

SKRIPSI

STUDI KARAKTERISTIK BETON *HUMAN HAIR FIBER* (HHF) TANPA PERENDAMAN SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN

Disusun dan diajukan oleh:

RIVALDO HAURISSA
D011 20 1105



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI KARAKTERISTIK BETON *HUMAN HAIR FIBER* (HHF) TANPA PERENDAMAN SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN

Disusun dan diajukan oleh

RIVALDO HAURISSA
D011 20 1105

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

Ketua Program Studi,



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

Menyetujui,
Pembimbing Utama,



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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Rivaldo Haurissa

NIM : D011201105

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Karakteristik Beton *Human Hair Fiber* (HHF) Tanpa Perendaman Sebagai Substitusi 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.

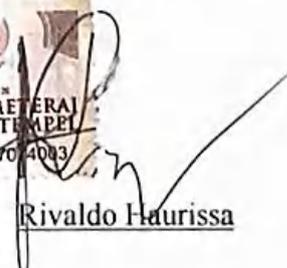
Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul 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



Rivaldo Haurissa



ABSTRAK

RIVALDO HAURISSA. *STUDI KARAKTERISTIK BETON HUMAN HAIR FIBER (HHF) TANPA PERENDAMAN SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN* (dibimbing oleh Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST, MT dan Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng)

Beton adalah kombinasi berbagai bahan, agregat (halus dan kasar), semen & air. Masing-masing dicampur dalam jumlah yang berbeda guna mewujudkan kekuatan tertentu. Beton merupakan pilihan utama yang sangat banyak digunakan sebagai bahan dasar konstruksi bangunan sebab dianggap mempunyai keawetan serta kekuatan dalam pembangunan infrastruktur. Hal ini mengakibatkan permintaan akan beton juga hendak terus menjadi bertambah yang akan mengganggu keseimbangan lingkungan serta merusak sumber daya alam. Oleh karena itu, dicari solusi yang efisien untuk mereduksi dampak negatif dari penggunaan beton yang berlebihan. Salah satu solusinya adalah beton ramah lingkungan (*green concrete*). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik beton dengan variasi substitusi *human hair fiber* 1%, 2%, dan 3% sebagai pengganti semen dan pengaruh variasi *human hair fiber* sebagai substitusi semen terhadap karakteristik beton. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin. Dalam pengujian ini digunakan limbah dari rambut manusia yang diolah menjadi *human hair fiber*. Pada benda uji tersebut dicetak menggunakan silinder dengan ukuran 100 x 200 mm yang telah di *curing* selama 28 hari. Pengujian menggunakan alat *Universal Testing Machine* kapasitas 1000kN dengan mutu rencana 25MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai tertinggi didapatkan pada beton normal (variasi 0%) dengan kekuatan tekan sebesar 29.47MPa, kekuatan tarik belah sebesar 3.96 Mpa, kekuatan lentur sebesar 6.57 dan modulus elastisitas sebesar 24156.37MPa. Pada beton variasi nilai tertinggi didapatkan pada beton substitusi semen terhadap *human hair fiber* variasi 2% dengan kekuatan tekan sebesar 24.86MPa, kekuatan tarik belah sebesar 3.36MPa, kekuatan lentur sebesar 4.83MPa dan modulus elastisitas sebesar 19930.71MPa.

Kata Kunci: Beton, *Human hair fiber*, Substitusi Semen



ABSTRACT

RIVALDO HAURISSA. *STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF NON-SOAKED HUMAN HAIR FIBER (HHF) CONCRETE AS A CEMENT SUBSTITUTE* (supervised by Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST, MT and Prof. Dr.-Ing. Herman Parung, M.Eng)

Concrete is a combination of various materials, aggregates (fine and coarse), cement, and water. Each is mixed in different proportions to achieve specific strength levels. Concrete is the primary choice widely used as a basic building material due to its durability and strength in infrastructure construction. This results in increasing demand for concrete, which can disrupt environmental balance and deplete natural resources. Therefore, efficient solutions are sought to mitigate the negative impact of excessive concrete use. One such solution is eco-friendly concrete (green concrete). The aim of this study is to determine the characteristics of concrete with variations in *human hair fiber* (HHF) substitution at 1%, 2%, and 3% as a replacement for cement and to analyze the effect of these variations on the characteristics of concrete. This research was conducted in the Structure and Material Laboratory, Department of Civil Engineering, Hasanuddin University. In this experiment, human hair waste processed into *human hair fiber* was used. The test specimens were cast using cylinders measuring 100 x 200 mm, which were cured for 28 days. Testing was carried out using a Universal Testing Machine with a capacity of 1000 kN, with a target strength of 25 MPa. The results of this study showed that the highest values were obtained in normal concrete (0% variation) with a compressive strength of 29.47 MPa, split tensile strength of 3.96 MPa, flexural strength of 6.57 MPa, and modulus of elasticity of 24,156.37 MPa. For the concrete variations, the highest values were found in the concrete with 2% *human hair fiber* substitution, with a compressive strength of 24.86 MPa, split tensile strength of 3.36 MPa, flexural strength of 4.83 MPa, and modulus of elasticity of 19,930.71 MPa.

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



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Beton.....	8
2.3 Material Penyusun Beton.....	11
2.3.1 Semen Portland.....	11
2.3.2 Agregat Kasar.....	12
2.3.3 Agregat Halus.....	14
2.3.4 Air	16
2.4 <i>Human Hair</i>	17
2.5 Pengujian Karakteristik Beton	22
2.5.1 Kekuatan Tekan Beton	22
2.5.2 Kekuatan Tarik Belah Beton.....	24
2.5.3 Modulus Elastisitas.....	25
2.5.4 Pengujian Kekuatan Lentur Beton	26
2.6 Hubungan Kekuatan Tarik Belah Terhadap Kekuatan Beton.....	27
2.7 Pola Retak	28
2.8 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	28
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Diagram Alir Penelitian	30
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	31
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data	32
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	32
3.4.1 Peralatan Penelitian	32
3.4.2 Material Penelitian.....	33
3.5. Persiapan Material	33
3.6. Pemeriksaan Karakteristik Material.....	34
3.6.1 Agregat Kasar	34
3.6.2 Agregat Halus.....	35
3.6.3 <i>Human Hair Fiber (HHF)</i>	35



3.7. Pemeriksaan Karakteristik Kadar Air HHF	35
3.8. Pembuatan Benda Uji	36
3.9. Perawatan Benda Uji	40
3.10. Pengujian Kekuatan Tekan (f_c)	40
3.11. Pengujian Kekuatan Tarik Belah (f_{ct})	41
3.12. Pengujian Kekuatan Lentur (f_r)	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Material	43
4.1.1 Agregat Halus	43
4.1.2 Agregat Kasar	44
4.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Kadar Air HHF	44
4.3. Rancangan Campuran	45
4.4. Hasil Pengujian Karakteristik Benda Uji	45
4.4.1 Kekuatan Tekan Beton	45
4.4.2 Kekuatan Tarik Belah	51
4.4.3 Kekuatan Lentur	53
4.4.4 Modulus Elastisitas	56
4.4.5 Hubungan Kekuatan Tekan dengan Kekuatan Tarik Belah Beton	58
4.4.6 Analisis <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	61
4.4.7 Pola Retak	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	70
5.1 Kesimpulan	70
5.1. Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN	76



