemukan di daerah pegunungan, endapan aliran sungai, dan pesisir pantai. Bentuk agregat kasar ini dipengaruhi oleh proses geologi batuan. Agregat kasar dipecahkan merupakan agregat yang diperoleh dengan cara menggunakan mesin pemecah batu (*stone crusher*) melalui hasil residu terak tanur tinggi, pecahan beton, *extended shale*, *expanded slag*, lain sebagainya.

Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri dari butiran yang beragam besarnya, sehingga dapat mengisi rongga-rongga akibat ukuran yang besar, sehingga akan mengurangi penggunaan semen. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (saringan no. 200), tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat harus dicuci. Kekerasan butiran agregat kasar jika diperiksa dengan mesin Los Angeles dimana tingkat kehilangan berat lebih kecil dari 50%. Mutu agregat kasar menurut ASTM C33-02 (2002) disyaratkan sebagai berikut:

1. Tidak reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton basah dengan lembab atau berhubungan dengan bahan reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen mengandung natrium oksida kurang dari 0.6%;
2. Susunan gradasi memenuhi syarat;
3. Kadar bahan atau partikel yang berpengaruh buruk pada beton;
4. Sifat fisika (kekerasan butir agregat yang diuji dengan *Los Angeles Abrasion*).

C. Agregat Halus

Menurut SNI 2847:2019 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5 mm. Agregat material mempunyai fungsi sebagai bahan isi dalam adukan beton. Karakteristik agregat sangat mempengaruhi kualitas dari beton itu sendiri. Agregat ditujukan untuk memberikan bentuk pada beton, dan memberikan kekerasan atau kekuatan terhadap beton.

Agregat halus harus memenuhi persyaratan karakteristik seperti pemeriksaan kadar lumpur, kadar air, kadar organik, dan berat jenis dari agregat halus agar beton dapat mencapai kekuatan yang diinginkan. SNI 03-2834-2002 Mengklasifikasikan

distribusi ukuran butiran agregat halus menjadi empat daerah atau zone yaitu: zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus) dan zona IV (halus), batas-batas gradasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus

No. Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Presentase 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	0-20	8-30	12-40	15-50
No.100	0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Agregat halus harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Agregat halus harus Terdiri dari butir-butir tajam dan keras dengan indeks kekerasan ≤ 2.2 ;
2. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan;
3. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut:
 - a) Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12%.
 - b) Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
4. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian- bagian yang dapat melalui ayakan 0,06 mm. Apabila lumpur melampaui 5%, maka agregat harus dicuci.
5. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Herder. Untuk itu bila direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding. Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama, tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH

yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.

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

D. Air

Air merupakan bahan yang penting pada beton yang merupakan terjadinya reaksi kimia dengan semen. Pada dasarnya air yang layak diminum, dapat dipakai untuk campuran beton, tetapi dalam pelaksanaannya banyak air yang tidak layak diminum memuaskan dipakai untuk campuran beton. Apabila terjadi keraguan akan kualitas air untuk campuran beton sebaiknya dilakukan pengujian kualitas air atau dilakukan *trial mix* untuk campuran dengan menggunakan air tersebut. 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 dari semen serta mengganggu reaksi hidrasi antara air dan semen.

Persyaratan air sebagai bahan bangunan harus memenuhi syarat sebagai berikut (PUBI - 1982):

1. Air harus bersih;
2. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual;
3. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter;
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m sebagai SO₃;
5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan dan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan adukan dan beton yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%;
6. Semua air yang mutunya merugikan harus dianalisis secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaiannya;
7. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat tersebut diatas air tidak

boleh mengandung klorida lebih dari 50 p.p.m

Menurut SNI 2847:2019 air yang digunakan dalam pembuatan beton adalah:

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi:
 - a) Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
 - b) Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan “Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis (Menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)” (ASTM C109).

