

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENGEKANGAN PADA BETON  
MENGUNAKAN VARIASI PANJANG HHF TERHADAP  
LEKATAN BETON BERTULANG**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD AMAR AHMAD  
D011 20 1014**



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



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****PENGARUH PENGEKANGAN PADA BETON MENGGUNAKAN  
VARIASI PANJANG HHF TERHADAP LEKATAN BETON  
BERTULANG**

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD AMAR AHMAD**  
**D011 20 1014**

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, S.T., M.Eng.**  
NIP 19680529 200212 1 002

Menyetujui,  
Pembimbing Utama



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



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Muhammad Amar Ahmad  
NIM : D011201014  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Pengaruh Pengekangan pada Beton Menggunakan Variasi Panjang HHF terhadap  
Lekatan Beton Bertulang

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



Muhammad Amar Ahmad



## ABSTRAK

**MUHAMMAD AMAR AHMAD** *Pengaruh Pengekangan pada Beton Menggunakan Variasi Panjang HHF Terhadap Lekatan Beton Bertulang (dibimbing oleh Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin ST., MT)*

Beton telah lama dikenal sebagai bahan bangunan yang kokoh dan banyak digunakan dalam berbagai proyek konstruksi. Namun, industri semen sebagai komponen utama beton menyumbang emisi gas rumah kaca yang signifikan, sehingga diperlukan upaya untuk mengurangi penggunaannya. Salah satu alternatif adalah dengan memanfaatkan limbah, seperti limbah rambut manusia menjadi *Human Hair Fiber* (HHF) sebagai bahan substitusi semen. Beton berserat merupakan inovasi yang mengintegrasikan serat ke dalam campuran beton, memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap tegangan tarik, tekanan lateral, dan retakan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi HHF dengan panjang 0mm (kontrol) dan 6mm yang direndam dalam larutan NaOH terhadap kekuatan tegangan lekatan beton, serta pengaruh pengekangan tulangan spiral terhadap kekuatan tegangan lekat beton yang disubstitusi dengan HHF. Metode yang digunakan adalah pengujian pull-out tulangan baja pada silinder beton dengan dimensi  $150 \times 300$  mm dan kekuatan tekan rencana  $f'_c = 25$  MPa, Benda uji ini merupakan beton dengan substitusi semen HHF 0% dan 2% terhadap berat semen yang memiliki panjang 60mm, serta menggunakan tulangan spiral dan tanpa tulangan spiral.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan HHF sebagai substitusi semen menurunkan nilai tegangan lekat, dengan penurunan terbesar pada campuran beton 2%HHF sebesar 6.08% untuk sampel tanpa spiral dan 10.87% untuk sampel dengan spiral. Namun, penggunaan 2%HHF masih menghasilkan nilai tegangan lekat yang cukup sebanding dengan 0%HHF. Benda uji dengan tulangan spiral menunjukkan nilai tegangan lekat yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji tanpa tulangan spiral. Tegangan lekat sampel 0%HHF-S meningkat sebesar 19.96% dan sampel 2%HHF-S meningkat sebesar 13.83% dibandingkan dengan sampel tanpa tulangan spiral. Sehingga, pengekangan tulangan spiral mempengaruhi kekuatan lekatan beton HHF sebagai substitusi semen.

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pengekangan tulangan spiral sebagai efek *confinement* mempengaruhi kekuatan lekatan beton HHF sebagai substitusi semen, sehingga beton berserat dengan HHF memiliki potensi untuk digunakan dalam konstruksi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

**Kata Kunci:** Beton, HHF, Tulangan Spiral, *Pull-out*, Tegangan Lekat



## ABSTRACT

**MUHAMMAD AMAR AHMAD** *Effect of Confinement in Concrete Using HHF Length Variations on Reinforced Concrete Bonding (supervised by Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin ST., MT)*

Concrete has long been recognized as a sturdy building material and is widely used in various construction projects. However, the cement industry as the main component of concrete contributes significant greenhouse gas emissions, so efforts are needed to reduce its use. One alternative is to utilize waste, such as human hair waste into Human Hair Fiber (HHF) as a substitute for cement. Fibrous concrete is an innovation that integrates fibers into the concrete mix, providing better resistance to tensile stress, lateral pressure, and cracks.

This study aims to determine the effect of HHF substitution with 0mm (control) and 6mm lengths soaked in NaOH solution on the adhesive stress strength of concrete, as well as the effect of spiral reinforcement restraint on the adhesive stress strength of concrete substituted with HHF. The method used was pull-out testing of steel reinforcement in concrete cylinders with dimensions of 150 × 300 mm and plan compressive strength  $f'_c = 25$  MPa. The test specimens were concrete with 0% and 2% HHF cement substitution by weight of cement having a length of 60mm, and using spiral reinforcement and without spiral reinforcement.

The test results showed that increasing the use of HHF as a cement substitute decreased the adhesive stress value, with the largest decrease in the 2%HHF concrete mix of 6.08% for the sample without spiral and 10.87% for the sample with spiral. However, the use of 2%HHF still resulted in adhesive stress values that were quite comparable to 0%HHF. The specimens with spiral reinforcement showed higher values of adhesion stress than the specimens without spiral reinforcement. The adhesive stress of the 0%HHF-S sample increased by 19.96% and the 2%HHF-S sample increased by 13.83% compared to the sample without spiral reinforcement. Thus, the restraint of spiral reinforcement affects the adhesive strength of HHF concrete as a cement substitute.

From the results of this study, it can be concluded that the restraint of spiral reinforcement as a confinement effect affects the bond strength of HHF concrete as a cement substitute, thus fibrous concrete with HHF has the potential to be used in more sustainable and environmentally friendly construction.

**Keywords:** Concrete, HHF, Spiral reinforcement, Pull-out, Adhesion Stress



## 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 .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang lingkup.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	6
2.2 Beton.....	9
2.3 Material Penyusun Beton.....	10
2.3.1 Semen .....	10
2.3.2 Agregat .....	14
2.2.3 Air .....	17
2.2.4 Serat Rambut Manusia.....	18
2.2 Baja Tulangan .....	23
2.4 Sengkang Spiral .....	26
Lekatan antara Beton dan Tulangan .....	28
Sifat-Sifat Keruntuhan Lekatan .....	34
Panjang Penyaluran Dasar <i>ld</i> .....	35