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Struktur Human Hair	18
Gambar 2.	Pemisahan dan Pembersihan Limbah Rambut Manusia.....	19
Gambar 3.	Potongan limbah rambut manusia 60 mm.....	20
Gambar 4.	Sketsa Pengujian Kekuatan Tekan Beton Silinder	24
Gambar 5.	Sketsa Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton Silinder	25
Gambar 6.	Sketsa bentuk kehancuran benda uji	28
Gambar 7.	Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 8.	Lokasi Penelitian	32
Gambar 9.	Bahan-Bahan Penelitian, (a) Semen Kasar, (b) Agregat Halus, (c) Agregat, (d) HHF, (e) Air	34
Gambar 10.	Persiapan mould.....	37
Gambar 11.	Persiapan Material	37
Gambar 12.	Proses Pencampuran HHF Sebagai Substitusi Semen	38
Gambar 13.	Proses Pengecoran	39
Gambar 14.	Proses Pengujian Slump.....	39
Gambar 15.	Proses Curing Benda Uji.....	40
Gambar 16.	Set-up Alat Pengujian Kekuatan Tekan	41
Gambar 17.	Set-up Alat Pengujian Kekuatan Tarik Belah	41
Gambar 18.	Set-up Alat Pengujian Kekuatan Tarik Belah	42
Gambar 19.	Histogram Kekuatan Tekan Beton	47
Gambar 20.	Grafik Beban-Displacement Variasi 0%	48
Gambar 21.	Grafik Beban-Displacement Variasi 1%	48
Gambar 22.	Grafik Beban-Displacement Variasi 2%	49
Gambar 23.	Grafik Beban-Displacement Variasi 3%	50
Gambar 24.	Grafik Rata-Rata Beban-Displacement.....	50
Gambar 25.	Histogram Kekuatan Tarik Belah Beton	53
Gambar 26.	Histogram Kekuatan Lentur Beton	55
Gambar 27.	Perbandingan Modulus Elastisitas HHF Eksperimental dan Teori.....	58
Gambar 28.	Perbandingan Koefisien Berbagai Peneliti	60
Gambar 29.	Hasil Pengujian SEM 1mm Variasi 1%	61
Gambar 30.	Hasil Pengujian SEM 100 μ m Variasi 1%	61
Gambar 31.	Hasil Pengujian 20 μ m SEM Variasi 1%	61
Gambar 32.	Hasil Pengujian SEM 500 μ m Variasi 2%	62
Gambar 33.	Hasil Pengujian SEM 100 μ m Variasi 2%	62
Gambar 34.	Hasil Pengujian SEM 50 μ m Variasi 2%	63
Gambar 35.	Hasil Pengujian SEM 1mm Variasi 3%	63
Gambar 36.	Hasil Pengujian SEM 200 μ m Variasi 3%	64
Gambar 37.	Hasil Pengujian SEM Skala 20 μ m Variasi 3%	64
Gambar 38.	Hasil Pola Retak Beton NP-0%-T1	65
Gambar 39.	Hasil Pola Retak Beton NP-0%-T2.....	65
Gambar 40.	Hasil Pola Retak Beton NP-0%-T3.....	65
Gambar 41.	Hasil Pola Retak Beton NP-1%-T1	66
Gambar 42.	Hasil Pola Retak Beton NP-1%-T2.....	66
Gambar 43.	Hasil Pola Retak Beton NP-1%-T3.....	66
Gambar 44.	Hasil Pola Retak Beton NP-2%-T1	67
Gambar 45.	Hasil Pola Retak Beton NP-2%-T2.....	67
Gambar 46.	Hasil Pola Retak Beton NP-2%-T3.....	67
Gambar 47.	Hasil Pola Retak Beton NP-3%-T1	68
Gambar 48.	Hasil Pola Retak Beton NP-3%-T2.....	68



Gambar 49. Hasil Pola Retak Beton NP-3%-T3.....68



DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Susunan Butiran Agregat Kasar	13
Tabel 2.	Tabel Distribusi Butiran	15
Tabel 3.	Kandungan Kimia Rambut Manusia	21
Tabel 4.	Nilai Hubungan Kekuatan Tarik Belah Terhadap Kekuatan tekan	28
Tabel 5.	Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar	34
Tabel 6.	Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus	35
Tabel 7.	Pemeriksaan Karakteristik HHF	35
Tabel 8.	Variasi Benda Uji	36
Tabel 9.	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	43
Tabel 10.	Hasil Penguian Karakteristik Agregat Kasar	44
Tabel 11.	Perbandingan nilai kadar air HHF dengan serat alam	45
Tabel 12.	Komposisi Mix Design Beton Normal dan Beton Variasi	45
Tabel 13.	Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton	46
Tabel 14.	Hasil Uji Kekuatan Tarik Belah Beton	52
Tabel 15.	Hasil Uji Kekuatan Lentur Beton	54
Tabel 16.	Nilai Modulus Elastisitas Beton Variasi 0%	56
Tabel 17.	Nilai Modulus Elastisitas Beton Variasi 1%	57
Tabel 18.	Nilai Modulus Elastisitas Beton Variasi 2%	57
Tabel 19.	Nilai Modulus Elastisitas Beton Variasi 3%	57
Tabel 20.	Koefisien Kekuatan Tarik Belah Terhadap Kekuatan Tekan	59
Tabel 21.	Nilai Hubungan Kekuatan Tarik Belah Terhadap Kekuatan tekan	59



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
MPa	<i>Megapascal</i>
UTM	<i>Universal Testing Mechine</i>
$f'c$	Kekuatan tekan
Kg	Kilogram
cm	Sentimeter
mm	Milimeter
SNI	Standar Nasional Indonesia
ASTM	<i>American Standart Testing and Material</i>
PCC	<i>Portland Composite Semen</i>
N	Newton
FAS	Faktor Air Semen
P	Beban benda uji
L	Panjang benda uji
D	Diameter benda uji
E_c	Modulus elastisitas beton
S1	Tegangan pada regangan S1
S2	40% tegangan max
ϵ_2	Regangan longitudinal pada saat tegangan S2
XRF	<i>X-Ray Flourensence</i>



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Persiapan HHF dan Agregat	76
Lampiran 2. Dokumentasi Pembuatan Benda uji	76
Lampiran 3. Perawatan Benda Uji	77
Lampiran 4. Dokumentasi Pengujian Benda Uji	78
Lampiran 5. Analisa Kekuatan Tekan & Modulus Elastisitas	79
Lampiran 6. Analisa Kekuatan Tarik Belah	79



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis persembahkan kepada Tuhan Yesus Kristus 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 Karakteristik Beton HFF (*Human Hair Fiber*) Tanpa Perendaman Sebagai Substitusi Semen”, ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami beton.

Dalam melakukan penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa terdapat banyak kendala dan hambatan yang dihadapi, namun saya mendapat banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan hati izinkan saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. M. Isran Ramli, ST., MT., IPM., ASEAN.Eng.,** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.,** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Dr. Eng. Bambang Bakri, ST., MT.,** 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 pembimbing I (utama) yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.
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.

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, **Papa Willy Haurissa** dan **Mery Maudu** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan selama ini, baik spiritual, moral, dan materil selama saya menempuh pendidikan dari sd hingga sarjana ini. Serta seluruh keluarga besar atas dorongan yang telah diberikan.
2. Begitu juga untuk kedua saudara tercinta saya **Felix Hansel Haurissa** dan **Hau Renaldy Hauriss T.B.** yang telah memberi semangat 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. Sahabat-sahabat tercinta **Kelvin, Klio, Fadli, Ica, Danti, Syawal, Vito, Herli, Mitha, Fadhil, Acha, Andika, Adrian** yang telah menjadi teman yang baik dan atas segala bantuan yang telah diberikan serta memotivasi saya dari awal kuliah hingga terselesainya tugas akhir ini.
5. Saudara-saudara **Evardiost 26** yang telah memberikan banyak cerita, kenangan, waktu, semangat dan dukungan yang tiada henti, semoga tetap solid, terima kasih telah banyak memberi dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Saudara-saudara **KKNT Mitigasi Bencana Banjir Bangkala** yang telah memberikan banyak cerita, kenangan, waktu, semangat dan dukungan yang tiada henti, semoga tetap solid, terima kasih telah banyak memberi dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Saudara-saudara **CHR 26** yang telah memberikan banyak cerita, kenangan, waktu, semangat dan dukungan yang tiada henti, semoga tetap solid, terima kasih telah banyak memberi dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.

