

**SKRIPSI**

**PERILAKU LEKATAN BETON *HUMAN HAIR FIBER* (HHF)  
DENGAN PERENDAMAN NATRIUM HIDROKSIDA  
SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**NABILA RIZQI FADHILAH  
D011 20 1078**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
202**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****PERILAKU LEKATAN BETON *HUMAN HAIR*  
FIBER (HHF) DENGAN PERENDAMAN NATRIUM HIDROKSIDA  
SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN**

Disusun dan diajukan oleh

**NABILA RIZQI FADHILAH**  
**D011 20 1078**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 09 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 : Nabila Rizqi Fadhilah  
NIM : D011201078  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Perilaku Lekatan Beton *Human Hair Fiber* (HHF) dengan Perendaman Natrium Hidroksida 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, 9 Oktober 2024

Yang Menyatakan



Nabila Rizqi Fadhilah

## ABSTRAK

**NABILA RIZQI FADHILAH** *Perilaku Lekatan Beton Human Hair Fiber (HHF) Dengan Perendaman Natrium Hidroksida Sebagai Substitusi Semen* (dibimbing oleh Dr.Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST, MT dan Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng)

Berkembangnya pembangunan di Indonesia saat ini berbanding lurus dengan meningkatnya kebutuhan akan beton. Saat ini sudah semakin banyak penggunaan beton sebagai bahan pembangunan konstruksi seperti jalanan, jembatan, gedung, bandara, pelabuhan dan lain sebagainya. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa masa yang akan datang akan memerlukan banyak kebutuhan beton dalam dunia konstruksi di Indonesia. Oleh karena itu, berbagai solusi diciptakan agar dapat mengatasi hal tersebut, salah satunya dengan cara pembuatan beton dengan menggunakan penambahan bahan yang ramah lingkungan (*green concrete*). Pemanfaatan limbah rambut manusia sebagai salah satu material pembuat beton yang ramah lingkungan menjadi penting dalam membantu mereduksi jumlah limbah rambut manusia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kekuatan lekat beton HHF (*Human Hair Fiber*) dengan menggunakan variasi 0%, 5% dan 10% perendaman alkali (NaOH) sebagai substitusi bahan semen. Limbah rambut manusia dipilah dan dicuci untuk mendapatkan *human hair fiber*. Benda uji pada penelitian ini menggunakan silinder  $150 \times 300$  mm kemudian dilakukan pengujian pada benda uji yang telah melalui proses *curing* selama 28 hari dengan kekuatan tekan rencana  $f'c = 25$  MPa. Dari hasil penelitian diperoleh nilai kekuatan tegangan lekat tertinggi terdapat pada beton HHF dengan perendaman 5% NaOH sebesar 54,40 kN.

Kata Kunci: Beton, Limbah Rambut, *Human Hair Fiber*, NaOH, Semen

## ABSTRACT

**NABILA RIZQI FADHILAH.** *HHF (HUMAN HAIR FIBER) CONCRETE ATTACHMENT BEHAVIOR WITH ALKALINE RESISTANCE (NAOH) AND CEMENT SUBSTITUTES* (supervised by Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T. and Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng)

*The development of construction in Indonesia today is comparable to the increasing need for concrete. Currently there is increasing use of concrete as construction material such as roads, bridges, buildings, airports, ports and so on. It can be concluded that the time to come will require a lot of concrete needs in the construction world in Indonesia. Therefore, various solutions have been created to deal with the problem, one of which is the construction of concrete using the addition of environmentally friendly materials. (green concrete). The use of human hair waste as one of the environmentally friendly concrete manufacturing materials has become essential in helping to reduce the amount of waste human hair. The aim of this study was to determine the effect of the HHF (Human Hair Fiber) concrete adhesive strength by using variations of 0%, 5% and 10% alkaline immersion (NaOH) as cement substitutes. The test object in this study used a cylinder of 150 × 300 mm then tested on the test object that has been through the process of curing for 28 days with the pressure force of the plan  $f'c = 25$  MPa. From the results of the study obtained the highest value of the strength of the adhesive tension found on HHF concrete with a 5% immersion of NaOH of 54.40 kN.*

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

## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
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
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	6
2.2 Human Hair Fiber (HHF).....	8
2.3 Beton.....	10
2.4 Bahan Penyusun Beton.....	11
2.4.1 Agregat .....	11
2.4.2 Semen .....	15
2.4.3 Air.....	16
2.5 Larutan NaOH.....	17
2.6 Pengujian Pull-Out .....	18
2.7 Baja Tulangan .....	20

2.8 Lekatan antara Beton dan Tulangan .....	21
2.9 Panjang Penyaluran Minimum .....	23
2.10 Tipe Keruntuhan .....	24
2.11 Hubungan Panjang Penyaluran Terhadap Tegangan Lekat .....	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	28
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	29
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data .....	30
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	30
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Baja .....	32
3.6 Pemeriksaan Karakteristik Material .....	32
3.6.1 Agregat Kasar .....	32
3.6.2 Agregat Halus .....	33
3.7 Pembuatan Benda Uji .....	33
3.8 Perawatan Benda Uji .....	39
3.9 Set-Up Pengujian.....	40
3.9.1 Set-Up Pengujian Pull-Out .....	40
<b>bAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1 Karakteristik Material .....	41
4.1.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tulangan Baja .....	41
4.1.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	41
4.1.3 Kadar Air Human Hair Fiber (HHF).....	42
4.1 Komposisi Mix Design .....	43
4.3 Hasil Pengujian Pull-Out .....	44
4.3.1 Tegangan Lekat Baja Tulangan pada Beton.....	44
4.3.2 Perhitungan Panjang Penyaluran Minimum (ld) .....	52
4.3.3 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) .....	53
<b>bAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>55</b>
5.1 Kesimpulan .....	55
5.2 Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Agregat Kasar .....	13
<b>Gambar 2.</b> Agregat Halus .....	14
<b>Gambar 3.</b> Pola keruntuhan pada beton di sepanjang daerah lekatan.....	22
<b>Gambar 4.</b> Skema Panjang Penyaluran Tulangan dan Beton .....	24
<b>Gambar 5.</b> Bentuk kegagalan lekatan tulangan deformasian.....	26
<b>Gambar 6.</b> Diagram Alir Penelitian .....	29
<b>Gambar 7.</b> Lokasi Penelitian .....	30
<b>Gambar 8.</b> Bahan-Bahan Penelitian.....	32
Gambar 9. Rencana Benda Uji.....	34
<b>Gambar 10.</b> Perawatan HHF.....	36
<b>Gambar 11.</b> Pembuatan Larutan NaOH.....	36
<b>Gambar 12.</b> Persiapan Material .....	37
<b>Gambar 13.</b> Proses Pencampuran Material.....	37
<b>Gambar 14.</b> Pengujian Slump.....	38
<b>Gambar 15.</b> Penggetaran sampel dengan mesin vibrator .....	38
<b>Gambar 16.</b> Perawatan Benda Uji .....	39
<b>Gambar 17.</b> Pengujian <i>Pull-Out</i> .....	40
<b>Gambar 18.</b> Hubungan Beban-Perpindahan Sampel Kontrol 0%NaOH.....	45
<b>Gambar 19.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 0%NaOH Setelah di Uji Pull-Out.....	46
<b>Gambar 20.</b> Hubungan Beban-Perpindahan Sampel 5% NaOH .....	46
<b>Gambar 21.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel Sampel 5% NaOH setelah di uji <i>Pull- Out</i> .....	47
<b>Gambar 22.</b> Hubungan Beban-Perpindahan Sampel 10% NaOH .....	48
<b>Gambar 23.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 10%NaOH Setelah di Uji Pull-Out.....	49
<b>Gambar 24.</b> Hubungan Beban-Perpindahan Sampel 0%, 5% dan 10% NaOH...	49
<b>Gambar 25.</b> Tegangan Lekat .....	51
<b>Gambar 26.</b> Panjang Penyaluran Minimum .....	53
<b>Gambar 27.</b> Hasil Pengujian SEM Beton H-2%.....	54