2.8 Pengujian Pencabutan Keluar Pelekatan .....	39
2.9 Hubungan Panjang Penyaluran Terhadap Tegangan Lekat .....	39
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>41</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	41
3.2 Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian .....	42
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data .....	43
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	43
3.4.1 Bahan Penelitian .....	43
3.4.2 Alat Penelitian.....	45
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Baja .....	45
3.6 Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	45
3.7 Pemeriksaan Kadar Air HHF.....	46
3.8 Pembuatan Benda Uji.....	46
3.7.1 Perawatan HHF dengan Perendaman NaOH 5% .....	48
3.7.2 Pembuatan Benda Uji Pull Out.....	49
3.9 Perawatan Benda Uji .....	52
3.10 <i>Set-Up</i> Pengujian Pull-Out .....	52
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>54</b>
4.1 Karakteristik Material .....	54
4.1.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tulangan Baja .....	54
4.1.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	55
4.1.3 Hasil Pemeriksaan Kadar Air HHF .....	56
4.2 Komposisi <i>Mix Design</i> .....	57
4.3 Hasil Pengujian Pull-out Beton dan Baja Tulangan.....	57
4.3.1 Tegangan Lekat Baja Tulangan pada Beton.....	57
4.3.2 Perhitungan Panjang Penyaluran Minimum .....	65
4.3.3 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) .....	67
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>71</b>
5.1 Kesimpulan .....	71
5.1.1 Kesimpulan .....	71
5.1.2 Saran .....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>72</b>
<b>SARAN.....</b>	<b>76</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Struktur dan bagian pada batang rambut manusia.....	19
<b>Gambar 2.</b> Digram tegangan-regangan untuk baja tipikal yang mengalami Tarik .....	24
<b>Gambar 3.</b> Tulangan Spiral Pada Kolom.....	27
<b>Gambar 4.</b> Kurva Tegangan dan Regangan Pada Beton Terkurung ( <i>Confined Concrete</i> ) dan Beton Tidak Terkurung ( <i>Unconfined Concrete</i> ) .....	27
<b>Gambar 5.</b> Gaya Tekan antara Beton di Dalam Sengkang dan Beton di Luar Sengkang. ....	28
<b>Gambar 6.</b> Pola retak pada beton di sepanjang daerah lekatan.....	30
<b>Gambar 7.</b> Gaya-gaya diantara tulangan dan beton.....	32
<b>Gambar 8.</b> Panjang Penyaluran Baja Tulangan .....	32
<b>Gambar 9.</b> Bentuk kegagalan lekatan tulangan deformasian.....	35
<b>Gambar 10.</b> Pengujian Pencabutan Keluar Pelekatan, Dengan Distribusi-Distribusi .....	39
<b>Gambar 11.</b> Diagram Alir Penelitian .....	42
<b>Gambar 12.</b> Lokasi Penelitian Laboratorim Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.....	42
<b>Gambar 13.</b> Bahan-Bahan Penelitian.....	44
<b>Gambar 14.</b> Rencana Benda Uji .....	47
<b>Gambar 15.</b> Proses Pemilahan Human Hair .....	48
<b>Gambar 16.</b> Pencucian Limbah Rambut.....	48
<b>Gambar 17.</b> Benda Uji dengan Tulangan Spiral .....	49
<b>Gambar 18.</b> Proses penimbangan material .....	50
<b>Gambar 19.</b> Proses Memasukkan HHF ke dalam Campuran .....	50
<b>Gambar 20.</b> Pengujian Slump.....	51
<b>Gambar 21.</b> Campuran Beton dalam Cetakan .....	51
<b>Gambar 22.</b> Benda Uji Yang Telah Dikeluarkan Dari Cetakan .....	52
<b>Gambar 23.</b> Perawatan Benda Uji .....	52
<b>Gambar 24.</b> Set-Up Pengujian Pull-Out .....	53
<b>Gambar 25.</b> Gradasi Butiran Agregat Halus.....	56
<b>Gambar 26.</b> Hubungan Beban-Perpindahan Sampel Kontrol 0% HHF-TS dan 0%HHF-S .....	58
<b>Gambar 27.</b> Tipikal keruntuhan sampel 0%HHF-TS Setelah di Uji Pull-Out....	59
<b>Gambar 28.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 0%HHF-S Setelah di Uji Pull-Out....	59
<b>Gambar 29.</b> Hubungan Beban-Perpindahan Sampel 2%HHF-TS dan 2%HHF-S.....	60
<b>Gambar 30.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 2%HHF-TS Setelah di Uji Pull-Out... 61	
<b>Gambar 31.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 2%HHF-S Setelah di Uji Pull-Out .... 61	
<b>Gambar 32.</b> Grafik Gabungan Hubungan Beban-Perpindahan .....	62
<b>Gambar 33.</b> Grafik Kekuatan Lekat Sampel Beton HHF .....	64
<b>Gambar 34.</b> Grafik Hubungan $l_d$ dan $\tau_u$ .....	66
<b>Gambar 35.</b> Mikrofoto SEM Sample 0%HHF .....	69
<b>Gambar 36.</b> Mikrofoto SEM Sample 2%HHF .....	70





## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Jenis-jenis semen OPC berdasarkan penggunaannya.....	12
<b>Tabel 2.</b> Gradasi Agregat Halus .....	15
<b>Tabel 3.</b> Batas-batas Tertentu Gradasi Agregat Kasar (SNI 7656:2012) .....	17
<b>Tabel 4.</b> Sifat serat Rambut Manusia .....	19
<b>Tabel 5.</b> Sifat Mekanis HHF yang Direndam dan Tidak Direndam.....	22
<b>Tabel 6.</b> Sifat mekanis baja tulangan beton.....	26
<b>Tabel 7.</b> Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir dalam Kondisi Tarik .....	37
<b>Tabel 8.</b> Faktor Modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik .....	38
<b>Tabel 9.</b> Standar Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus .....	45
<b>Tabel 10.</b> Standar Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus .....	46
<b>Tabel 11.</b> Rincian Benda Uji .....	47
<b>Tabel 12.</b> Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tulangan Baja.....	54
<b>Tabel 13.</b> Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat .....	55
<b>Tabel 14.</b> Nilai Kadar Air Berbagai Serat Alam .....	57
<b>Tabel 15.</b> Rancangan Campuran Beton .....	57
<b>Tabel 16.</b> Rekapitulasi Kekuatan Lekat Beton Tanpa Spiral.....	63
<b>Tabel 17.</b> Rekapitulasi Kekuatan Lekat Beton dengan Spiral.....	63
<b>Tabel 18.</b> Rekapitulasi Panjang Penyaluran Minimum Sampel dengan Tanpa Spiral (TS).....	65
<b>Tabel 19.</b> Rekapitulasi Panjang Penyaluran Minimum Sampel dengan Spiral (S).....	65
<b>Tabel 20.</b> Rekapitulasi Panjang Minimum Berdasarkan SNI 2847:2019.....	66



## 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
<i>HHF</i>	<i>Human Hair Fiber</i>
OPC	<i>Ordinary Portland Cement</i>
E	Regangan
P	Beban (N)
$\mu$	Kekuatan lekat antara beton dengan tulangan (Mpa)
$Ld$	Panjang penanaman (mm)
$Ldmin$	Panjang penyaluran minimum (mm)
$ds$	Diameter tulangan (mm)
$fy$	Tegangan leleh baja (Mpa)
AS	Luas tulangan ( $mm^2$ )
$k$	Koefisien panjang penyaluran minimum
	Diameter tulangan (mm)
	<i>Kalsium Silicate Hydrate</i>
	<i>Scanning Electron Microscopy</i>