Saudara-saudara **ENTITAS 2021** yang telah memberikan banyak cerita, kenangan, waktu, semangat dan dukungan yang tiada henti, semoga tetap solid, terima kasih telah banyak memberi dukungan dalam penyusunan



tugas akhir ini.

9. Untuk Seseorang yang telah membuat saya mengerti bagaimana untuk menyelesaikan setiap pekerjaan termasuk skripsi ini meskipun dalam perasaan yang tidak selalu baik. Semoga saya selalu dapat mengingat pengalaman ini dalam setiap kesukaran di setiap langkah ke depannya. Semoga anda dapat terus bahagia, menjadi pribadi yang lebih baik lagi, dan selalu dalam penyertaan Tuhan Yesus.

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

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

Gowa, 14 Agustus 2024

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia Konstruksi di Indonesia Beton saat ini terus berkembang semakin pesat dan signifikan. Hal tersebut dibuktikan dengan banyaknya proyek pembangunan yang sedang berjalan. Perkembangan tersebut pastinya akan mengakibatkan meningkatnya kebutuhan masyarakat dalam pemakaian beton. Hal tersebut dikarenakan beton adalah unsur utama dalam konstruksi, selain itu beton juga merupakan bahan yang mudah diproduksi. Meningkatnya kebutuhan penggunaan beton di masyarakat mengakibatkan produksi semen akan mengalami peningkatan, mengingat semen merupakan bahan utama dalam memproduksi beton. Hal ini terbukti dari data Asosiasi Semen Indonesia (ASI), total kapasitas produksi industri semen pada tahun 2021 mencapai 116 juta ton. Padahal, Pada 2020 lalu penjualan semen dalam negeri dan ekspor hanya sejumlah 71,78 juta ton, dengan tingkat kegunaan atau pemanfaatan dari kapasitas produksi hanya mencapai 61,7%. Artinya, masih ada sisa kapasitas produksi semen yang mencapai 45 juta ton. Dari jumlah kapasitas produksi yang mencapai 116,3 juta ton pada tahun 2021 dengan penggunaan 76,3% pada 2025 maka diperkirakan produksi semen yang masih tersisa sebanyak 27,3 juta ton. Kapasitas sisa tersebut sudah setara dengan 10 pabrik baru (Yanwardhana, 2019). Dimana pada proses pembuatan semen, akan mengakibatkan terjadinya emisi CO₂ ke udara yang akan berdampak pada kesehatan lingkungan. Solusi untuk mengurangi dampak tersebut, yaitu penggunaan material lain sebagai pengganti semen yang dapat digunakan dalam pembuatan beton (Sandya dkk, 2019). Dengan meningkatnya permintaan semen, maka harga semen juga akan semakin tinggi. Hal ini mendorong para ahli untuk mengembangkan material alternatif pengganti semen yang relatif murah tanpa mengurangi kualitas hasilnya. Material lain yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen adalah dengan memanfaatkan limbah serat rambut manusia atau *Human Hair Fiber* (HHF).



mbah serat rambut manusia atau *Human Hair Fiber* (HHF) merupakan
ang jumlahnya terus meningkat pesat setiap harinya dari ribuan pangkas
i Indonesia. Hal ini disebabkan karena sifat manusia yang terus menerus

mengupayakan keindahan rambutnya dengan mengubah model rambut dengan cara memotongnya. Apabila dalam 1 hari ada 10 orang yang memotong rambut, berapa banyak tumpukan rambut yang didapat dari tiap salon untuk setiap harinya. Pengolahan limbah rambut harus dilakukan sedari dini ketika proses produksi terjadi. Limbah rambut adalah buangan yang dihasilkan dari potongan rambut di salon. Pemanfaatan limbah rambut masih belum banyak mendapatkan perhatian, khususnya pengusaha salon (Widowita, 2018). Namun tidak dapat dipungkiri bahwa rambut manusia sendiri yang telah menjadi limbah tersebut, sangat sulit terurai dengan sendirinya di atas tanah, hal ini disebabkan karena rambut juga terbuat dari keratin. Menurut (Wasitaatmadja, 1997), keratin adalah keluarga dari protein skleroprotein, dimana keratin adalah materi dasar penyusun rambut dan kuku manusia dan hewan, sehingga butuh waktu lama untuk terurai. Dengan demikian, dengan jumlahnya yang semakin meningkat dan tidak dapat terurai, limbah ini akan merusak lingkungan. Namun limbah rambut manusia ini dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan penguat untuk meningkatkan kinerja beton.

Dalam sifat fisik rambut terdapat ketahanan yang cukup tinggi karena disebabkan oleh faktor kimia dan fisika oleh rambut itu sendiri. Faktor fisika rambut tersebut dapat bertahan pada suhu yang tinggi dilihat ketika ketahanan rambut saat dicatok pada suhu yang cukup tinggi (Makarizo, 2010). Dilihat dari rambut bahwa sebagian terdiri dari protein. Komponen rambut tersebut terdiri dari 70%-80% keratin, 3%-6% senyawa minyak, 1% zat warna melanin dan poemelanin (pigmen warna lebih muda), 15% kelembapan air dan sisanya karbohidrat dan unsur-unsur mineral. Sedangkan dari komposisi kimiawi dari batang rambut tersebut adalah 44,5% karbon, 30% oksigen, 14% nitrogen, 6,5% hydrogen, dan 5% belerang. Unsur ini terutama dalam zat tanduk (keratin).(Anonym, 2008). Sehingga dapat disimpulkan bahwa rambut memiliki tekstur yang dapat mengikat campuran beton. Dari semua permasalahan yang terdapat di atas maka limbah rambut manusia dapat dimanfaatkan menjadi bahan substitusi semen pada beton dan tidak hanya dibuang ataupun dibakar.

ngan banyaknya jumlah limbah yang ada apabila tidak dikelola dengan
nyanya hanya akan menjadi limbah yang tidak termanfaatkan. Sifat limbah
manusia yang secara alamiah tidak dapat terurai dengan sendirinya tentu



akan menimbulkan masalah baru yang berkaitan dengan lingkungan.

Keterkaitan antara tingginya biaya serta dampak emisi CO₂ yang dihasilkan oleh semen dengan melimpahnya limbah rambut manusia yang ada dapat menjadi landasan untuk menggunakan *Human Hair Fiber* (HHF) menjadi material substitusi parsial dari semen dalam pembuatan beton. Sehingga diharapkan dapat menghasilkan beton dengan mutu yang baik bersamaan dengan pemanfaatan limbah rambut manusia.

Berdasarkan hal tersebut, untuk melihat karakteristik beton dengan substitusi *Human Hair Fiber* (HHF) pada semen maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul “**Studi Karakteristik Beton *Human Hair Fiber* (HHF) Tanpa Perendaman Sebagai Substitusi Semen**”

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana kekuatan tekan dan tarik belah beton terhadap variasi *Human Hair Fiber* (HHF) pada persentase 0%, 1%, 2%, dan 3% sebagai substitusi semen?
2. Bagaimana pengaruh variasi *Human Hair Fiber* (HHF) sebagai substitusi semen terhadap kekuatan lentur beton?
3. Bagaimana modulus elastisitas beton terhadap variasi *Human Hair Fiber* (HHF) sebagai substitusi semen?
4. Bagaimana pengaruh substitusi semen dengan *Human Hair Fiber* (HHF) pada beton terhadap pola retak?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis kekuatan tekan dan tarik belah beton terhadap variasi *Human Hair Fiber* (HHF) pada persentase 0%, 1%, 2%, dan 3% sebagai substitusi semen.