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Susunan Butiran Agregat Kasar .....	12
<b>Tabel 2.</b> Batas-Batas Gradasi Agregat Halus .....	14
<b>Tabel 3.</b> Sifat Mekanis Rambut Manusia yang Direndam dan Tidak Direndam .....	18
<b>Tabel 4.</b> Sifat Mekanis Baja Tulangan Beton.....	20
<b>Tabel 5.</b> Standar Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar .....	32
<b>Tabel 6.</b> Standar Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus .....	33
<b>Tabel 7.</b> Rincian Benda Uji .....	35
<b>Tabel 8.</b> Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tulangan Baja.....	41
<b>Tabel 9.</b> Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat .....	42
<b>Tabel 11.</b> Rancangan campuran beton ( <i>Mix Design</i> ) .....	44
<b>Tabel 12.</b> Rekapitulasi Tegangan Lekat ( $\tau_u$ ) .....	50
<b>Tabel 13.</b> Rekapitulasi Panjang Penyaluran Minimum Sampel .....	52
<b>Tabel 14.</b> Rekapitulasi Panjang Penyaluran Minimum Berdasarkan SNI 2847:2019.....	53

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
MPa	<i>Megapascal</i>
UTM	<i>Universal Testing Machine</i>
FAS	Faktor Air Semen
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
SNI	Standar Nasional Indonesia
ASTM	<i>American Standart Testing and Material</i>
$f'c$	Kekuatan tekan beton
N	Newton
mm	Milimeter
$CO_2$	Karbon dioksida
$\mu m$	Mikrometer
cm	Sentimeter
m	Meter
kg	Kilogram
HHF	<i>Human Hair Fiber</i>
OPC	<i>Ordinady Portland Cement</i>
E	Regangan
P	Beban (N)
$\mu$	Kekuatan lekat antara beton dengan tulangan (Mpa)
$Ld$	Panjang penanaman (mm)
$Ld_{mddn}$	Panjang penyaluran minimum (mm)
$ds$	Diameter tulangan (mm)
$ff_y$	Tegangan leleh baja (Mpa)
AS	Luas tulangan ( $mm^2$ )
$k$	Koefisien panjang penyaluran minimum
D	Diameter tulangan (mm)

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Persiapan HHF dan Agregat .....	1
<b>Lampiran 2.</b> Persiapan Tulangan Beton Sampel <i>pull-out</i> .....	3
<b>Lampiran 3.</b> Proses Pengecoran .....	4
<b>Lampiran 4.</b> Proses Curing Sampel <i>Pull-out</i> .....	6
<b>Lampiran 5.</b> Proses Pengujian <i>Pull-out</i> .....	7

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil‘aalamin, puji syukur kehadiran Illahi Rabbi atas rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan-Nya, maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari dalam menyusun tugas akhir ini tidak terlepas dari banyaknya bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan sebagaimana mestinya. Dengan demikian, sudah selayaknya dalam kesempatan ini penulis menghaturkan ucapan terima kasih dengan segala kerendahan hati, 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, ST., MT.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. **Bapak Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng.**, selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua Orang Tua tercinta, Ayahanda Yusman dan Ibunda Immawati atas kasih sayang, pengorbanan serta segala dukungan selama ini baik secara moril dan materi.
2. Saudara-saudariku Kak Nisa, Ika, Kira, Sobir dan Ghaida karena selalu memberikan dukungan dan masukan selama menjalani proses perkuliahan selama ini.
3. Teman-teman Lab. Riset Gempa 2020, Sheren, Agung, Ardi, Dimas, Miko, Syahrur, Amar, Valdo dan Marcel yang saling membantu dalam proses penyelesaian penelitian.
4. Teman seperjuangan KP WIKA JDU SPAM MAMMINASATA, Prefty, terima kasih untuk bantuannya selama menjalani kerja praktik selama 2 bulan, banyak pengalaman berharga yang saya dapatkan.
5. Teman-teman SMA Azizah, Sabda, Rara, terima kasih karena selalu membantu memberi masukan serta bertukar keluh-kesah selama penulis menjalani kehidupan kuliah.
6. Sahabatku Nisa, Dani, Fitri, Savira, Terima kasih karena sudah menemani penulis dalam senang maupun sedih, menjadi tempat penulis untuk bercerita segala masalah di perkuliahan sampai saat ini.
7. Teman-teman Asisten di Lab. Struktur dan Bahan yaitu Kak Hasan, Herli, Nurul Annisa, Fadhil, Mita, Rivaldo, dan Syawal yang turut membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Saudara-saudariku seangkatan Teknik Sipil dan Lingkungan 2020 yang terhimpun dalam keluarga besar **ENTITAS 2021**. Terima kasih atas segala pengalaman, cerita suka dukanya serta memberi makna pada Arti Sahabat.