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Pengambilan Limbah Rambut .....	76
<b>Lampiran 2.</b> Perawatan Limbah Rambut Menjadi HHF .....	76
<b>Lampiran 3.</b> Pembuatan Tulangan Baja dan Persiapan Tulangan Spiral .....	76
<b>Lampiran 4.</b> Persiapan Material Pengecoran.....	77
<b>Lampiran 5.</b> Proses Pengecoran dan Pengujian Nilai Slump .....	78
<b>Lampiran 6.</b> Proses Pengujian <i>Pull-out</i> .....	79
<b>Lampiran 7.</b> Kondisi Benda Uji Setelah Diuji .....	79



## KATA PENGANTAR

*Assalammualaikum Wr. Wb. Syukur Alhamdulillah*, penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya yang berlimpahkan secara terus-menerus sehingga Tugas Akhir dengan judul **“PENGARUH PENGEKANGAN PADA BETON MENGGUNAKAN VARIASI PANJANG HFF TERHADAP LEKATAN BETON BERTULANG”** penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Strata Satu di Departemen Teknik sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Menyelesaikan Tugas Akhir ini bukan semata usaha saya sendiri. Ada banyak tangan yang membantu, doa yang mengiringi, dan semangat yang membakar motivasi saya. Oleh karena itu. Dengan penuh rasa syukur dan ketulusan hati, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya 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. 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 Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga pada penyusunan tugas akhir ini.
5. **Bapak Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
6. **Seluruh Bapak dan Ibu Dosen** Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas jasa dan ilmu yang telah diberikan kepada saya semester satu hingga kini.



7. Seluruh Staf dan Karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. kedua orang tua tercinta, Bapak **Ahmad Arifin**. dan Ibu **Hj. Mardiana**. atas doa, kasih sayang, dan dukungan yang tiada henti, baik secara spiritual, moral, maupun materiil selama saya menempuh pendidikan sarjana ini. Begitu juga untuk adik-adik yang saya banggakan, **Muh Amir Ahmad, Muh Alqifaryi Ahmad, Muh Affan Ahmad, Asy-Shaffa Faradiba Ahmad**, dan seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah di berikan.
2. **Dimas, Ardi, Marcel, Miko, Valdo, Gregorius, Syahrur, Nabila, Shereen**, sebagai partner terkeren dalam di **Laboratorium Riset Gempa dan Rekayasa Struktur** yang telah membantu dan berbagi ilmunya dari awal penelitian hingga akhir, terima kasih karena telah menjadi rekan penelitian yang menyenangkan dan saling menyemangati sehingga penelitian ini dapat di selesaikan bersama.
3. **Kak Dwi, Kak Sadikin, Kak Attar, dan Kak Haslinda**, sebagai kakak S2 di **Laboratorium Riset Gempa dan Rekayasa Struktur**. Atas kesediaan mereka berbagi ilmu, memberikan saran, dan masukan yang sangat berharga terhadap penelitian saya, sehingga saya dapat menyelesaikannya dengan baik.
4. Saudara **Tasim, Kholish, Farhan Anhar, Vito, Arya, Ilham P** rekan-rekan seperjuangan di baruga yang telah memberikan kontribusi yang sangat berarti dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Saudari **Farah Ade Nabila**, atas dukungan dan motivasinya yang tiada henti selama proses penyusunan tugas akhir ini.
6. **Hindia/Wordfang**, terima kasih atas inspirasi dan motivasinya melalui musiknya. Karyanya selalu membangkitkan semangat dan mendorong saya untuk terus berproses dan mengejar mimpi saya.
7. Saudara-saudari **ENTITAS 2021**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan

di Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2020** senantiasa memberikan warna yang begitu inda, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.



Meskipun saya telah berusaha sebaik mungkin, saya memahami bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya dengan senang hati menerima koreksi, saran, dan kritik yang membangun untuk menyempurnakan tugas ini. Saya berharap Allah SWT senantiasa memberikan karunia dan keberkahan kepada kita semua, sehingga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat yang signifikan, khususnya dalam bidang ketekniksipilan.

Gowa , 5 Mei 2024



Penulis



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Penggunaan beton sebagai bahan bangunan telah dikenal sejak lama. Beton merupakan material komposit yang terdiri dari agregat (pasir, kerikil, batu pecah) dan semen sebagai pengikat. Semen bereaksi dengan air untuk membentuk pasta semen, yang kemudian membungkus dan merekatkan agregat, menghasilkan material padat dan kokoh. Produksi semen dalam jumlah yang besar akan berdampak besar terutama pada lingkungan dan kehidupan masyarakat di sekitar pabrik. Dimana industri semen menyumbang sebanyak 2 miliar ton gas rumah kaca atau sekitar 9% emisi CO<sub>2</sub> di seluruh dunia (Samsul et al., 2018). Sehingga, substitusi bahan limbah (*waste material*) pada pembuatan beton merupakan alternatif dalam upaya pengurangan penggunaan semen.

Beton merupakan material yang sangat umum digunakan dalam dunia konstruksi, digunakan dalam berbagai proyek seperti bangunan, jembatan, bendungan, hingga jalan raya. Kemampuannya menahan beban vertikal yang besar menjadikannya komponen penting dalam konstruksi modern. Beton memiliki beberapa kelebihan antara lain: kuat desaknya relatif tinggi, mudah dibentuk sesuai keinginan, perawatannya murah dan dapat dikombinasikan dengan bahan lain. (Mulyono, 2005), Namun, beton memiliki beberapa keterbatasan, terutama dalam menahan tegangan lateral dan risiko terjadinya retak. Seiring dengan semakin kompleksnya konstruksi dan meningkatnya tuntutan, kebutuhan akan material konstruksi yang lebih unggul menjadi semakin mendesak. Untuk menjawab permasalahan tersebut, beton berserat muncul sebagai inovasi yang menjanjikan.

Beton Berserat merupakan suatu inovasi industri konstruksi yang menggabungkan beton konvensional dengan serat kuat seperti serat logam, serat polimer, atau serat alam. Definisi utama dari beton serat adalah bahwa ia mengintegrasikan serat ke dalam campuran beton, menghasilkan material yang

ketahanan yang baik terhadap tegangan tarik, tekanan lateral, dan retakan, serta beton berfungsi sebagai penguat dalam beton, sehingga beton memiliki ketahanan tarik yang lebih tinggi, yang berarti dapat mengurangi terjadinya keretakan,



keretakan inilah yang sering menjadi masalah utama dalam beton konvensional (Lumingkewas, 2023)

Limbah rambut manusia, yang biasanya dihasilkan dari salon dan tempat cukur, dapat menjadi masalah lingkungan karena rambut manusia adalah limbah biologis yang sulit terurai. Debu rambut yang dihasilkan dari pembuangan limbah rambut secara terbuka juga menimbulkan banyak masalah kesehatan bagi orang-orang di sekitarnya. Pembakaran limbah rambut menghasilkan banyak gas beracun seperti amonia, sulfur dioksida, hidrogen sulfida, dan lain-lain. Cara terbaik untuk mengatasi masalah ini adalah dengan memanfaatkan limbah rambut sebagai bahan sumber dalam berbagai aplikasi (Nanda & Satapathy, 2020). Pemanfaatan rambut manusia sebagai bahan baku dalam berbagai industri membantu mengurangi jumlah limbah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir dan mendukung praktik pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan. Serat rambut adalah komponen utama yang membentuk rambut manusia, terdiri dari protein keratin yang sangat kuat dan elastis (Velasco et al., 2009). Sifat-sifat ini menjadikan serat rambut menarik untuk berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan tambahan dalam beton untuk meningkatkan kinerjanya.