Menganalisis pengaruh variasi *Human Hair Fiber* (HHF) sebagai



substitusi semen terhadap kekuatan lentur beton.

3. Menganalisis modulus elastisitas beton terhadap variasi *Human Hair Fiber* (HHF) sebagai substitusi semen.
4. Menganalisis pengaruh substitusi semen dengan *Human Hair Fiber* (HHF) pada beton terhadap pola retak.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi tentang pemanfaatan/penggunaan *Human Hair Fiber* (HHF) 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.
4. Menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya dalam mengembangkan beton ramah lingkungan (*Green Concrete*) berbasis *Human Hair Fiber* (HHF).

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 yang digunakan adalah limbah rambut manusia.
3. *Human Hair Fiber* (HHF) yang digunakan terbuat dari limbah rambut manusia yang telah dilakukan *treatment* pencucian.
4. Penelitian menggunakan benda uji yang berupa silinder dengan ukuran 100 x 200 mm dan balok berukuran 100mm x 100mm x 400mm. Pengujian beton dilakukan pada umur 28 hari. Semen yang digunakan adalah semen Portland Bosowa



7. Penelitian ini menggunakan *Human Hair Fiber* (HHF) dengan variasi 0%, 1%, 2%, dan 3% sebagai substitusi semen.
8. Kekuatan tekan rencana adalah 25MPa.
9. Agregat halus yang digunakan yaitu pasir Jeneberang, Gowa.
10. Benda uji diberi beban aksial dengan beban merata seukuran penampang silinder menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* (UTM) dengan kapasitas 1000kN.
11. Pembebanan dilakukan hingga benda uji mengalami hancur pada beban maksimum.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Kumar dan Kumar, (2024) melakukan penelitian mengenai “*Effect of Human Hair Fiber on Mechanical Properties of Concrete*”, pada penelitian ini limbah rambut manusia digunakan sebagai pengganti sebagian semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi Panjang dan persentase substitusi limbah rambut manusia terhadap sifat mekanik beton, dimana sifat mekanik yang diteliti disini ialah kuat tekan, kuat tarik belah, dan nilai kuat lentur. Dimensi sampelnya ialah silinder dengan ukuran 150 x 300mm dengan variasi masing-masing 20mm, 50mm, 80mm, dan dengan variasi substitusi 1%, 1,5%, dan 2% untuk masing-masing jenis pengujian. Pada penelitian ini menggunakan 2 jenis umur rencana, yaitu untuk beton umur 7 hari dan 28 Hari. Dari hasil pengujian didapatkan untuk nilai kuat tekan beton diketahui mengalami peningkatan nilai kuat tekan optimum untuk umur 7 hari maupun 28 hari pada variasi Panjang 50mm dan substitusi 1.5% yaitu dengan nilai 28,4MPa untuk umur 7 hari dan 35,7MPa untuk umur 28 hari yang bila dibandingkan dengan beton normal dengan nilai kuat tekan 23,5MPa untuk umur 7 hari dan 31,7 untuk umur 28 hari. Sedangkan pada hasil pengujian kuat tarik belah mendapatkan nilai optimum untuk umur 7 hari pada variasi Panjang 50mm dan substitusi sebesar 1.5% dengan nilai kuat tarik belah sebesar 2,287MPa dan nilai optimum untuk umur 28 hari pada variasi Panjang 50mm dengan substitusi 1% dengan nilai kuat tarik belah sebesar 2,78 MPa. Dan jika dibandingkan dengan beton normal dengan nilai kuat tarik belah sebesar 1,87 MPa untuk umur 7 hari dan nilai kuat tarikbelah sebesar 2,57 MPa untuk umur rencana 28 hari. Secara keseluruhan, penambahan 1,5% hingga 2% HHF dengan Panjang 50 dan 80mm dapat meningkatkan kinerja beton dibandingkan beton normal.

Iqbal, et al., (2022) melakukan penelitian mengenai “*Studi Potensi dan Pemanfaatan Limbah Rambut Manusia Sebagai Serat Pada Beton*”, pada penelitian ini limbah rambut manusia digunakan sebagai pengganti sebagian semen. Penelitian ini bertujuan untuk membuat beton serat yang memanfaatkan limbah



rambut manusia menjadi produk yang dapat memiliki nilai jual dan tidak hanya dibuang ataupun dibakar. Sampel yang diuji pada penelitian ini ialah sampel berukuran 100 x 200mm dengan variasi substitusi rambut sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% yang ditekan dengan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Dari hasil pengujian didapatkan dari penelitian ini ialah untuk hasil uji kuat tekan beton mengalami penurunan nilai kuat tekan seiring peningkatan persentase rambut yakni untuk 0%, 5%, 10%, 15% serat limbah rambut berturut-turut 31,39Mpa, 17,39Mpa, 9,33Mpa, dan 7,21Mpa. Berbeda dengan hasil pengujian kuat tekan, pengujian kuat tarik belah mengalami peningkatan nilai pada penambahan serat limbah rambut manusia sebesar 5% yaitu 3,72 Mpa. Sedangkan untuk variasi penambahan lainnya mengalami penurunan dibandingkan beton normal yaitu untuk 0%, 10%, 15% berturut-turut sebesar 2,87Mpa, 2,65Mpa, dan 1,91Mpa. Dapat disimpulkan, pada pengujian kuat tekan mengalami penurunan seiring peningkatan presentase jumlah limbah rambut manusia, sedangkan pada pengujian tarik belah mendapat nilai optimum pada penambahan 5% substitusi limbah rambut manusia.

Bheel et al. (2020) melakukan penelitian mengenai “**Sustainable Composite Development: Novel Use of Human Hair as Fiber in Concrete**”. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh HHF sebagai serat terhadap sifat fisik dan mekanik beton dengan konsentrasi HHF sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% terhadap volume 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%.

Sudarman, C. S. (2022) melakukan penelitian mengenai “**Pengaruh Pergantian Sebagian Pasir dengan Limbah Batu Granit dan Rambut Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton**”. Penelitian ini bertujuan untuk

menguji pengaruh penggunaan batu granit dan rambut terhadap kuat tekan beton dan kuat lentur beton dalam berbagai variasi. Penelitian kali ini menggunakan silinder dengan ukuran 150x300mm untuk pengujian tekan dan sampel



balok dengan ukuran 15x15x60mm untuk pengujian lentur. Pengujian beton dilakukan dengan perencanaan umur 7, 14, 21, 28, dan 35 hari. Dengan persentase penambahan limbah rambut sebanyak 2,5%, 7,5%, 12,5%, 17,5%, dan 22,5%. Hasil penelitian yang didapatkan ialah kuat tekan beton campuran yang berumur 35 hari mendapatkan nilai sebesar $308,2\text{kg/cm}^2$, yang dimana lebih rendah bila dibandingkan dengan beton normal dengan umur yang sama ialah sebesar $321,1\text{kg/cm}^2$. Untuk hasil pengujian kuat lentur beton normal dengan beton campuran pada pengujian beton umur 35 hari untuk beton normal adalah 32kg/cm^2 sedangkan untuk beton campuran sebesar $30,6\text{kg/cm}^2$. Ternyata kuat tekan dan lentur beton dengan menambah granit dan rambut dengan variasi tertentu ke dalam campuran masih lebih rendah dari kuat beton normal.