Gowa, 23 Mei 2024

Penulis

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Berkembangnya pembangunan di Indonesia saat ini berbanding lurus dengan meningkatnya kebutuhan akan beton. Saat ini sudah semakin banyak penggunaan beton sebagai bahan pembangunan konstruksi seperti jalanan, jembatan, gedung, bandara, pelabuhan dan lain sebagainya. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa masa yang akan datang akan memerlukan banyak kebutuhan beton dalam dunia konstruksi di Indonesia. Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip-batuan. Terkadang, satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang sangat rendah. Beton bertulang adalah suatu kombinasi antara beton dan baja dimana tulangan baja berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki beton. Saat ini berbagai cara serta penelitian dilakukan dengan tujuan meningkatkan kekuatan beton, salah satu caranya yakni dengan mensubstitusikan bahan-bahan pengganti pada material pembentuk beton seperti agregat kasar, agregat halus maupun semen. (Fuad, 2018)

Perkembangan beton ini memberikan dampak positif bagi dunia konstruksi, namun disamping itu juga memberikan dampak negatif karena dalam proses pembuatan semen yang menghasilkan gas karbon dioksida. Dampak negatif dari pembuatan semen tersebut dapat berimbas pada lingkungan. Oleh karena itu, dicari solusi dari masalah tersebut yang efektif sehingga dapat mereduksi dampak negatif dari penggunaan beton secara berlebihan. Bahan yang bisa digunakan sebagai bahan pengganti tersebut difokuskan dengan memanfaatkan material limbah.

Keadaan tersebut yang menyebabkan industri konstruksi meningkat dengan cepat dan teknologi baru pun meningkat berevolusi sangat cepat untuk mengatasi berbagai kesulitan dalam konstruksi industri. Di antara semua material yang dipakai dalam konstruksi beton industri adalah bahan utama untuk keperluan konstruksi.

Miliaran ton material alami ditambang produksi beton yang akan menyisakan banyak kerusakan pada lingkungan. Saat ini daur ulang sampah dan produk sampingan industri mulai populer untuk membuat beton bahan ramah lingkungan dan beton bisa disebut sebagai *Green Concrete* yang dimana dapat menjadi solusi dari permasalahan lingkungan yang disebabkan oleh adanya beton konvensional. (Das dkk., 2014)

Menurut Shalahuddin (2021), rata-rata jumlah rambut yang dihasilkan oleh manusia dapat diasumsikan sebesar 100g/tahun. Oleh karena itu diperkirakan jumlah limbah rambut manusia di Indonesia dengan jumlah penduduk 267 juta jiwa adalah sebesar 26,7 juta kilogram pertahun. Di Indonesia pengolahan limbah rambut manusia masih belum optimal. Limbah rambut dari proses pemotongan rambut memiliki bahan protein yang tidak dapat terurai, yang umumnya dibuang sebagai limbah. Apabila tidak dilakukan pengolahan yang baik dan tepat pada limbah tersebut maka akan berdampak pada banyaknya limbah rambut manusia yang tidak dimanfaatkan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah rambut sebagai salah satu material pembuat beton yang ramah lingkungan menjadi penting dalam membantu mereduksi jumlah limbah rambut di Indonesia. Rambut manusia mengandung asam amino, 3% pigmen melanin, besi, mangan, kalsium, magnesium, seng, tembaga, fosfor, silikon dan lemak. (Sudarman dkk., 2022)

Rambut manusia memiliki sifat kuat tarik yang tinggi yang membuatnya berpotensi untuk digunakan sebagai reinforcement material. Protein dalam rambut yang membentuk struktur  $\alpha$ - 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).

Bheel et al. (2017) telah melakukan penelitian mengenai HHF sebagai substitusi semen. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kemampuan rambut manusia sebagai serat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik beton sebesar 10,71% dan 3,65% pada penambahan 0,25% rambut manusia pada beton polos.

Tetapi rambut manusia memiliki sifat yang hidrofilik yang mempunyai 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 campuran. Maka dari itu, untuk meningkatkan ikatan antara serat dan bahan dibutuhkan modifikasi terhadap permukaan rambut, salah satunya dilakukan perendaman alkali NaOH.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis melakukan penelitian secara eksperimental mengenai pengujian pullout untuk mengetahui daya lekatan tulangan terhadap beton HHF substitusi semen dengan perendaman NaOH.

Penelitian ini diimplementasikan dalam sebuah Tugas Akhir (Skripsi) dengan judul: **“Perilaku Lekatan Beton Human Hair Fiber (HHF) Dengan Perendaman Natrium Hidroksida Sebagai Substitusi Semen”**

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku kekuatan lekat beton dengan variasi HHF sebagai substitusi semen?
2. Bagaimana pengaruh HHF terhadap variasi perendaman dengan NaOH sebagai substitusi semen terhadap kekuatan lekat beton?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh substitusi HHF dengan variasi persentase perendaman NaOH 0%, 5% dan 10% sebagai pengganti sebagian semen.



2. Menganalisis kekuatan lekat beton terhadap penggunaan HHH dengan variasi perendaman NaOH.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai referensi untuk penelitian lanjutan mengenai pengaruh HHH substitusi semen dengan perendaman NaOH pada daya lekat beton terhadap tulangan.
2. Memberikan informasi bagi akademisi maupun praktisi mengenai pengaruh dari HHH substitusi semen dengan perendaman NaOH terhadap daya lekat beton dengan tulangan sehingga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.
3. Efektifitas pemanfaatan HHH sebagai substitusi semen dapat dilihat dari kekuatan daya lekat beton terhadap tulangan itu sendiri sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam mengembangkan beton yang ramah lingkungan dan ekonomis.

#### **1.5 Ruang Lingkup**

Untuk mencapai maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini serta menguraikan pokok bahasan di atas, ditetapkan batasan-batasan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Percobaan dilakukan dengan menggunakan persentase perendaman HHH dengan NaOH sebesar 0%, 5% dan 10%.
2. Semen yang digunakan adalah semen Tonasa.
3. Kekuatan tekan rencana adalah 20 MPa.
4. Pengujian dilakukan pada beton umur 28 hari.
5. Benda uji dibuat dengan cetakan silinder 150 x 300 mm.
6. Pengujian "*pull-out test*" menggunakan alat Universal Testing Machine (UTM) kapasitas 1000 kN dengan modifikasi seperlunya dan menggunakan sampel uji berbentuk silinder.