Akan tetapi, sifat rambut yang hidrofilik menyebabkan banyak grup *hydroxyl* bergabung dengan molekul air melalui ikatan hidrogen. Daya serap air yang tinggi serta komabilitas yang kurang baik antara serat dan bahan menyebabkan kurangnya ikatan antara serat dan bahan. Perendaman menggunakan alkali umum digunakan untuk memodifikasi struktur dari rambut. Natrium Hidroksida (NaOH) adalah alkali yang umum digunakan untuk memecah grup *hydroxyl* (OH) serta struktur *crystalline* yang padat menjadi struktur jaringan amorf yang baru. NaOH juga menghilangkan penyusun rambut tertentu seperti hemiselulosa, lignin, lilin, dan minyak yang dapat meningkatkan kekasaran permukaan dari rambut. Lebih jauh, perendaman menggunakan alkali meningkatkan luas permukaan dari rambut yang dapat meningkatkan kelekatan dan ikatan antara rambut dan bahan yang menyebabkan kekuatan yang lebih baik pada komposit.



on itu sendiri memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan lainnya, seperti beton dapat dengan mudah dibentuk sesuai kebutuhan, kuat tekan, tahan terhadap suhu tinggi dan biaya pemeliharaan yang relative



murah. Namun, beton merupakan material struktural yang lemah terhadap kekuatan tarik sehingga umumnya dikombinasikan dengan baja tulangan membuat satu kesatuan sebagai material komposit yang selanjutnya disebut sebagai beton bertulang. Konfigurasi baja tulangan dan beton bekerjasama dalam memikul beban yang terjadi, dimana beton akan menahan gaya tekan sedangkan baja tulangan akan menahan gaya tarik. Selain itu, salah satu aspek penting dalam beton dan baja tulangan dapat bekerja sama adalah lekatan (*bond*) antara baja tulangan dengan beton. Lekatan merupakan kombinasi kemampuan antara tulangan dan beton yang menyelimutinya dalam menahan gaya-gaya yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan antara tulangan dan beton (Winter & Nilon, 1993).

Kegagalan pada struktur dapat terjadi apabila lekatan antara beton dan baja tulangan pada struktur itu hilang. Untuk menghindari hal tersebut perlu ditinjau nilai kuat lekat beton dan baja tulangan agar diperoleh keseimbangan antara beton dan baja tulangan yaitu gaya yang dapat ditahan beton dan gaya yang dapat ditahan oleh tulangan. Salah satu dari tiga jenis pengujian untuk dapat menentukan lekatan elemen baja tulangan dengan beton adalah *pullout test* (Nawy, 2010). Pengujian ini dapat memberikan perbandingan lekatan yang efisien terhadap permukaan baja tulangan. Tulangan spiral adalah tipe lain dari tulangan lateral, tulangan ini bisa disebut sebagai helical lateral (Nawy, 2010). Salah satu upaya untuk meningkatkan kuat lekat dan daktilitas beton adalah dengan menggunakan tulangan spiral. Tulangan spiral bekerja dengan mengekang beton, sehingga mampu menahan deformasi yang lebih besar sebelum terjadi retak dan runtuh. Selain itu, tulangan spiral dapat mencegah terjadinya spalling pada beton akibat gaya lateral, seperti gaya seismik. Beton yang dikekang dengan spiral akan meningkatkan ikatan antara baja tulangan dan beton, serta menunjukkan ketahanan pullout yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan pengekangan spiral. Pengekangan ini juga meningkatkan kemampuan beton dalam menahan gaya tarik pada ikatan antara beton dan tulangan.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penting untuk dilakukan penelitian

eksperimental dan disusunlah tesis ini dengan judul: **“PENGARUH VARIASI PANJANG BAJA TULANGAN PADA BETON MENGGUNAKAN VARIASI PANJANG BAJA TULANGAN TERHADAP LEKATAN BETON BERTULANG”**



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh substitusi limbah HHF yang direndam dalam larutan NaOH dengan variasi panjang 0mm (kontrol) dan 60mm sebagai pengganti sebagian semen terhadap kekuatan tegangan lekatan beton?
2. Bagaimana pengaruh pengekangan tulangan spiral sebagai efek *confinement* terhadap nilai kekuatan tegangan lekat beton yang disubstitusi dengan limbah HHF, yang direndam dalam larutan NaOH dengan variasi panjang 0mm (kontrol) dan 60mm sebagai pengganti sebagian semen?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh substitusi limbah HHF yang direndam dalam larutan NaOH dengan variasi panjang 0mm (kontrol) dan 60mm sebagai pengganti sebagian semen terhadap kekuatan lekatan beton,
2. Menganalisis pengaruh pengekangan tulangan spiral sebagai efek *confinement* terhadap nilai kekuatan tegangan lekat beton yang disubstitusi dengan limbah HHF, yang direndam dalam larutan NaOH dengan variasi panjang 0mm (kontrol) dan 60mm sebagai pengganti sebagian semen.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi pengaruh substitusi limbah HHF yang direndam dalam larutan NaOH dengan variasi panjang 0mm (kontrol) dan 6mm sebagai pengganti sebagian semen terhadap kekuatan tegangan lekatan beton,
  3. Memberikan informasi pengaruh pengekangan tulangan spiral sebagai efek *confinement* terhadap nilai kekuatan tegangan lekat beton yang disubstitusi dengan limbah HHF, yang direndam dalam larutan NaOH dengan variasi panjang 0mm (kontrol) dan 6mm sebagai pengganti sebagian semen.
- Memberikan informasi dan referensi bagi penelitian lanjutan yang berkaitan dengan bertulang dengan beton HHF sebagai substitusi semen.