E. Human Hair Fiber

Menurut ASTM C1116-23, ada 4 klasifikasi *fiber-reinforced concrete* yang digolongkan berdasarkan serat yang ditambahkan ke dalam campuran beton. Tipe yang pertama adalah *steel fiber-reinforced concrete*, yaitu beton yang mengandung serat yang terbuat dari *stainless steel* atau *carbon steel fibers*. Tipe kedua adalah *glass fiber-reinforced concrete*, yaitu beton yang mengandung serat kaca yang tahan terhadap alkali. Tipe ketiga adalah *synthetic fiber-reinforced concrete*, yaitu beton yang mengandung serat sintetis. Tipe keempat adalah *natural fiber-reinforced concrete*, yaitu beton yang mengandung serat alami. Salah satu serat

alami yang dapat dimanfaatkan untuk ditambahkan sebagai serat beton karena sifat mekanisnya yang cukup kuat adalah rambut manusia.

HHF atau serat rambut manusia adalah struktur *filamentous* yang tumbuh di kulit kepala manusia. Rambut terbentuk oleh sel-sel mati yang mengandung protein keratin. Setiap folikel rambut yang tertanam di dalam kulit kepala memiliki akar rambut yang tumbuh dari folikel tersebut. HHF disusun oleh tiga struktur utama, yaitu *cuticle*, *cortex*, dan *medulla*. Faktor utama yang dapat dipertimbangkan pada serat rambut manusia adalah tingginya kandungan asam amino *cystine* yang dapat terdegradasi dan kemudian dapat teroksidasi kembali akibat pembentukan *disulphidic bounding*. *Cystine* dapat dikatakan sangat stabil, inilah alasannya mengapa rambut manusia dapat ditemukan masih utuh bahkan bertahun-tahun setelah kematian seseorang (Velasco, M. V. R. *et al.* 2009).



Gambar 1. Limbah Rambut Manusia

Secara mengejutkan, rambut memiliki sifat yang sangat kuat. Hal ini disebabkan oleh keratin korteks dan rantainya yang panjang yang kemudian terkompresi sehingga membentuk struktur biasa yang bukan hanya kuat, tetapi juga fleksibel (Robbins, 1994). Sifat-sifat rambut antara lain:

1. Tahan terhadap regangan. Secara umum, beban yang dibutuhkan untuk memutus rambut secara natural adalah 50-100 gram. Ketahanan terhadap kerusakan berbanding lurus dengan diameter, dan kondisi korteks. Perlakuan kimiawi dapat memengaruhi sifat ini secara negatif (Velasco, M. V. R. *et al.* 2009).

2. Hidrofilik. Rambut dapat menyerap air dalam keadaan cair maupun uap. Keratin dapat menyerap sampai 40% dari beratnya sendiri. Proses hidrasi berbanding lurus dengan kenaikan suhu, perubahan pH, dan pelarut polar yang dapat merusak ikatan hidrogen. Proses hidrasi memengaruhi elastisitas dari rambut (Velasco, M. V. R. *et al.* 2009).
3. Sifat tarik. Pada rambut utuh, sifat tarik sebagian besar dipengaruhi oleh keutuhan dari struktur kortikular pada umumnya dan khususnya antara serat dan bahan. Sensitivitas tinggi pada bahan terhadap air yang terserap menekankan perlunya melakukan pengukuran dalam kondisi kelembaban yang terkontrol dengan baik. Tentunya, cacat apapun pada struktur rambut—apakah disebabkan oleh bawaan maupun disebabkan oleh lingkungan—dapat memengaruhi sifat tarik dari rambut (Wolfram, 2003).

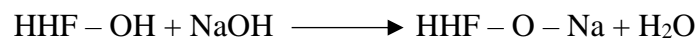
Tabel 2. Sifat Mekanis dari Rambut (Wolfram, 2003)

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

Dari sifat-sifat tersebut kemudian rambut dapat dipertimbangkan sebagai serat pada beton. Fungsi serat pada beton adalah untuk mengurangi retak akibat susut plastis, mengurangi *bleeding* pada beton, meningkatkan ketahanan terhadap benturan, abrasi dan pecah pada beton, dan mencegah perambatan retak pada beton (Jain, 2012). Jain (2012) juga menyebutkan alasan penggunaan rambut manusia sebagai serat pada beton:

1. Memiliki kuat tarik yang tinggi yang hampir setara dengan kabel tembaga dengan diameter yang sama.
2. Rambut merupakan limbah yang menyebabkan permasalahan lingkungan sehingga penggunaannya dapat mengurangi hal tersebut.
3. Mudah didapat dan murah.
4. Memperkuat mortar dan dapat mencegah *spalling*.