7. Pedoman yang digunakan sebagai acuan adalah ASTM (American Society of Testing and Materials) dan SNI (Standar Nasional Indonesia).
8. Tipe dan diameter tulangan yang diuji adalah tulangan ulir (ribbed bar) dengan diameter 13 mm sebagai tulangan tarik.
9. Jumlah benda uji sebanyak 6 buah, untuk benda uji silinder tanpa perendaman 0% NaOH 3 buah dan dengan perendaman NaOH 5% sebanyak 3 buah.
10. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil berdasarkan standar pengujian yang berlaku.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

**Iqbal, M. dkk (2022)**, melakukan penelitian tentang “*Studi Potensi Pemanfaatan Limbah Rambut Manusia Sebagai Serat Pada Beton*”, pada penelitian ini bertujuan untuk membuat beton serat dengan menggunakan serat rambut manusia. Metode pengujian dilakukan dengan menguji kuat tekan dan kuat tarik beton limbah rambut. Hasil dari kuat tekan beton yang telah diuji didapatkan hasil pengujian dari kuat tekan dari 5% sampai dengan 15% limbah rambut manusia dari substitusi berat semen. Hal beton mengalami penurunan mulai tersebut terjadi karena jenis serat penguat ini adalah distribusi dalam campuran, serta rambut manusia yang memiliki permukaan yang berminyak sehingga mengkonversi dalam bentuk simpul.

Penelitian yang dilakukan oleh **Bheel et al. (2020)** bertujuan untuk menguji pengaruh HHF sebagai serat terhadap sifat fisik dan mekanik beton dengan konsentrasi rambut manusia 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 HHF 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 HHF sebanyak 4%. Kuat lentur mengalami peningkatan sebesar 12,71% pada penambahan HHF sebanyak 2% dan penurunan sebesar 9,83% pada penambahan HHF sebanyak 4%.

**Manjunatha et al. (2021)** melakukan penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan sifat fisik dan sifat mekanik beton dengan menggunakan Human hair sebagai fiber di dalam beton. Human hair digunakan sebagai substitusi parsial semen dengan variasi 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, dan 3% terhadap berat semen. Penelitian ini menguji kuat tekan, kuat Tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton pada umur 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 90 hari.

Amin M dan Samsudi R (2012) dalam penelitiannya yang berjudul “*Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Serat Rambut Manusia*” menjelaskan bahwa ada pengaruh lamanya waktu perendaman serat rambut manusia di dalam larutan 5% NaOH yaitu meningkatnya nilai tegangan tarik. Hasil penelitian menunjukkan nilai tegangan tarik optimum yaitu pada perendaman serat rambut selama 60 menit dengan nilai 28.862 Mpa. Serat rambut manusia perlu dilakukan perlakuan alkali NaOH dengan tujuan untuk meningkatkan gaya ikatan serat dengan matrik. Komposit dengan serat yang tidak melalui perlakuan alkali menunjukkan mechanical bonding yang rendah, hal ini terlihat dari serat yang tercabut keluar. Sedangkan serat dengan perlakuan alkali selama 60 menit menunjukkan patahan *splitting in multiple area* yang berarti komposit memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Lamanya waktu perendaman serat kedalam larutan NaOH sangat berpengaruh pada tingkatan kekuatan *fracture* pada spesimen, karena semakin lama waktu yang digunakan dalam perendaman larutan NaOH justru akan membuat serat menjadi rapuh dan rusak.

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, rambut manusia 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 Human Hair Fiber (HHF)**

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).

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.

Dari sifat-sifat 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*.

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

*Human hair* atau rambut manusia 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. Serat rambut memiliki diameter sekitar 50-100  $\mu\text{m}$ , memiliki fungsi pelindung kulit kepala dari sengatan sinar matahari, kedinginan, dan gangguan mekanis terhadap kepala. Serat rambut manusia dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu kutikula, korteks, dan medulla (Cruz *et al*, 2016).

Limbah Rambut yang di gunakan, didapat langsung dari pembuangan tempat usaha pangkas rambut, mempunyai sifat fisik diantaranya berupa helaian (serat) berwarna hitam, berdiameter kurang lebih 0,1 mm, bersifat lentur dan ulet (tidak mudah putus). Selama ini pemanfaatan limbah rambut belum terlalu banyak, diantaranya sebagai bahan pembuat sanggul, dan masih banyak limbah rambut yang belum bisa dimanfaatkan secara optimal. Perkembangan teknologi memungkinkan perluasan pemanfaatan limbah rambut, diantaranya sebagai pengisi bahan bangunan, Menurut (Wasitaatmadja, 1997), rambut bersifat lentur dan tidak mudah rapuh, sangat tahan terhadap perubahan suhu dan cuaca termasuk genangan air. Dengan karakteristik rambut seperti ini maka diharapkan dapat memperbaiki sifat kurang baik beton.

Limbah rambut kemudian dilakukan perawatan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai serat substitusi semen. Perawatan yang dilakukan antara lain:

1. Pemisahan limbah rambut dengan limbah lainnya. Limbah rambut yang dikumpulkan biasanya masih bercampur dengan limbah-limbah lain sehingga perlu dilakukan penyortiran terlebih dahulu.
2. Mencuci limbah rambut menggunakan sabun agar kotoran-kotoran yang masih menempel dipermukaan rambut bisa hilang.
3. Memotong limbah rambut manusia sesuai dengan ukuran yang akan digunakan yakni  $\pm 20$  mm.

### **2.3 Beton**

Beton merupakan pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah atau kerikil). Kadang-kadang ditambahkan pula campuran bahan lain (admixture) untuk memperbaiki kualitas beton. Campuran dari bahan susun (semen, pasir, kerikil, dan air) yang masih plastis ini dicor ke dalam acuan dan dirawat untuk mempercepat reaksi hidrasi campuran semen air, yang menyebabkan pengerasan beton. Bahan yang terbentuk ini mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, tetapi ketahanan terhadap tarik rendah.

Campuran antara semen dan air akan membentuk pasta semen berfungsi sebagai bahan ikat. Sedangkan, pasir dan kerikil merupakan bahan agregat yang berfungsi sebagai bahan pengisi sekaligus bahan yang diikat oleh pasta semen. Ikatan antara pasta semen dengan agregat ini menjadi kesatuan yang kompak dan dengan berjalannya waktu akan menjadi keras serta padat yang disebut beton.