## 1.5 Ruang lingkup

Untuk mencapai tujuan penelitian dan menghindari pembahasan di luar dari konsep penelitian, maka pada penelitian ini dibatasi pada hal-hal yaitu :

1. Pengujian “*pull-out test*” menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)* kapasitas 1000 kN dengan modifikasi seperlunya dan menggunakan sampel uji berbentuk silinder dengan dimensi 150mm x 300mm,
2. Pedoman yang digunakan sebagai acuan adalah ASTM (*American Society of Testing and Materials*) dan SNI (Standar Nasional Indonesia)
3. Tipe dan diameter tulangan yang diuji adalah tulangan ulir (*ribbed bar*) dengan diameter 13mm sebagai tulangan tarik, dan tulangan polos Ø6 sebagai spiral (*confinement*)
4. Perendaman limbah rambut menggunakan larutan NaOH 5%.
5. Limbah potongan rambut yang digunakan pada pencampuran adalah dengan panjang 60mm.
6. Semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cement* Bosowa
7. Menggunakan beton dengan variasi HHF 0mm dan 60mm sebagai substitusi semen sebanyak 2%,
8. Limbah rambut yang digunakan adalah limbah yang telah dibersihkan dan dipilah berdasarkan panjangnya,
9. Jumlah benda uji sebanyak 6 buah, untuk benda uji tanpa HHF sebanyak 3 buah dan benda uji substitusi HHF 3 buah.
10. Kekuatan tekan beton yang direncanakan adalah  $f'c$  : 25 MPa.
11. Melakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy (SEM)* pada setiap sampel beton *Pull-Out*,
12. Melakukan pengujian Kekuatan tarik (pull-out) pada baja tulangan ulir D13mm.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Srivastava et al. (2023), melakukan penelitian yang berjudul “A Comparative Study of Mechanical Characteristics of Normal Concrete with Human Hair Fiber Fabricated Concrete”. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh tulangan HHF pada beton dengan menentukan kekuatan beton dengan rambut manusia dengan panjang 20, 50, dan 80mm dengan penambahan 1%, 1,5%, dan 2% dari berat semen. Namun, ditemukan bahwa penambahan 1,5% rambut manusia dengan panjang 50mm dan 80mm menunjukkan kekuatan tekan dan lentur maksimum sedangkan, penambahan 1% rambut manusia dengan panjang 50mm seperti yang diberikan memberikan kekuatan tarik maksimum 28 hari.

Shigu et al., (2023), melakukan penelitian yang berjudul “Analysing the optimum effect of the human hair waste as fiber reinforcement in M20 grade concrete”. Pada penelitian eksperimental ini, percobaan dilakukan pada campuran beton mutu M20 dengan berbagai persentase serat rambut manusia yaitu 0%, 0,50%, 1,00%, 1,25%, 1,50%, 1,75 dan 2,00% dari berat semen untuk menganalisa kekuatan tekan dan kekuatan lentur. Untuk menganalisa workability campuran dilakukan uji slump. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tekan dan kekuatan lentur meningkat hingga 1,50% kandungan serat rambut manusia dan menurun setelah 1,5% yang menunjukkan bahwa kandungan HHF yang optimal untuk penelitian kami pada beton kelas M20 adalah 1,5%. Oleh karena itu, rambut manusia dapat digunakan dalam beton untuk meningkatkan sifat tekan dan lenturnya dan akan menjadi cara alternatif pengelolaan limbah rambut manusia.

Iqbal, (2022), melakukan penelitian yang berjudul “Studi Potensi Pemanfaatan Limbah Rambut Manusia Sebagai Serat Pada Beton”. Pada penelitian ini mencoba untuk ditambahkan dengan limbah rambut manusia kedalam campuran beton normal dari penelitian ini akan menghasilkan produk beton serat rambut

yang akan memiliki nilai jual agar limbah rambut manusia tidak hanya atau pun dibakar dan dapat lebih berguna dalam penggunaan beton Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tekan,dan



kekuatan tarik. Hasil kekuatan tekan beton yang menggunakan 0%, 5%, 10%, 15% serat limbah rambut manusia berturut-turut sebesar 31,39 MPa; 17,39 MPa; 9,33 MPa; dan 7,21 MPa, mengalami penurunan pada kekuatan tekan beton. Hasil kekuatan tarik belah beton yang menggunakan 0%, 5%, 10%, 15% serat limbah rambut manusia berturut-turut sebesar 2,87 MPa; 3,72 MPa; 2,65 MPa; dan 1,91 MPa, mengalami kenaikan kekuatan tarik belah pada %5 penambahan serat limbah rambut manusia. Kekuatan tekan limbah rambut manusia turun pada 5%, 10%, dan 15%. Sedangkan kekuatan tarik belah beton pada 5% limbah rambut manusia lebih tinggi dari pada beton 0% dan pada beton yang menggunakan serat limbah rambut manusia 10% dan 15% nilai kekuatan tarik belah menurun.

Bheel et al. (2020), melakukan penelitian yang berjudul “Sustainable Composite Development: Novel Use of Human Hair as Fiber in Concrete”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rambut manusia (bahan limbah) sebagai serat terhadap sifat segar, fisik dan mekanik beton dengan 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% rambut manusia terhadap volume semen. Dalam hal ini, sebanyak 180 benda uji beton (kubus, silinder, dan prisma) dibuat dan diawetkan setelah hari ke-7, 28, dan 90. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tekan meningkat sebesar 8,15% pada 1% rambut manusia setelah 28 hari, sedangkan kekuatan tarik tidak langsung dan kekuatan lentur meningkat masing-masing sebesar 21,83% dan 12,71% pada 2% rambut manusia setelah 28 hari. Selain itu, kepadatan beton berkurang dengan meningkatnya kandungan rambut manusia, dan penyerapan air meningkat, seiring dengan meningkatnya kandungan rambut manusia setelah 28 hari. Selain itu, modulus elastisitas meningkat dengan dimasukkannya rambut manusia setelah setiap periode curing, dan penyusutan pengeringan beton diminimalkan dengan penambahan rambut manusia sebagai serat pada beton pada usia 40 hari. Nilai slump berkurang seiring dengan bertambahnya kandungan rambut manusia.

Kanwal et al., (2020), melakukan penelitian yang berjudul “Human Hair as Fiber Reinforced Concrete for Enhancement of Tensile Strength of Concrete”.

Penelitian dilakukan pada spesimen silinder *fibre-reinforced concrete* yang menggunakan proporsi rambut manusia yang berbeda-yaitu, 0%, 0,5%, 1%, dan 2% terhadap berat semen. Secara keseluruhan, tujuh puluh dua silinder



dipersiapkan, dengan masing-masing kadar HHF yang berbeda-beda. Kemampuan kerja, kekuatan tekan, dan kekuatan tarik belah dinilai pada tiga periode pengawetan yang berbeda: 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Seiring berjalannya waktu, kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah meningkat untuk semua campuran beton. Khususnya, campuran beton berlabel “M4”, yang mengandung 1,5% rambut manusia, menunjukkan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan “M2” (0,5% rambut) dan “M3” (1,0% rambut). Hasil ini menggaris bawahi keefektifan rambut manusia sebagai bahan penguat serat untuk mencapai kekuatan beton yang lebih tinggi daripada beton normal.