2.2 Beton

Beton merupakan ikatan dari material pembentuk, yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus), semen dan air. Bahan air dan semen disatukan akan membentuk pasta semen, dan berfungsi sebagai bahan pengikat, sedangkan agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan pengisi. Agregat halus berfungsi sebagai pengisi rongga antara agregat kasar. Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi namun kekuatan tarik yang lemah. Untuk kekuatan tekan, di Indonesia sering digunakan satuan kg/cm^2 dengan simbol K untuk benda uji kubus dan f_c untuk benda uji silinder.

Beton segar merupakan beton yang masih dalam kondisi cair setelah pengecoran berakhir. Sifat-sifat dari beton segar antara lain:

- a. Mudah dalam proses pencampuran dan pengadukan (mixing)
- b. Mudah dalam proses pengangkutan (handling)
- c. Mudah dalam hal pengecoran (pouring) dan penempatan (placed)
- d. Mudah untuk mencapai kepadatan yang cukup dan tidak berpori.

Dalam pengerjaan beton segar, tiga sifat penting yang harus selalu diperhatikan adalah Workability (kemudahan pengerjaan), segregasi (pemisahan) dan bleeding (naiknya air ke permukaan).



1. *Workability* (Kemudahan Pengerjaan)

Workability adalah sifat atau perihal mudah/tidaknya beton segar dikerjakan, diangkut, homogenitas, stabil, sifat pemadatan serta memperkecil pori udara beton. Untuk mengukur *workability* maka digunakan istilah slump sebagai tolak ukur, dengan alat untuk mengukur slump disebut Slump Test. Unsur-unsur yang memengaruhi *workability* antara lain:

- a. Jumlah air pencampur. Semakin banyak air pencampur semakin mudah pengerjaan beton.
- b. Kandungan semen. Jika faktor air semen (FAS) tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga sifat plastisnya menjadi lebih tinggi.
- c. Gradasi campuran pasir-kerikil. Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mempermudah pengerjaan.
- d. Bentuk butiran agregat kasar. Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah dikerjakan.
- e. Butiran maksimum

2. Segregasi (Pemisahan Kerikil)

Segregasi merupakan pemisahan unsur-unsur pokok dari campuran heterogen sehingga distribusi atau proses penyebarannya tidak lagi merata. Pada adukan beton perbedaan dalam ukuran partikel-partikel dan berat jenis masing-masing campuran merupakan penyebab utama segregasi, tapi hal ini dapat diantisipasi dengan pemilihan gradasi yang sesuai dan pengerjaan yang baik.

Ada dua bentuk segregasi, yang pertama terjadi jika partikel-partikel yang lebih besar cenderung bergerak lebih jauh sepanjang kemiringan atau turn lebih dalam dibanding partikel-partikel yang lebih halus. Bentuk segregasi yang kedua terjadi pada campuran-campuran yang basah (mengandung air yang banyak) dan dipengaruhi oleh pemisahan mortar dari

campuran. Segregasi dapat disebabkan oleh beberapa hal:

Campuran kurus atau kurang semen

Terlalu banyak air



- c. Besar ukuran agregat maksimum lebih besar dari 40 mm
- d. Permukaan butir agregat kasar. Semakin kasar permukaan agregat semakin mudah terjadi segregasi.

3. *Bleeding* (Naiknya Air ke Permukaan)

Kecenderungan air untuk naik ke permukaan beton yang baru dipadatkan disebut *bleeding*. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput. Hal ini disebabkan karena ketidakmampuan unsur-unsur padat campuran untuk menahan seluruh air campuran pada saat unsur-unsur tersebut turun ke bawah. Berdasarkan jumlahnya, *bleeding* dapat dinyatakan sebagai penurunan total tertinggi satuan beton.

Bleeding dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut:

- a. Susunan butir agregat. Jika komposisinya sesuai, kemungkinan untuk terjadinya *bleeding* kecil.
- b. Banyaknya air. Semakin banyak air berarti semakin besar pula kemungkinan terjadinya *bleeding*
- c. Kecepatan hidrasi. Semakin cepat beton mengeras, semakin kecil kemungkinan terjadinya *bleeding*
- d. Proses pemadatan. Pemadatan yang berlebihan bukan penyebab terjadinya *bleeding*.

Bleeding ini dapat dikurangi dengan cara :

- a. Memberi lebih banyak semen
- b. Menggunakan air paling minimum
- c. Menggunakan agregat dengan butiran halus lebih banyak
- d. Memasukkan sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus

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

Harganya relatif murah karena bahan bahannya dari bahan lokal.

Kekuatan Tekan tinggi

Beton segar mudah diangkat maupun dicetak dalam bentuk yang



bervariasi

- d. Di kombinasikan dengan tulangan baja dapat menahan gaya tarik
- e. Beton segar dapat disemprotkan ke permukaan beton lama.
- f. Beton segar dapat dipompa sehingga memungkinkan untuk dituangkan pada tempat yang sulit dijangkau.
- g. Tahan aus dan kebakaran sehingga perawatan mudah. Adapun kekurangan dari beton antara lain:
 - h. Mempunyai kekuatan lentur yang rendah sehingga mudah retak
 - i. Beton segar mengerut saat pengeringan dan beton keras mengembang saat basah.
 - j. Beton keras mengembang karena pengaruh suhu.
 - k. Beton sulit untuk kedap air secara sempurna

2.3 Material Penyusun Beton

Bahan penyusun beton meliputi air, semen portland, agregat kasar dan halus serta bahan tambah, dimana setiap bahan penyusun memiliki kegunaan serta pengaruh yang berbeda-beda.

2.3.1 Semen Portland

Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional nomor 2049:2015, Semen portland adalah hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (clinker) Portland terutama yang terdiri dari 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.

Fungsi utama semen adalah untuk merekatkan butiran-butiran agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga- rongga diantara butiran agregat. Walaupun semen hanya mengisi 10% saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan yang

if maka perlu dipelajari maupun dikontrol secara ilmiah (okrodumuljo,1996).

Semen yang digunakan untuk bahan beton pada penelitian ini adalah



semen Portland, berupa semen hidrolis yang berfungsi sebagai bahan perekat bahan susun beton. Dengan jenis semen tersebut diperlukan air guna berlangsungnya reaksi kimiawi pada proses hidrasi. Pada proses hidrasi semen mengeras dan mengikat bahan susun beton membentuk masa padat.

Sifat-sifat semen portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sifat fisika dan sifat kimia.

1. Sifat-sifat fisika semen portland meliputi kehalusan butir (fineses), kepadatan (density), konsistensi, waktu pengikatan, panas hidrasi dan perubahan volume (kekalan).
2. Sifat-sifat kimia meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut dan panas hidrasi semen.

Adapun jenis-jenis semen Portland berdasarkan SNI 2049 : 2015 adalah:

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

2.3.2 Agregat Kasar

Menurut SNI-03-2847-2012 agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai

25 mm. agregat kasar dapat dibedakan menjadi dua yaitu agregat kasar tak dipecahkan dan agregat kasar dipecahkan, Agregat kasar tak dipecahkan merupakan agregat alami berupa batu kerikil alami yang banyak ditemukan



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

Agregat kasar mempunyai pengaruh yang besar terhadap kekuatan serta sifat-sifat struktural beton. Akibatnya, agregat kasar yang digunakan sebaiknya memiliki butiran yang cukup keras, bebas dari retakan ataupun bidang-bidang yang lemah, bersih serta permukaannya tidak tertutupi oleh lapisan. Tidak hanya itu, sifat-sifat agregat kasar juga mempengaruhi lekatan antara agregat-mortar dan kebutuhan air pencampur.