Beton memiliki beberapa faktor keunggulan sehingga pemakaiannya begitu luas. Sifat keunggulan beton antara lain (Nugraha, 2007):

1. Ketersediaan (availability) material dasar Agregat, air dan semen pada umumnya bisa didapat dengan mudah dari lokal setempat dan harga yang relatif murah.
2. Kemudahan untuk digunakan (versatility) Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bisa diangkut secara terpisah. Beton bisa dipakai untuk berbagai struktur, seperti bendungan, landasan udara, fondasi.

3. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal Secara umum ketahanan beton cukup tinggi, lebih tahan karat sehingga tidak perlu dicat, lebih tahan terhadap bahaya kebakaran.

4. Kekuatan tekan tinggi.

Di samping segala keunggulan di atas, beton sebagai struktur juga mempunyai beberapa kelemahan yang perlu dipertimbangkan, yaitu (Nugraha, 2007):

1. Kuat tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar.
2. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
3. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
4. Berat (bobotnya besar).
5. Beton cenderung retak, karena semennya hidraulis.
6. Beton tidak mampu menahan gaya tegangan (tension) yang tinggi, karena elastisitasnya yang rendah.

## **2.4 Bahan Penyusun Beton**

### **2.4.1 Agregat**

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, di mana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar. Karena agregat merupakan bahan yang terbanyak di dalam beton, maka semakin banyak persen agregat dalam campuran akan semakin murah harga beton, dengan syarat campurannya masih cukup mudah dikerjakan untuk elemen struktur yang memakai beton tersebut.

Menurut SNI 2847-2019, Agregat diartikan sebagai bahan berbutir seperti pasir, kerikil, batu pecah dan slag tanur (blast-furnance slag) yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Secara



umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

a. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000 agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industry pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 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 harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri butiran yang ukuran butirnya beragam, sehingga dapat mengisi rongga-rongga yang terdapat didalam beton. Persyaratan batas-batas susunan besar butir agregat kasar (Kerikil atau Koral) dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Susunan Butiran Agregat Kasar

Ukuran mata ayakan	Persentase berat bagian yang lewat ayakan		
(mm)	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

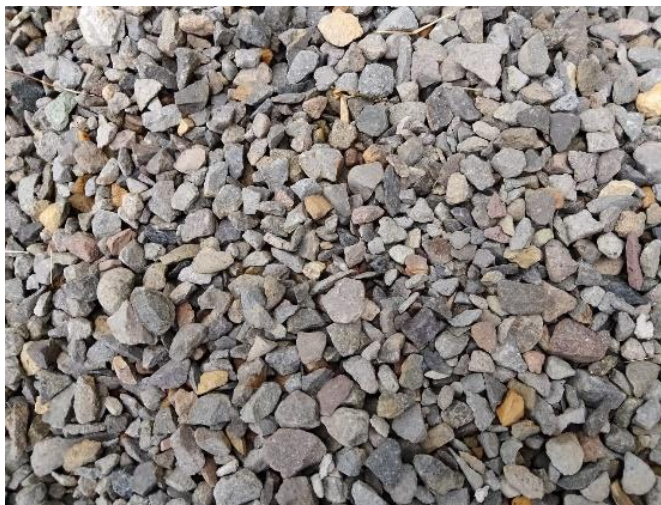
Sumber: SNI 2834-2000

Adapun kualitas agregat kasar yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi adalah:

1. Agregat kasar harus merupakan butiran keras dan tidak berpori. Agregat kasar tidak boleh hancur karena adanya pengaruh cuaca. Sifat keras diperlukan agar diperoleh beton yang keras pula, sifat tidak berpori untuk menghasilkan beton yang tidak mudah tembus oleh air.

2. Agregat kasar harus bersih dari unsur organik.
3. Agregat tidak mengandung lumpur lebih dari 10% berat kering. Lumpur yang dimaksud adalah agregat yang melalui ayakan diameter 0,063 mm, bila melebihi 1% berat kering maka kerikil harus dicuci terlebih dahulu.
4. Agregat mempunyai bentuk yang tajam. Dengan bentuk yang tajam maka timbul gesekan yang lebih besar pula yang menyebabkan ikatan yang lebih baik, selain itu dengan bentuk tajam akan memerlukan pasta semen sehingga akan mengikat dengan lebih baik, seperti yang ditunjukkan pada

**Gambar 1.**



**Gambar 1.** Agregat Kasar

b. Agregat Halus

Menurut SNI 2834-2000 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau pasir yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Dijelaskan pula 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 2**.

**Tabel 2.** 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

Sumber: SNI 2834-2000

Syarat-syarat untuk pasir adalah sebagai berikut:

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

Agregat halus dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Agregat Halus

### 2.4.2 Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah selesai pengadukan dan juga dapat memperbaiki keawetan dari beton yang dikerjakan. Beton pada umumnya mengandung rongga udara sekitar 1%-2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25%-40% dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60%-75%.

Semen Portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenisnya berkisar antara 3,12 dan 3,16, dan berat volume satu sak semen adalah 94 lb/ft<sup>3</sup>. Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silika (SiO<sub>2</sub>) – dari lempung,
3. Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – dari lempung (dengan sedikit presentasi magnesias, MgO, dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya.

Adapun jenis-jenis semen Portland menurut 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 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.

### 2.4.3 Air

Air yang dapat di minum umumnya dapat di pergunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila di pakai dalam campuran beton akan menyebabkan penurunan kualitas beton yang di hasilkan dan juga akan mengubah sifat-sifat beton yang di buat. Karena karakter pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang di tinjau, tetapi hanya perbandingan antara air dengan semen saja atau biasa di sebut faktor air semen (*water cement ratio*). Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang sedikit akan menyebabkan proses hidrasi seluruhnya tidak akan tercapai, yang pada akhirnya akan mempengaruhi kekuatan mutu beton yang tidak akan tercapai. Air pada campuran beton berpengaruh terhadap:

1. Sifat workability adukan beton.
2. Besar kecilnya nilai susut beton.
3. Kelangsungan reaksi dengan semen portland, sehingga dihasilkan kekuatan selang beberapa waktu.
4. Perawatan terhadap adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Air digunakan sebagai bahan pencampur dan pengaduk beton untuk mempermudah pekerjaan. Pemakaian air untuk beton tersebut sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton seperti asam, zat organik.
4. Tidak mengandung minyak dan alkali.
5. Tidak mengandung senyawa asam.