Batham, (2019), melakukan penelitian yang berjudul “Performance of Concrete Reinforced with Human Hair”. Dalam studi eksperimental di laboratorium untuk mengetahui pengaruh rambut manusia pada beton semen. Beton dengan mutu M-25 diproduksi dan diperkuat dengan kandungan rambut manusia. Berbagai spesimen beton dicor di laboratorium dan persentase kandungan rambut manusia adalah 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% dan 2.5% terhadap berat semen. Spesimen diuji dan pengaruhnya terhadap kekuatan tekan dan kemampuan kerja diselidiki. Penggunaan kandungan rambut manusia sebagai serat alami menghasilkan peningkatan kekuatan tekan. Kubus beton dengan kandungan rambut manusia 2,0 dan 2,5% menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam hal kekuatan tetapi kandungan rambut 2,0% adalah kadar optimum untuk kekuatan serta kemampuan kerja. Penggunaan kandungan rambut manusia dalam beton sebagai serat alami menghasilkan kekuatan tekan yang lebih tinggi serta tidak banyak mempengaruhi kemampuan kerja.

Kumar et al., (2015), melakukan penelitian yang berjudul “An Experimental Study on Mechanical Properties of Human Hair Fibre Reinforced Concrete (M-40 Grade)”. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh *human hair fibre* pada beton semen polos kelas M-40 dengan pengujian yang meliputi kekuatan tekan, kekuatan lentur dan kekuatan tarik belah serta. Penelitian dilakukan pada beton kubus, balok dan silinder dengan ukuran standar dengan penambahan

persentase serat rambut manusia yaitu 1%, 1,5%, 2%, 2,5% dan 3% dari semen dengan Panjang HHF 60 mm dan hasilnya dibandingkan dengan beton manusia dengan mutu M-40. Untuk setiap persentase penambahan serat rambut



manusia pada beton, enam buah kubus, tiga buah balok dan tiga buah silinder diuji sifat mekaniknya pada periode curing 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Perubahan sifat mekanik beton ditentukan dan dianalisis. Hasil pengujian menunjukkan karakteristik penting dari beton kelas M-40 dengan penambahan HHF sebagai berikut:

1. Ditemukan bahwa beton mutu M-40 dengan 1,5% serat rambut manusia menunjukkan peningkatan kekuatan tekan sebesar 7,22%, 7,21% dan 8,18% pada periode perawatan 7 hari, 14 hari dan 28 hari jika dibandingkan dengan beton semen biasa.
2. Peningkatan kekuatan lentur berada pada urutan 27,60%, 20,93% dan 23,56% untuk kondisi eksperimental yang sama pada periode perawatan 7 hari, 14 hari dan 28 hari.
3. Demikian pula dengan kekuatan tarik belah yang mencatat peningkatan sebesar 17,26%, 29,98% dan 26,60% untuk kondisi pengujian yang sama pada periode perawatan 7 hari, 14 hari dan 28 hari

## 2.2 Beton

Menurut SNI 2845: 2019, Beton (*Concrete*) adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Komposisi material beton didapatkan dari hasil perhitungan *mix design* yang dicampur merata hingga *homogen* setelah itu dituang ke dalam *mould*. Hasil adukan beton tersebut jika didiamkan akan menjadi keras akibat reaksi kimia antara semen dengan air atau dapat dikatakan bahwa adukan beton akan bertambah keras seiring dengan waktu (umur beton). Kualitas mutu beton bergantung pada bahan dasar penyusun beton, bahan tambah, pelaksanaan pada saat dibuat dan alat-alat yang dipakai saat pembuatan adukan beton. Kualitas mutu beton bisa dikatakan baik kalau bahan yang digunakan baik, cara mengaduk yang baik (homogen), proses pelaksanaan yang dilakukan baik, alat-alat yang dipakai juga baik dan tingkat porositasnya kecil (Hamdi et al., 2022).

n beton yaitu sangat baik dalam menahan tegangan tekan, sehingga  
a para perencana struktur bangunan memanfaatkan kelebihan tersebut



menjadi dasar perhitungan bangunan struktur. Mutu beton bergantung pada kekutan tarik belah maupun kekutan tekan beton.(Nugraha & Antoni, 2007).

Perencanaan pencampuran, jenis, mutu dan jumlah bahan komponen beton harus dihitung menurut takaran atau proporsi tertentu untuk menghasilkan mutu beton yang diinginkan. Berdasarkan SNI 03-6468-2000, ACI-318 dan ACI-363R-92, kekuatan tekan beton (mutu beton) dari sampel berbentuk silinder dengan dimensi diameter 150mm dan tinggi 300mm dikelompokkan menjadi:

1. Mutu beton rendah (*low strength concrete*) nilai  $f'c < 20$  MPa;
2. Mutu beton normal (*medium strength concrete*) nilainya  $21 \text{ MPa} < f'c < 41$ MPa;
3. Mutu beton tinggi (*high strength concrete*) nilai  $f'c > 41$  MPa.

Beton yang paling banyak digunakan saat ini adalah beton normal, berat beton normal tipikal memiliki kepadatan (berat jenis) antara 2155 dan 2560 kg/m<sup>3</sup> , dan normalnya diambil nilai sebesar 2320 hingga 2400 kg/m<sup>3</sup> (SNI 2847, 2019). Semakin tinggi berat jenis beton, secara umum kekutan beton akan semakin tinggi juga.

## 2.3 Material Penyusun Beton

Secara umum, beton terdiri dari bahan-bahan utama seperti semen, pasir, kerikil, dan air. *Admixture* atau bahan tambahan dapat ditambahkan jika diperlukan untuk mengubah karakteristik tertentu dari beton. Dalam penelitian ini, akan dibuat dua jenis beton: yang pertama adalah beton kontrol, dan yang kedua adalah beton dengan variasi berupa substitusi HHF ke dalam campuran semen. Komposisi beton kontrol ini sendiri terdiri dari semen portland, batu pecah (*split*), pasir dan air, sedangkan komposisi penggantinya terdiri dari semen portland, batu pecah, pasir, air dan HHF sebagai campuran yang akan direncanakan pada perancangan pembuatan beton.

### 2.3.1 Semen

nen adalah bubuk halus yang berfungsi sebagai perekat antara agregat n agregat halus. Ketika bubuk ini dicampur dengan air, dalam beberapa an mengeras dan berfungsi sebagai pengikat hidrolis. Campuran semen





dengan air membentuk pasta semen, sementara campuran semen dengan pasir (agregat halus) dan air menghasilkan mortar. Jika ditambah dengan agregat kasar seperti kerikil atau batu pecah, campuran ini dikenal sebagai beton. Berdasarkan SNI 2049:2015, semen portland adalah semenhidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

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

Menurut Nugraha & Antoni (2007), ada dua macam semen, yaitu semen hidraulis dan semen non-hidraulis. Semen non-hidraulis adalah semen (perekat) yang dapat mengeras tetapi tidak stabil dalam air. Semen hidraulis adalah semen yang akan mengeras bisa bereaksi dengan air, tahan terhadap air (*water resistance*) dan stabil di dalam air setelah mengeras (Putra, 2021),