Akan tetapi, sifat rambut yang hidrofilik menyebabkan banyak grup *hydroxyl* bergabung dengan molekul air melalui ikatan hidrogen. Daya serap air yang tinggi serta kompatibilitas yang kurang baik antara serat dan bahan menyebabkan kurangnya ikatan antara serat dan bahan. Akibatnya, ikatan antara serat dan bahan menjadi lemah yang menyebabkan turunnya sifat mekanis dari bahan komposit. Maka dari itu, untuk meningkatkan ikatan antara serat dan bahan dibutuhkan modifikasi terhadap permukaan rambut. Modifikasi terhadap permukaan rambut dengan cara kimiawi menghasilkan variasi terhadap sifat kuat tarik yang disebabkan oleh penghancuran unsur-unsur dari rambut atau mengecilnya dinding sel. Perendaman menggunakan alkali umum digunakan untuk memodifikasi struktur dari rambut. Natrium Hidroksida (NaOH) adalah alkali yang umum digunakan untuk memecah grup *hydroxyl* (OH) serta struktur *crystalline* yang padat menjadi struktur jaringan amorf yang baru.



NaOH juga menghilangkan penyusun rambut tertentu seperti hemiselulosa, lignin, lilin, dan minyak yang dapat meningkatkan kekasaran permukaan dari rambut. Lebih jauh, perendaman menggunakan alkali meningkatkan luas permukaan dari rambut yang dapat meningkatkan kelekatan dan ikatan antara rambut dan bahan yang menyebabkan kekuatan yang lebih baik pada komposit (Kathiresan dan Meenakshisundaram, 2022).

Kathiresan dan Meenakshisundaram (2022) melakukan percobaan dengan merendam rambut manusia dalam larutan NaOH dengan konsentrasi 5% selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam untuk melihat efek dari lamanya perendaman rambut dalam larutan NaOH terhadap sifat-sifat mekanisnya seperti kekuatan tarik, modulus Young, dan persentase perpanjangan saat putus. Hasilnya dapat dilihat dalam Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Sifat Mekanis HHF yang Direndam dan Tidak Direndam

Jenis Perlakuan	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Young (MPa)	% Perpanjangan Saat Putus (%)
Tidak Direndam	155-200	187-364	44-106
Direndam 1 Jam	180-257	291-632	40-62
Direndam 2 Jam	137-145	208-324	44-66
Direndam 3 Jam	135-138	284-298	46-48
Direndam 4 Jam	76-130	130-145	52-99

Dari percobaan yang dilakukan oleh Kathiresan dan Meenakshisundaram (2022), ditemukan bahwa HHF yang direndam pada larutan NaOH 5% selama 1 jam mengalami peningkatan kekuatan tarik sebesar 16-22% lebih tinggi dibandingkan HHF yang tidak direndam sama sekali. HHF yang direndam selama 4 jam memperlihatkan penurunan kekuatan tarik yang signifikan yang disebabkan oleh hilangnya struktur keratin pada HHF dengan mengikis kandungan *cystine* asam amino dalam sel kortikal.

2.2.3 Pengujian Karakteristik Beton

A. Pengujian Kekuatan Tekan Beton

Kekuatan tekan beton merupakan salah satu kinerja utama yang dibutuhkan oleh beton. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Nilai kekuatan tekan beton dengan kekuatan tariknya tidak berbanding lurus.

Menurut SNI 1974:2011 kuat tekan beton ($f'c$) adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan maksimum adalah nilai beban yang terjadi pada saat sampel beton setiap variasi alternatif mendapat tegangan maksimum.

Nilai kekuatan tekan beton didapatkan melalui pengujian standar menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan secara terus-menerus

pada benda uji silinder beton berukuran 100 mm x 200 mm hingga benda uji tersebut hancur. Pengujian dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Kekuatan tekan beton dihitung menggunakan rumus SNI 1974:2011.