Yang dimaksud dengan agregat kasar adalah agregat yang berukuran lebih besar dari 5 mm, sifat yang paling penting dari suatu agregat kasar adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia. Serta ketahanan terhadap penyusutan.

Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan (PBI 1971, NI-2) sebagai berikut :

1. Susunan butiran (gradasi)

Agregat 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 atau penggunaan semen yang minimal. Agregat kasar harus mempunyai susunan butiran dalam batas-batas seperti yang terlihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Susunan Butiran Agregat Kasar

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	38-4,76	19,0-4,76	9,6-4,76
38,1	95-100	100	
19,0	37-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

(Sumber : SNI 03-2834 : 2000)



2. Agregat kasar yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang akan berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton.
3. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori atau tidak akan pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan.
4. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no.200), tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat harus dicuci.
5. Kekerasan butiran agregat kasar jika diperiksa dengan mesin Los Angeles dimana tingkat kehilangan berat lebih kecil dari 50%.

2.3.3 Agregat Halus

Menurut SNI-03-2847-2012 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu (stone crusher) dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Pasir umumnya terdapat disungai-sungai yang besar. Akan tetapi sebaiknya pasir yang digunakan untuk bahan-bahan bangunan dipilih yang memenuhi syarat. Syarat-syarat untuk pasir adalah sebagai berikut :

- a. Butir-butir pasir harus berukuran antara (0, 15 mm dan 5 mm).
- b. Harus keras, berbentuk tajam, dan tidak mudah hancur dengan pengaruh perubahan cuaca atau iklim.
- c. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (persentase berat dalam keadaan kering).
- d. Bila mengandung lumpur lebih dari 5% maka pasirnya harus dicuci.
- e. Tidak boleh mengandung bahan organik, garam, minyak, dan sebagainya.

Agregat halus yang akan digunakan harus memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh ASTM. Jika seluruh spesifikasi yang ada telah terpenuhi maka barulah dapat dikatakan agregat tersebut bermutu baik. Adapun



spesifikasi tersebut adalah :

1. Susunan Butiran (Gradasi)

Analisa saringan akan memperlihatkan jenis dari agregat halus tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh angka Fine Modulus. Melalui Fine Modulus ini dapat digolongkan 3 jenis pasir, yaitu:

- a. Pasir Kasar : $<FM < 3.2$
- b. Pasir Sedang : $2.6 < FM < 2.9$
- c. Pasir Halus : $2.2 < FM < 2.6$

SNI 03-2834-2000 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus menjadi empat zona, yaitu: zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus) dan zona VI (halus) sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2.**

Tabel 2. Tabel Distribusi Butiran

No. saringan	Lubang ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
		Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
3/8"	10	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 : SNI 03-2834 : 2000)

2. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no.200), tidak boleh melebihi 5% (terdapat berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat harus dicuci.

3. Agregat halus harus bebas dari pengotoran zat organik yang akan merugikan beton, atau kadar organik jika diuji di laboratorium tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari standart percobaan Abrams - Harder.

Agregat halus yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang berhubungan dengan air basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap



alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaian yang berlebihan di dalam mortar atau beton dengan semen kadar alkalinnya tidak lebih dari 0,60% atau dengan penambahan yang bahannya dapat mencegah pemuaian.

5. Sifat kekal (keawetan) diuji dengan larutan garam sulfat :
 - a. Jika dipakai Natrium - Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
 - b. Jika dipakai Magnesium - Sulfat, bagian yang hancur maksimum 15%.

Pemakaian agregat halus yang terlalu sedikit akan mengakibatkan :

1. Terjadi segregasi, karena agregat kasar dengan mudah saling memisahkan diri akibat mortar yang tidak dapat mengisi rongga-rongga antara butiran agregat kasar dengan baik.
2. Campuran akan kekurangan pasir, yang disebut *under sanded*.
3. Adukan beton akan menjadi sulit untuk dikerjakan sehingga dapat menimbulkan sarang kerikil.
4. *Finishing* akan menghasilkan beton dengan permukaan kasar.
5. Beton yang dihasilkan menjadi tidak awet.
6. Jika pemakaian agregat halus terlalu banyak maka akan mengakibatkan:
 - a. Campuran menjadi tidak ekonomis.
 - b. Diperlukan banyak semen untuk mencapai kekuatan yang sama dihasilkan oleh campuran dengan perbandingan optimum antara agregat halus dan agregat kasar.
 - c. Campuran akan kelebihan pasir, yang disebut *over sanded*.
 - d. Beton yang dihasilkan menunjukkan gejala rangkai dan susut yang lebih besar.

2.3.4 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan sebagai pelumas campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya,



yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan dapat mengubah sifat-sifat semen. Air yang dimaksud disini adalah air yang digunakan sebagai campuran bahan beton, harus berupa air bersih dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat menurunkan kualitas beton.

Menurut SNI 2847-2019, persyaratan dari air yang digunakan sebagai campuran bahan bangunan adalah sebagai berikut :

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

Air yang digunakan untuk proses pembuatan beton yang paling baik adalah air bersih yang memenuhi persyaratan air minum. Air yang digunakan dalam proses pembuatan beton jika terlalu sedikit maka akan menyebabkan beton akan sulit untuk dikerjakan, tetapi jika kadar air yang digunakan terlalu banyak maka kekuatan beton akan berkurang dan terjadi penyusutan setelah beton mengeras.

Untuk memperoleh kepadatan beton dengan rasio air semen yang rendah sebaiknya menggunakan alat penggetar adukan (*vibrator*). Menjaga kelembaban dan panas agar dapat konstan sewaktu proses hidrasi berlangsung, misalnya dengan menutupi permukaan dengan karung basah.

2.4 Human Hair

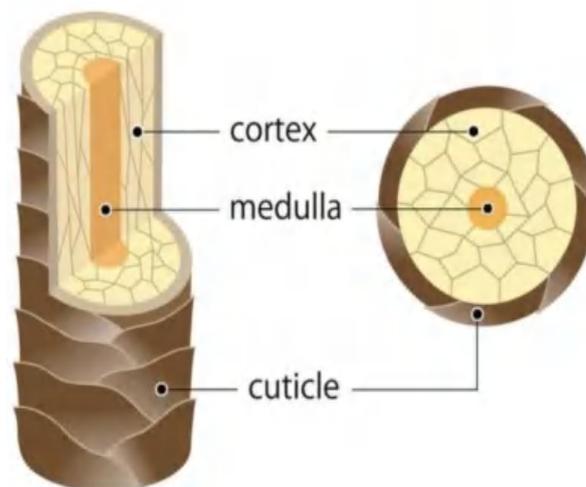
Menurut ASTM C1116-23, ada 4 klasifikasi *fiber-reinforced concrete* yang digolongkan berdasarkan serat yang ditambahkan ke dalam campuran beton. Tipe pertama adalah *steel fiber-reinforced concrete*, yaitu beton yang mengandung serat terbuat dari *stainless steel* atau *carbon steel fibers*. Tipe kedua 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.

Human hair atau rambut merupakan sistem kompleks yang terintegrasi dari beberapa komponen morfologi yang bertindak sebagai satu kesatuan. Bagian rambut yang terlihat di atas kulit disebut serat rambut dan bagian yang terletak di dalam kulit disebut folikel. *Human hair* memiliki diameter sekitar 50-100 μm , memiliki fungsi sebagai pelindung kulit kepala dari sengatan sinar matahari, kedinginan, dan gangguan mekanis terhadap kepala (Cruz et al., 2016).