Berdasarkan SNI 7064:2014, Semen portland komposit adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6 % - 35 % dari massa semen portland komposit. Syarat kimia untuk semen portland komposit mengandung senyawa  $SO_3$  maksimum 4,0 %. Menurut Supartono, (2001) bahan-bahan anorganik yang terkandung dalam Semen portland komposit merupakan bahan-bahan mineral bersifat pozzolanik. Bahan pozzolanik adalah bahan mineral yang unsur-unsurnya tidak memiliki sifat semen secara mandiri, namun bila bereaksi dengan kalsium-oksida dan air pada

ia dapat membentuk senyawa seperti semen (*cementitious*).

ra (2021) membedakan semen menjadi dua jenis yaitu semen portland

n semen Portland Pozzolan (PCC), yaitu:



## 1. Semen Portland (*Ordinary Portland Cement, OPC*)

Semen portland adalah semen kalsium silikat yang diproduksi dengan membakar campuran batu kapur atau kapur (kalsium karbonat) yang dihomogenkan dengan baik dan digiling halus dan sejumlah tanah liat atau serpih yang sesuai. Karakteristik semen portland dapat diubah sesuai kebutuhan dengan melakukan modifikasi terhadap 4 senyawa utama semen tersebut, yaitu kalsium (C), silikat (S), aluminat (A), dan besi (F). Berdasarkan aplikasinya, semen Portland dapat dibagi menjadi lima tipe yang ditunjukkan pada Tabel 1

**Tabel 1.** Jenis-jenis semen OPC berdasarkan penggunaannya

<b>Tipe Semen</b>	<b>Penggunaan</b>
Tipe I	Digunakan untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memakai persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal
Tipe II	Digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang
Tipe III	Digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan awal yang tinggi
Tipe IV	Digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan panas hidrasi rendah
Tipe V	Digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat yang tinggi

Sumber: Putra (2021)



## 2. Semen Portland Pozzolan (*Portland Pozzolan Cement, PCC*)

Semen Portland Pozzolan merupakan semen portland yang mendapat zat tambah berupa pozzolan, atau bahan alami atau buatan yang sebagian besar terdiri atas silikat dan/atau aluminat yang reaktif. Bahan pozzolan yang sering ditambahkan adalah abu vulkanis, *fly ash* atau abu terbang sisa pembakaran batubara. Semen portland Pozolan menghasilkan panas hidrasi lebih sedikit dibandingkan semen biasa, sehingga seringkali membutuhkan waktu pengerasan yang lebih lama dibandingkan dengan *Ordinary Portland Cement (OPC)*.

Berdasarkan SNI 7064:2014, Semen portland komposit (PCC) adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6 % - 35 % dari massa semen portland komposit. Syarat kimia untuk semen portland komposit mengandung senyawa  $SO_3$  maksimum 4,0 %. Menurut Supartono, (2001) bahan-bahan anorganik yang terkandung dalam semen portland komposit merupakan bahan-bahan mineral bersifat pozzolanik. Bahan pozzolanik adalah bahan mineral yang unsur- unurnya tidak memiliki sifat semen secara mandiri, namun bila bereaksi dengan kalsium-oksida dan air pada suhu biasa dapat membentuk senyawa seperti semen (*cementitious*). Pada umumnya semen PCC memiliki panas hidrasi rendah sampai sedang, tahan terhadap serangan sulfat, kekuatan tekan awal kurang, namun kekuatannya lebih tinggi.

Semen Portland Pozzolan biasanya digunakan untuk bangunan yang memerlukan perlakuan khusus, seperti bangunan beton yang memerlukan kedap air yang tinggi, seperti dinding *basement*, *ground water tank (GWT)*, dan *sewage treatment plant (STP)*, bangunan beton yang sering/selalu berhubungan dengan air payau atau air laut, dan beton massa (dam, fondasi besar, bendungan).

Menurut Mulyono, (2004) secara garis besar, ada empat senyawa kimia utama

yang menyusun semen Portland, yaitu:

1. Trikalsium silikat (C3S) atau  $3CaO.SiO_2$

2. Dikalsium silikat (C2S) atau  $2CaO.SiO_2$



- c) Trikalsium aluminat (C3A) atau  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$
- d) Tetrakalsium aluminoforit (C4AF) atau  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$

Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang saling mengikat/mengunci ketika terjadi klinker. Trikalsium silikat dan Dikalsium silikat merupakan 70 - 80 % dari berat semen sehingga merupakan bagian yang paling dominan dalam menentukan daya ikat semen dan sifat semen.

### 2.3.2 Agregat

Berdasarkan SNI 2847:2019, agregat adalah bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Kandungan agregat dalam campuran beton sangat tinggi, komposisi agregat berkisar 60%-70% dari berat campuran beton.

Secara umum agregat dapat dibedakan dari ukuran bentuknya yang dapat dibedakan menjadi dua, yaitu, agregat kasar dan agregat halus. Batasan ukuran 4,80 mm, British Standard atau 4,75 mm, Standar (ASTM C33-03). Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya lebih kecil dari 40 mm, untuk yang lebih besar dari 40 mm digunakan untuk pekerjaan sipil lainnya, misalnya untuk pekerjaan jalan, tanggul-tanggul penahan tanah, bronjong, atau bendungan, dan lainnya. Agregat halus biasanya dinamakan pasir dan agregat kasar dinamakan kerikil, split, batu pecah, kricak, dan lainnya (Mulyono, 2004).

#### A. Agregat Halus

Menurut SNI 1969:2016, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (No.4). Spesifikasi agregat halus yang disyaratkan dalam (ASTM C33-03) sebagai berikut :

1. Susunan Butiran (Gradasi) Gradasi (pembagian/distribusi butir,grading)

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



berada diantara  $2,3 < FM < 3,1$ . Selain itu batasan gradasi untuk agregat halus dapat dilihat dari tabel berikut. sebagai berikut :

**Tabel 2.** Gradasi Agregat Halus

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

Sumber: (ASTM C33-03)

2. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan No.200), tidak boleh melebihi 5% terhadap berat kering. Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat harus dicuci.
3. Agregat halus harus bersih dari zat organik yang akan merugikan beton, atau kadar organik jika diuji di laboratorium tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari standar percobaan Abrams Harder.
4. Agregat halus yang digunakan tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen.

## **B. Agregat Kasar**

Agregat kasar adalah material yang berukuran besar dan keras, seperti batu pecah atau kerikil, yang berfungsi sebagai bahan pengisi atau pengisi ruang kosong dalam campuran beton. Agregat kasar juga membantu meningkatkan kekuatan

dan memberikan struktur pada campuran beton. Berdasarkan SNI 1969:2016 agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa hancuran yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir



antara 4,75 mm sampai 40 mm. Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton berupa kerikil yang didapatkan dari disintegrasi alami dari batuan atau batu pecah yang diperoleh dari mesin pemecah (*stone crusher*) atau dipecahkan secara manual.