## 2.5 Larutan NaOH

Rambut manusia memiliki sifat 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 campuran. 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.



Sumber: Iqbal M, 2022

NaOH juga menghilangkan penyusun rambut tertentu seperti kandungan senyawa 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 Rambut Manusia 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 hasil percobaan ditemukan bahwa rambut manusia yang direndam pada larutan NaOH 5% selama 1 jam mengalami peningkatan kekuatan tarik sebesar 16-22% lebih tinggi dibandingkan rambut manusia yang tidak direndam sama sekali.

## 2.6 Pengujian *Pull-Out*

Menurut Majidi (2009), kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton yang membungkusnya dipengaruhi oleh faktor:

- 1) Adhesi antara elemen beton dan bahan penguatnya yaitu tulangan dimana adhesi ini adalah gaya tarik menarik (ikatan kimiawi) yang terbentuk pada seluruh bidang kontak antara beton dan tulangan akibat adanya proses reaksi pergeseran semen.
- 2) Efek gripping (memegang) sebagai akibat dari susut pengeringan beton di sekeliling tulangan.
- 3) Tahanan geser (friksi) terhadap gelincir dan saling mengunci pada saat elemen tulangan mengalami tarik.
- 4) Efek kualitas beton termasuk kekuatan tarik dan tekannya. Akibat desakan oleh tegangan radial, beton mengalami tegangan tarik keliling, jika tegangan tarik beton terlampaui maka akan terjadi retak belah.
- 5) Efek mekanis penjangkaran ujung tulangan yaitu dengan panjang penyaluran/panjang lewatan, bengkokan tulangan dan persilangan tulangan.

- 6) Diameter, bentuk, dan jarak tulangan karena semuanya mempengaruhi pertumbuhan retak. Diameter yang terlalu kecil akan mengakibatkan keruntuhan putus pada tulangan karena kuat lekatnya terlalu jauh lebih tinggi dari pada kuat putus baja. Sedangkan diameter yang terlalu besar akan mengakibatkan keruntuhan *slip*, karena kuat tarik baja lebih besar dari kuat lekatnya sehingga akan terjadi slip yang didahului oleh retak belah yang sangatcepat. Bentuk tulangan polos keruntuhan akan berupa slip karena kuat lekat beton sangat kecil, sedangkan betuk ulir akan mengalami keruntuhan belah, jarak tulangan yang terlalu dekat dibanding selimut beton, maka akan terjadi keruntuhan belah.
- 7) *Interlocking*, mekanisme ini terbentuk karena adanya interaksi antara tulanganulir/tonjolan tulangan dengan matriks beton yang ada disekitarnya, mekanismeini sangat bergantung pada kekuatan, kepadatan material beton, geometri dan diameter tulangan.
- 8) Selimut beton, selimut beton yang tidak mencukupi untuk mengakomodasi tegangan tarik keliling akan mengakibatkan retak belah yang selanjutnya mengakibatkan kehancuran belah.
- 9) Korosi, korosi/karatan akan mengakibatkan turunya *adhesi*, *gripping*, *friksi*.

Kontribusi masing-masing faktor ini sulit dipisahkan satu dengan yang lainnya. Kontribusi beton dengan adanya faktor saling geser, susut dan mutu beton ditambah dengan kontribusi tulangan baja yang bergantung pada dimensi, bentuk dan jarak tulangan ditambah dengan efek mekanis saling berinteraksi satu dengan yang lainnya dalam memberikan kekuatan lekatan kedua material.

Untuk tulangan polos, lekatan antara tulangan dan beton dibentuk oleh adanya adhesi dan friksi. Pada saat pembebanan awal adhesi dan friksi bekerja bersama-sama hingga tercapai kondisi beban maksimum. Pada kondisi ini adhesi mulai rusak sehingga lekatan antara beton dan tulangan hanya dipikul oleh friksi saja. Selanjutnya kapasitas lekatan berangsur-angsur turun karena berkurangnya friksi yang menyebabkan slip.



## 2.7 Baja Tulangan

Besi beton adalah besi yang difungsikan pada penulangan kekuatan struktur konstruksi atau biasanya juga dikenal sebagai baja tulangan beton. Baja berbentuk batang bulat yang digunakan untuk pembesian beton, yang dihasilkan dari canai panas (hot rolling) dengan bahan dasar billet (SNI-07-2052-2017).

Beton lemah dalam menahan gaya tarik tanpa retak-retak. Oleh karena itu, beton perlu diberi bantuan kekuatan penulangan untuk meningkatkan kekuatan gaya tarik akibat beban yang timbul dalam suatu system. (Gatot S, 2011). Sifat mekanis baja tulangan ditunjukkan pada **Tabel 4** dibawah ini.

**Tabel 4.** Sifat Mekanis Baja Tulangan Beton

Kelas baja tulangan	Uji tarik		
	Kuat luluh/leleh (YS)	kuat tarik (TS)	Regangan dalam 200 mm, Min.
	Mpa	Mpa	%
BjTP 280	Min. 280	Min. 350	11 ( $d \leq 10$ mm)
	Maks. 405		12 ( $d \geq 12$ mm)
BjTS 280	Min. 280	Min. 350	11 ( $d \leq 10$ mm)
	Maks. 405		12 ( $d \geq 13$ mm)
BjTS 420A	Min. 420 Maks. 545	Min. 525	9 ( $d \leq 19$ mm)
			8 ( $22 \leq d \leq 25$ mm)
			7 ( $d \geq 29$ mm)
BjTS 420B	Min. 420 Maks. 545	Min. 525	14 ( $d \leq 19$ mm)
			12 ( $22 \leq d \leq 36$ mm)
			10 ( $d > 36$ mm)
BjTS 520	Min. 520 Maks. 645	Min. 650	7 ( $d \leq 25$ mm)
			6 ( $d \geq 29$ mm)
BjTS 550	Min. 550 Maks. 675	Min. 687,5	7 ( $d \leq 25$ mm)
			6 ( $d \geq 29$ mm)
BjTS 700	Min. 700 Maks. 825	Min. 805	7 ( $d \leq 25$ mm)
			6 ( $d \geq 29$ mm)

Sumber : SNI 2052-2017

## 2.8 Lekatan antara Beton dan Tulangan

Pada umumnya penggunaan tulangan pokok pada struktur beton bertulang merupakan untuk menggantikan kuat tarik material beton yang lemah. Tegangan tarik yang terjadi pada beton ditransfer ke tulangan melalui mekanisme pengikatan, yang memungkinkan kedua material, beton dan tulangan, untuk bekerja sama membentuk unit ikatan material. Kuat lekat merupakan kombinasi kemampuan antara baja tulangan dan beton yang menyelimutinya dalam menahan gaya-gaya yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan antara baja tulangan dan beton (Winter & Nilson, 1993).