Untuk menghitung kekuatan tekan beton dapat digunakan persamaan (1) sebagai berikut:

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

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (Mpa atau N/mm²)

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

B. Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah ialah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekanan uji desak (SNI 2491:2014). Parameter kuat tarik beton secara tepat sulit untuk diukur. Suatu pendekatan yang umum untuk mengukur nilai kuat tarik beton adalah dengan pengujian kuat tarik belah beton yang umumnya memberikan hasil yang mencerminkan besarnya kuat tarik yang sebenarnya, hasilnya digunakan untuk menentukan nilai kuat tarik beton. Kekuatan tarik dalam penelitian ini ditentukan dengan menggunakan percobaan belah silinder (*the split cylinder*) di mana silinder ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm diberikan beban tegak lurus terhadap sumbu longitudinalnya dengan silinder ditempatkan secara horizontal di atas pelat mesin percobaan. Benda uji terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik.

Kuat tarik belah beton dapat dihitung dengan persamaan (2) sebagai berikut (SNI 2491:2014):

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi l D} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

f_{ct} = Kuat tarik belah beton (Mpa atau N/mm²)

- P = Beban (N)
 l = Panjang benda uji (mm)
 D = Diameter benda uji (mm)

C. Modulus Elastisitas

Sifat elastisitas suatu bahan sangat erat hubungannya dengan kekakuan suatu bahan dalam menerima beban. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang, semakin besar modulus elastisitas maka semakin kecil lendutan yang terjadi. Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh modulus elastisitas agregat dan perbandingan volume dari agregat di dalam beton.

Nilai modulus elastisitas beton dapat dihasilkan pada pengujian di laboratorium menggunakan alat *compressometer* yang dipasang pada benda uji beton silinder. hasil pengujian dapat dihitung dengan menggunakan rumus menurut (ASTM C469 – 02):

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0,000050)} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- E = Modulus elastisitas (N/mm²)
 S₂ = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (N/mm²)
 S₁ = Tegangan pada saat regangan 0,000050 (N/mm²)
 ε₂ = Regangan pada saat S₂

Modulus Elastisitas beton juga dapat dihitung dengan rumus empiris menurut (SNI 2847:2019), yaitu:

- a) Beton Normal

$$E = 4700\sqrt{f'c} \dots\dots\dots (4)$$

- b) Beton (Wc = 1440 – 2560 Kg/m³)

$$E = Wc^{1,5} \times 0,043\sqrt{f'c} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

- E = Modulus elastisitas (N/mm²)
 f'c = Kuat tekan beton (N/mm²)

W_c = Berat volume beton (Kg/m^3)

D. Pengujian Kekuatan Lentur Beton

Kekuatan lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji patah (SNI 4431:2011). Uji kuat lentur beton dilakukan pada benda uji berbentuk balok beton bertulang dengan ukuran 100 mm x 100 mm x 400 mm.

Apabila suatu gelagar balok bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah penampang. Regangan-regangan tersebut mengakibatkan timbulnya tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan di atas dan tegangan tarik di bagian bawah.

Kekuatan lentur batas (*ultimate flexure strength*) beton atau disebut juga modulus keruntuhan (*modulus of rupture*) adalah beban maksimum yang tercapai selama pembebanan. Menurut SNI 4431 tahun 2011, nilai modulus keruntuhan dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

- a) Untuk pengujian di mana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dapat dihitung dengan persamaan (3):

$$\sigma_1 = \frac{PL}{bh^2} \dots \dots \dots (6)$$

- b) Untuk pengujian di mana patahnya benda uji ada di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah). Dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan (4) sebagai berikut:

$$\sigma_1 = \frac{Pa}{bh^2} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

σ_1 = Kuat lentur benda uji (MPa)

- P = Beban maksimum (N)
- L = Jarak antara dua garis perletakan (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- h = Tinggi benda uji (mm)
- a = Jarak rata-rata antara garis retak dan tumpuan terdekat pada permukaan tarik balok (mm)