Human hair dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu kutikula, korteks, dan medulla. Kutikula merupakan lapisan sel tipis yang saling tumpang tindih di permukaan rambut dan menyumbang 10% dari total berat rambut. Korteks menyumbang sekitar 90% dari total berat rambut, terdiri dari sel-sel berbentuk gelendong yang sejajar secara aksial dan medulla mengisi ruang di tengah korteks yang dapat menerus atau terputus-putus (Murillo et al., 2024).



Gambar 1. Struktur Human Hair

Rambut manusia memiliki sifat fisik yang memiliki ketahanan yang cukup karena disebabkan oleh faktor kimia dan fisika oleh rambut itu sendiri. Faktor rambut tersebut dapat bertahan pada suhu yang tinggi dilihat ketika ketahanan saat dicatok pada suhu yang cukup tinggi. Dilihat dari rambut bahwa



sebagian terdiri dari protein. Komponen rambut tersebut terdiri dari 70%-80% keratin, 3%-6% senyawa minyak, 1% zat warna melanin dan poemelanin (pigmen warna lebih mudah), 15% kelembapan air dan sisanya karbohidrat dan unsur-unsur mineral. Sedangkan dari komposisi kimiawi dari batang rambut tersebut adalah 44,5% karbon, 30% oksigen, 14% nitriden, 6,5% hidrogen, 5% belerang unsur ini terutama terdapat dalam zat tanduk (keratin). Dengan pernyataan ini dapat disimpulkan bahwa rambut memiliki tekstur yang kasar sehingga dapat mengikat campuran beton. Dari permasalahan yang terdapat diatas kami mencoba memanfaatkan limbah rambut manusia menjadi produk yang dapat memiliki nilai jual dan tidak hanya dibuang ataupun dibakar (Iqbal, 2022).

Berikut adalah tahapan pengolahan limbah rambut manusia menjadi HHF yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai substitusi semen:

1. Pemisahan dan Pembersihan limbah rambut manusia: Tahap ini dilakukan dengan memisahkan limbah rambut manusia dengan sampah – sampah lainnya yang di peroleh dari tempat pangkas rambut maupun salon, lalu mencuci rambut yang ada dengan menggunakan *shampoo* agar rambut terpisah dari kotoran yang menempel.



Gambar 2. Pemisahan dan Pembersihan Limbah Rambut Manusia



2. Pemotongan limbah rambut manusia: Setelah dibersihkan rambut yang akan dipakai dipotong sesuai dengan panjang rambut yang telah ditentukan yang dimana panjang rambut yang digunakan yaitu sepanjang 60mm.



Gambar 3. Potongan limbah rambut manusia 60 mm

Beberapa karakteristik rambut manusia yang harus diperhatikan dalam pembuatan beton menurut (Kumar, et al., 2015) adalah sebagai berikut:

1. Rambut manusia memiliki kemampuan beradaptasi tinggi yang sebanding dengan kekuatan kawat tembaga dengan diameter yang sebanding yang dimana dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap formasi dan pembentukan retak,
2. Sifat rambut manusia yang tidak menyerap air dapat mengisi rongga-rongga pada beton secara maksimal sehingga beton bersifat kedap air,
3. Kandungan rambut manusia tidak mengandung bahan atau zat yang berbahaya, yang dimana dalam penggunaannya pada saat pengerjaan beton bersifat aman bagi manusia,
4. Serat rambut manusia sebagai serat pada beton, mencegah masalah yang dapat mengurangi ketahanan beton serta mengurangi permeabilitas air,

Ada beberapa kandungan rambut manusia yaitu: 70%-80% keratin, 3%-6% minyak, 1% zat warna melanin dan poemelanin (pigmen warna lebih 15% kelembapan air dan sisanya karbohidrat dan unsur-unsur mineral. dan dari komposisi kimiawi dari batang rambut tersebut adalah 44,5%



karbon, 30% oksigen, 14% nitriden, 6,5% hidrogen, 5% belerang. (Iqbal, 2022)
Kandungan rambut manusia tersebut akan dijelaskan pada **tabel 3** berikut ini:

Tabel 3. Kandungan Kimia Rambut Manusia

Kandungan Rambut Manusia	
Kandungan	Presentase
Keratin	70% - 80%
Senyawa Minyak	3% - 6%
Melanin & Poemelanin	1%
Air	15%
Karbohidrat	1% - 3%

Sumber : (Iqbal, 2022)

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 50-100gram. 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 control dengan baik. Tentunya, cacat apapun pada struktur rambut—baik disebabkan oleh bawaan maupun disebabkan oleh lingkungan—dapat



memengaruhi sifat tarik dari rambut (Wolfram, 2003).

2.5 Pengujian Karakteristik Beton

2.5.1 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.

Kekuatan tekan merupakan kemampuan beton dalam menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun terdapat tegangan tarik yang kecil dalam beton diasumsikan semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut.

Nilai kekuatan tekan beton didapat melalui pengujian standart menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan secara terus menerus pada benda uji silinder beton (diameter 100 mm dan tinggi 200 mm) hingga benda uji tersebut hancur. Pengujian dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Kekuatan tekan beton dihitung dengan rumus (SNI 03-1974-2011)

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

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

Dimana :

$f'c$ = Kekuatan tekan beton (N/mm^2) P= Beban (N)

A = Luas penampang (mm^2)

Kekuatan tekan menjadi parameter untuk menentukan mutu dan kualitas beton yang ditentukan oleh agregat, perbandingan semen, dan perbandingan jumlah air. Pembuatan beton akan berhasil jika dalam pencapaian kekuatan tekan beton telah sesuai dengan yang telah direncanakan

am mix design. Adapun hal-hal yang dapat mempengaruhi kekuatan tekan on, antara lain :

Faktor Air Semen (FAS), hubungan faktor air semen dan kekuatan



tekan beton secara umum adalah semakin rendah faktor air semen, semakin tinggi kekuatan tekan betonnya. Namun kenyataannya, pada suatu nilai faktor air semen semakin rendah, maka beton semakin sulit dipadatkan. Dengan demikian, ada suatu faktor air semen yang optimal dan menghasilkan kekuatan tekan yang maksimal.

2. Umur beton, kekuatan beton akan bertambah sesuai dengan umur beton tersebut. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton dipengaruhi oleh fas dan suhu perawatan. Semakin tinggi fas, maka semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya, dan semakin tinggi suhu perawatan maka semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya.
3. Jenis Semen, kualitas pada jenis-jenis semen memiliki laju kenaikan kekuatan yang berbeda.
4. Efisiensi dari perawatan (curing), kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila terjadi pengeringan terjadi sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan dilapangan dan pada pembuatan benda uji.
5. Sifat agregat, dalam hal ini kekerasan permukaan, gradasi, dan ukuran maksimum agregat berpengaruh terhadap kekuatan beton.

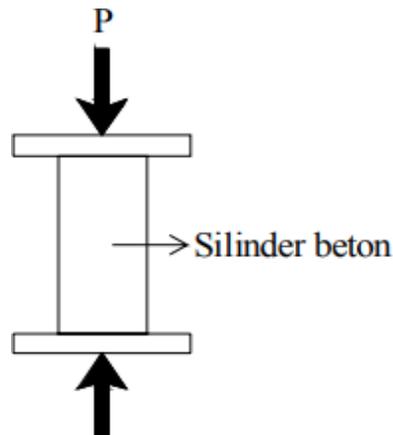
Faktor air semen sangat memengaruhi kekuatan tekan beton. Semakin kecil nilai w/c-nya maka jumlah air yang dibutuhkan sedikit dan akan menghasilkan kekuatan tekan beton yang besar. Sifat dan jenis agregat yang digunakan juga berpengaruh terhadap kekuatan tekan beton. Semakin tinggi tingkat kekerasan agregat yang digunakan akan menghasilkan kekuatan tekan beton yang tinggi. Selain itu susunan besar butir agregat yang baik dan tidak seragam dapat memungkinkan terjadinya interaksi antar butir sehingga rongga dalam kondisi optimum yang menghasilkan beton padat dan kekuatan tekan yang tinggi.