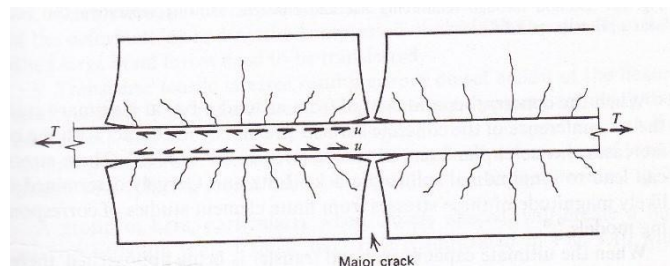
Salah satu anggapan dasar yang digunakan dalam perencanaan dan analisis struktur beton bertulang adalah lekatan batang tulangan baja dengan beton yang mengelilinginya berlangsung sempurna tanpa terjadi penggelinciran atau pergeseran. Berdasarkan atas anggapan tersebut pada waktu komponen struktur beton bertulang bekerja menahan beban akan timbul tegangan lekat berupa shear interlock pada permukaan singgung antara batang tulangan dengan beton (Dipohusodo, 1994).

Ikatan efektif antara beton dan tulangan mutlak perlu, karena penggunaan secara efisien kombinasi tulangan dan beton tergantung pada pelimpahan tegangan beton pada tulangan. Kekuatan ikatan atau pengukuran efektivitas kekuatannya pegangan antara beton dan tulangan, paling baik ditentukan sebagai tegangan yang ada dimana terjadi pergelinciran yang sangat kecil. Ikatan awal ditahan oleh adhesi (daya perlekatan dua buah benda yang berlainan) dan daya tahan terhadap geseran. Tetapi segera setelah pergelinciran dimulai, maka adhesi hilang dan ikatan yang berikutnya ditahan oleh ketahanan terhadap geseran dan secara mekanik (Murdock et al dalam Gilang, 2011).

Kekuatan lekat dapat terjadi akibat adanya saling geser antara tulangan dan beton di sekelilingnya. Kuat lekat merupakan kombinasi kemampuan antara tulangan dan beton yang menyelimutinya dalam menahan gaya-gaya yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan antara tulangan dan beton (Winter, 1993).

Pada *Pull-out Test* tulangan ditarik dari beton sehingga beton di sekelilingnya mengalami tekan. Pada penggunaan sebagai salah satu komponen bangunan, beton selalu diperkuat dengan batang baja tulangan yang diharapkan

bajadapat bekerja sama dengan baik, sehingga hal ini akan menutup kelemahan yang ada pada beton yaitu kurang kuat dalam menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan. Adapun **Gambar 3** di bawah ini menunjukkan pola retak yang terjadi di sekitar tulangan polos yang melekat pada matriks beton.



**Gambar 3.** Pola keruntuhan pada beton di sepanjang daerah lekatan

Gaya lekat ini akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya diameter tulangan, karena gaya lekat merupakan luas bidang singgung dikalikan dengan tegangan lekat. Hal ini berarti bahwa dengan diameter tulangan yang lebih besar mempunyai luas permukaan yang lebih besar juga, sehingga gaya yang dibutuhkan untuk menarik keluar juga semakin besar. Pada penggunaan sebagai salah satu komponen bangunan, beton selalu diperkuat dengan batang tulangan yang diharapkan dapat bekerja sama dengan baik, sehingga hal ini akan menutup kelemahan yang ada pada beton yaitu kurang kekuatan dalam menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan.

Pengujian kekuatan lekat beton bertulangan baja dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan (1) berdasarkan ASTM C-234-91a.

$$P = L_d \pi d_s \mu \dots\dots\dots (1)$$

$$\mu = \frac{P}{L_d \pi d_s} \dots\dots\dots (2)$$

Luas bidang kontak pada tulangan bambu dapat disesuaikan dengan keliling penampang melintang dikalikan panjang penanaman. Sehingga perhitungan kekuatan lekat tulangan bambu dapat dihitung dengan Persamaan (3).

$$\mu = \frac{P}{Ld \cdot 2(lb+tb)} \dots\dots\dots (3)$$

dengan,

P = Beban (N)

Ld = Panjang penanaman (mm)

$\mu$  = Kekuatan lekat antara beton dengan tulangan (MPa)

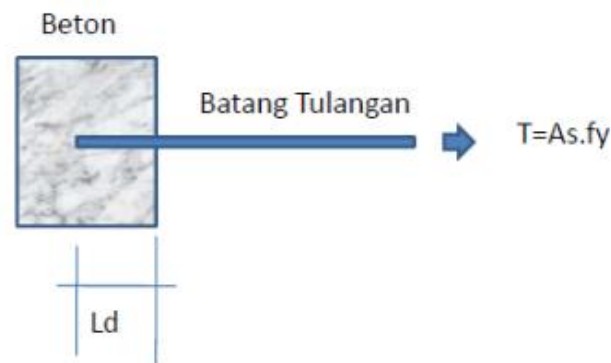
ds = Diameter tulangan (mm)

lb = Lebar tulangan bambu (mm)

tb = Tebal tulangan bambu (mm)

## 2.9 Panjang Penyaluran Minimum

Panjang penyaluran minimum menurut SNI 2847-2019 adalah panjang tulangan tertanam yang diperlukan untuk mengembangkan kuat rencana tulangan pada suatu penampang kritis. Panjang penyaluran menentukan tahanan terhadap tergelincirnya tulangan. Adapun dasar utama dari teori panjang penyaluran tersebut adalah dengan memperhitungkan sebuah tulangan yang tertanam di dalam beton seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Skema Panjang Penyaluran Tulangan dan Beton

Agar batang dapat menyalurkan gaya sepenuhnya melalui ikatan, maka batang tersebut harus tertanam di dalam beton hingga suatu kedalaman tertentu yang dinyatakan dalam panjang penyaluran. Sebuah gaya tarik  $T$  bekerja pada tulangan tulangan tersebut. Gaya ini ditahan oleh lekatan antara beton sekeliling dengan tulangan. Bila tegangan lekat ini bekerja merata pada seluruh bagian batang yang tertanam, total gaya yang harus dilawan sebelum batang tersebut keluar dari beton akan sama dengan panjang bagian yang tertanam dikalikan keliling tulangan kali tegangan lekat.