Jenis campuran beton akan memengaruhi kekuatan tekan beton. Jumlah pasta semen harus cukup untuk melumasi seluruh permukaan butiran agregat

mengisi rongga-rongga antara agregat sehingga menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang diinginkan. Untuk memperoleh beton dengan kekuatan seperti yang diinginkan, maka beton yang masih muda perlu



dilakukan perawatan dengan tujuan agar proses hidrasi pada semen bekerja dengan sempurna. Pada proses hidrasi semen dibutuhkan kondisi dengan kelembaban tertentu. Apabila beton terlalu cepat mengering, akan timbul retak-retak pada permukaannya. Retak-retak ini akan menyebabkan kekuatan beton menurun, juga akibat kegagalan mencapai reaksi hidrasi kimiawi penuh.



Gambar 4. Sketsa Pengujian Kekuatan Tekan Beton Silinder

2.5.2 Kekuatan Tarik Belah Beton

Kekuatan tarik belah beton benda uji silinder beton ialah nilai kekuatan tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji. Kekuatan tarik belah seperti inilah yang diperoleh melalui metode pengujian kekuatan tarik belah dengan menggunakan alat Compression Testing Machine (CTM). Pengujian tersebut memakai benda uji silinder beton berdiameter 100 mm serta panjang 200 mm, diletakkan pada arah memanjang di atas perlengkapan pengujian setelah itu beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kekuatan tarik terlewatkan, benda uji terbelah jadi dua bagian dari ujung ke ujung. Kekuatan tarik dengan uji belah silinder dapat ditentukan dengan persamaan (2) sebagai berikut (SNI 03-2491- 2002):

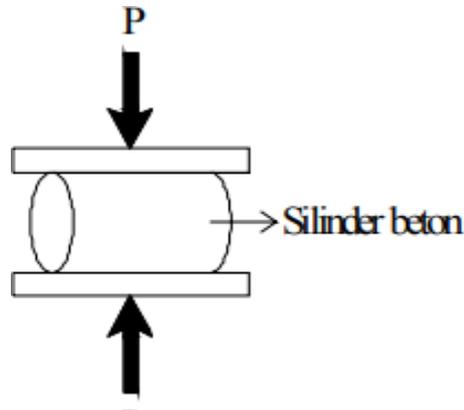
$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi lD} \quad (2)$$

dimana :

= Kekuatan tarik belah beton (N/mm^2)



- P = Benda uji pada waktu belah/hancur (N)
 L = Panjang benda uji silinder (mm)
 D = Diameter benda uji silinder (mm)



Gambar 5. Sketsa Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton Silinder

Alasan utama dari kekuatan tarik yang kecil bahwa pada kenyataannya beton dipenuhi retak-retak halus yang tidak dipengaruhi bila beton menerima beban tekan karena beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyaluran tekan, berbeda jika beton menerima beban tarik. Pengujian kekuatan tarik belah digunakan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton (SNI 03-2491-2014).

2.5.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada sebuah benda uji akibat diberi beban. Modulus elastisitas beton tidak pasti dan nilainya tergantung pada kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik serta perbandingan antara semen dan agregat.

Untuk menghitung rumus modulus elastisitas eksperimen (ASTM C 469-02), yaitu :

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,000050)} \quad (3)$$

mana :

= Modulus Elastisitas Beton (MPa)

= Tegangan pada regangan $S_1 = 0.000050$ (MPa)



$S_2 = 40\%$ tegangan max (Mpa)

$\epsilon_2 =$ Regangan longitudinal pada saat tegangan S_2

Sedangkan secara teoritis, modulus elastisitas beton (E_c) dapat dihitung dengan rumus (SNI 03-2847-2019):

$$E_c = 0.043 \sqrt{f'_c} \times (W_c)^{1.5} \quad (4)$$

Dimana :

$E_c =$ Modulus Elastisitas Beton (MPa)

$f'_c =$ Kekuatan tekan beton umur 28 hari (MPa)

$W_c =$ Berat satuan beton (kg/m^3)

2.5.4 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 kekuatan 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:

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

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

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 kekuatan lentur beton dihitung menurut persamaan (4) sebagai berikut:

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

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)

2.6 Hubungan Kekuatan Tarik Belah Terhadap Kekuatan Beton

Hasil pengujian kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah beton dapat digunakan untuk mencari nilai hubungan kekuatan tarik belah terhadap kekuatan tekan beton. Hubungan kekuatan tekan terhadap kekuatan tarik beton bertujuan untuk mengkonversi nilai dari kekuatan tekan ke kekuatan tarik.

Persamaan umum untuk mendapatkan prediksi nilai hubungan kekuatan tarik belah terhadap kekuatan tekan beton pada umur 28 hari didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3 berdasarkan ACI 318-14.

$$f_{ct} = k\sqrt{f'c} \quad (8)$$

Dimana:

f_{ct} = kekuatan tarik belah beton (MPa)

$f'c$ = kekuatan tekan beton (MPa)

k = koefisien

Berbagai nilai koefisien (k) telah diusulkan oleh berbagai peneliti. Jaber et al. (2018) menyebutkan nilai koefisien (k) untuk hubungan kekuatan tarik belah terhadap kekuatan tekan beton berkisar antara 0.50 - 0.85. Berikut nilai koefisien yang diusulkan oleh peneliti lain sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

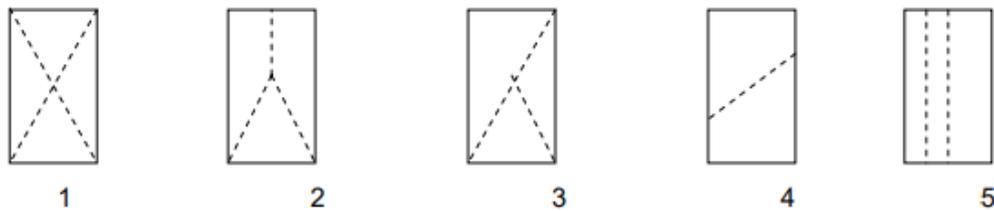


Tabel 4. Nilai Hubungan Kekuatan Tarik Belah Terhadap Kekuatan tekan

Standar Koefisien	Referensi
$0.56\sqrt{f'c}$	ACI 318-14 & SNI 2847:2019
$0.46\sqrt{f'c}$	Putra & Widjaja (2015)
$0.65\sqrt{f'c}$	(Jaber et al., 2018)

2.7 Pola Retak

Retak merupakan jenis kerusakan yang paling sering terjadi pada struktur beton, dimana terjadi pemisahan antara massa beton yang relatif panjang dengan yang sempit. Retak pada struktur beton terjadi sebelum beton mengeras maupun setelah beton mengeras. Retak akan terjadi saat beton mulai mengeras tapi telah dibebani, retak juga dapat terjadi apabila beton mengalami hidrasi berlebihan sehingga susut (*shrinkage*). Menurut SNI 1974:2011 ada 5 jenis pola keretakan yang dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 6. Sketsa bentuk kehancuran benda uji

Keterangan:

Gambar 1: Bentuk kehancuran kerucut

Gambar 2: Bentuk kehancuran kerucut dan belah

Gambar 3: Bentuk kehancuran kerucut dan geser

Gambar 4: Bentuk kehancuran geser

Gambar 5: Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar)

2.8 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan instrumen yang telah secara signifikan digunakan dalam mengobservasi material anorganik seperti logam dan keramik 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.