Untuk menghitung besarnya panjang tulangan yang tertanam pada beton diperlukan adanya nilai tegangan lekat ( $\mu$ ). Hal ini berarti bahwa tegangan lekat berhubungan erat dengan panjang penanaman tulangan pada beton. Sehingga panjang penyaluran minimum dapat dirumuskan seperti pada Persamaan (4) sebagai berikut:

$$l_{d \min} = k \frac{f_y}{\sqrt{f'c}} A_s \dots\dots\dots (4)$$

## 2.10 Tipe Keruntuhan

Keruntuhan lekatan antara baja tulangan dan beton yang mungkin terjadi pada saat dilakukan pengujian biasanya ditunjukkan oleh salah satu atau lebih dari peristiwa berikut ini (Langi, 2018):

- 1) *Transverse Failure*, yaitu adanya retak pada beton arah transversal/melintang akibat tegangan tarik yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
- 2) *Splitting Failure*, yaitu adanya retak pada beton arah longitudinal/memanjang akibat tegangan radial geser yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
- 3) *Pull-Out Failure/Slip* yaitu kondisi dimana baja tulangan tercabut dari beton tanpa mengalami retak yang diakibatkan komponen tegangan geser yang memecah lekatan antara baja tulangan dan beton.
- 4) Baja tulangan mencapai leleh yaitu apabila baja tulangan meleleh diikuti oleh kontraksi atau pengecilan diameter tulangan, hal ini mengakibatkan tidak berfungsinya lekatan terhadap beton yang mengelilinginya, sehingga akan menurunkan atau bahkan hilangnya daya lekatan antara baja tulangan dan beton.
- 5) Putusnya tulangan apabila penanamannya terlalu panjang.

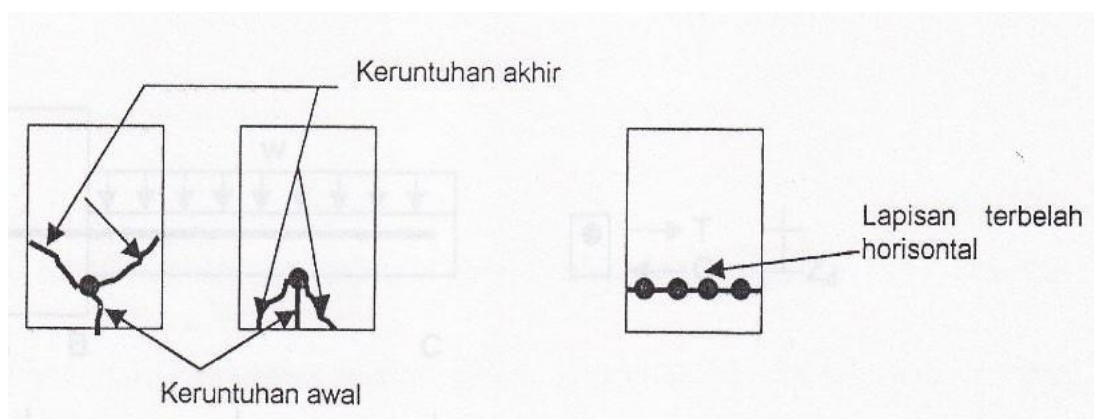
Kuat lekatan jauh lebih besar dari pada kuat putus tulangan, sehingga tulangan putus. Penelitian terhadap sifat keruntuhan lekatan yang dilakukan terhadap bentuk tulangan dapat dikembangkan sebagai berikut :

- 1) Tulangan baja polos

Pada tulangan baja polos, lekatan yang terjadi adalah karena adanya adhesi antara beton dengan permukaan tulangan. Tegangan tarik pada baja walaupun relative kecil dapat mengakibatkan terjadinya *slip* yang cukup untuk menghilangkan adhesi pada lokasi yang berdekatan langsung dengan retak didalam beton. Susut juga dapat menimbulkan gesekan pada batang tulangan. Bila adhesi cukup tinggi tegangan tarik dapat mengakibatkan terlepasnya tulangan dari beton karena terbelah di arah memanjang. Sedangkan bila adhesi relatif rendah, tegangan tarik tulangan akan terlepas keluar meninggalkan lobang bulat dalam beton.

## 2) Tulangan baja deformasian (ulir)

Tulangan baja ulir lebih mengandalkan tahanan dari gerigi terhadap beton dikarenakan baja tulangan beton yang permukaannya memiliki sirip/ulir melintang dan memanjang yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton. Sirip-sirip/ulir-ulir melintang sepanjang batang baja tulangan beton harus terletak pada jarak yang teratur. Serta mempunyai bentuk dan ukuran yang sama. Bila diperlukan tanda angka-angka atau huruf-huruf pada permukaan baja tulangan beton, maka sirip/ulir melintang pada posisi di mana angka atau huruf dapat ditiadakan. Keruntuhan lekatan antara baja ulir dengan beton hampir selalu merupakan keruntuhan akibat terbelahnya penampang sekitar tulangan, ditunjukkan pada **Gambar 5** sebagai berikut:



**Gambar 5.** Bentuk kegagalan lekatan tulangan deformasian

### 2.11 Hubungan Panjang Penyaluran Terhadap Tegangan Lekat

Panjang penyaluran adalah panjang yang diperlukan untuk mengembangkan tegangan baja hingga mencapai tegangan leleh, merupakan fungsi dari tegangan leleh, diameter, dan tegangan lekat baja tulangan dengan beton. Panjang penyaluran menentukan tahanan terhadap tergelincirnya tulangan dari ikatan dengan beton. Agar batang dapat menyalurkan gaya sepenuhnya melalui ikatan, maka baja harus

tertanam di dalam beton hingga suatu kedalaman tertentu yang dinyatakan dengan panjang penyaluran. Sehingga dalam perencanaan panjang penyaluran di gunakan tegangan lekat saat baja tulangan mencapai luluh. Sedangkan tegangan lekat bervariasi saat baja tulangan mencapai luluh dengan diameter yang sama. Ini disebabkan oleh luas bidang kontak baja tulangan dengan beton juga bervariasi, sedangkan gaya yang di butuhkan untuk mencapai baja tulangan hingga luluh relatif sama untuk setiap baja tulangan dengan diameter yang sama.