Batu pecah/kerikil harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Kerikil atau batu pecah harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori serta mempunyai sifat kekal (tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan). Agregat yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali jika agregat kasar digunakan untuk membuat beton yang akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang akan berhubungan dengan tanah basah. Agregat yang reaktif terhadap alkali boleh untuk membuat beton dengan semen yang kadar alkalinya dihitung setara Natrium Oksida tidak lebih dari 0,6 %, atau dengan menambahkan bahan yang dapat mencegah terjadinya pemuaihan yang dapat membahayakan oleh karena reaksi alkaliagregat tersebut.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton seperti bahan-bahan yang reaktif sekali dan harus dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan NaOH.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (terhadap berat kering) dan apabila mengandung lebih dari 1%, agregat kasar tersebut harus dicuci.
5. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), maka volume pori akan besar sebaliknya bila butirannya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit.



**Tabel 3.** Batas-batas Tertentu Gradasi Agregat Kasar (SNI 7656:2012)

Ukuran ayakan (mm)	Pemisah Ukuran			
	Persen (%) berat yang lewat masing-masing ayakan			
	4,75 - 19 mm	19 - 37,5 mm	37,5 - 75 mm	75 - 150 mm
177				100
150				90 - 100
100			100	20 - 55
75			90 - 100	0 - 10
50		100	20 - 55	0 - 5
37,5		90 - 100	0 - 10	
25	100	20 - 55	0 - 5	
19	90 - 100	0 - 10		
9,5	20 - 55	0 - 5		
4,75	0 - 10			
2,36	0 - 5			

Sumber: SNI 7656:2012

### 2.2.3 Air

Hampir semua air alami yang dapat diminum dan tidak mempunyai rasa atau bau yang mencolok akan memenuhi syarat sebagai air campuran pembuatan beton. Ketidakmurnian air (mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik dll.) dapat mempengaruhi tidak hanya kekuatan beton dan stabilitas volume, tetapi dapat juga mengakibatkan *florescence* atau korosi tulangan (Aji & Purwono, 2010)

Menurut Tjokrodimuljo (1996), air diperlukan pada pembentukan semen berpengaruh terhadap sifat kemudahan pengerjaan adukan beton (*workability*), kekuatan, susut dan keawetan beton. Air yang diperlukan untuk adukan dengan semen hanya sekitar 25 % dari berat semen saja, namun dalam



kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit jika kurang dari 0,35. Kelebihan air dari jumlah yang dibutuhkan dipakai sebagai pelumas, tambahan air ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton menjadi rendah dan beton menjadi keropos. Kelebihan air ini dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih dan terbentuk suatu selaput tipis (*laitance*). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah.

Air sebagai bahan dalam campuran beton sebaiknya memenuhi spesifikasi sebagai berikut (SNI, 2847:2019) :

1. Air untuk campuran, termasuk bagian air yang nantinya akan menyebabkan agregat menjadi lembab, tidak boleh mengandung ion klorida dalam kadar yang dapat merusak ketika digunakan untuk membuat beton prategang, untuk beton yang melekat dengan aluminium, atau beton yang dicor terhadap bekisting tetap dari bahan galvanis.
2. Hampir semua air alami yang dapat diminum dan tidak berasa atau bau dapat digunakan sebagai bahan campuran untuk membuat beton. Meskipun kelebihan air dalam proses pencampuran dapat mempengaruhi waktu proses, kekuatan beton, dan stabilitas volume, dan mungkin saja mengakibatkan perubahan warna pada beton dan korosi tulangan.

#### 2.2.4 Serat Rambut Manusia

Serat rambut adalah komponen utama yang membentuk rambut manusia, terdiri dari protein keratin yang sangat kuat dan elastis. Rambut bukanlah serat yang homogen, tetapi terdiri dari sel-sel keratin yang direkatkan oleh kompleks membran sel yang bersama-sama membentuk tiga struktur konsentris : (lapisan luar pelindung), korteks (lapisan tengah yang memberikan kekuatan dan elastisitas), dan medula (bagian terdalam, namun tidak selalu ada). (Pragst & Balikova, 2006).

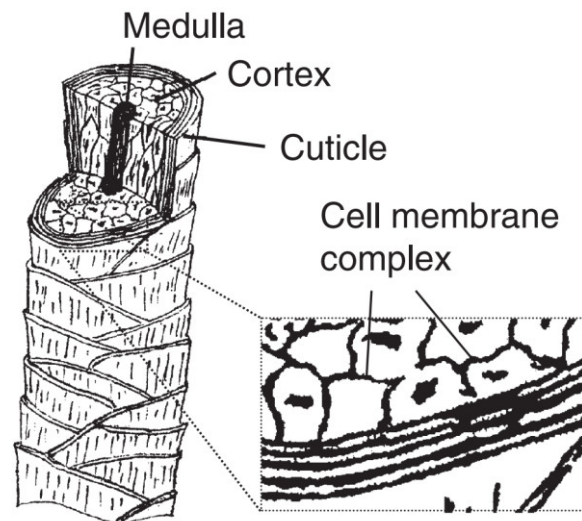
Faktor utama yang perlu dipertimbangkan pada rambut manusia adalah tingginya

sam amino sistin, yang dapat terdegradasi dan setelah itu dapat dioksidasi dalam bentuk ikatan disulfidik. Ini adalah dasar untuk proses pengeritingan pada rambut. Sistin pada rambut manusia sangat stabil, itulah alasan





mengapa rambut manusia dapat ditemukan relatif utuh, bahkan setelah beberapa tahun setelah kematian seseorang. (Velasco et al., 2009),



**Gambar 1.** Struktur dan bagian pada batang rambut manusia

Rambut ternyata sangat kuat. sifat ini di karenakan kandungan keratin korteks dan rantai panjangnya dikompresi untuk membentuk struktur yang teratur, yang selain kuat, juga fleksibel (Robbins, 1994). Sifat fisik rambut meliputi: ketahanan terhadap peregangan, elastisitas dan daya hidrofilik. (Velasco et al., 2009)

1. Ketahanan 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 negative. Berbagai sifat rambut manusia normal ditunjukkan pada table berikut:

**Tabel 4.** Sifat serat Rambut Manusia

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson 's ratio
1,34	200	1,74 – 4,39	0,37

Sumber: Rao et al. (2018)

erat rambut mempunyai sifat elastis dan dapat mengalami peregangan sedang baik basah maupun kering. Peregangan adalah atribut rambut di bawah pengaruh gaya distal (panjang) dan benang kembali ke status semula



ketika gaya ini berhenti bekerja. Saat kering, benang rambut bisa meregang 20-30% panjangnya; dan jika terkena air, kadarnya bisa mencapai 50%. Jika terkena amonia, ia menjadi lebih elastis.

3. Kekutan hidrofilik, Rambut menyerap air dalam bentuk cair dan uap. Keratin dapat menyerap hingga 40% beratnya sendiri di dalam air. Hidrasi pada rambut didukung oleh peningkatan suhu, perubahan pH, dan semua pelarut polar yang memutus ikatan hidrogen. Hidrasi inilah yang mengubah elastisitas pada serat rambut manusia. Rambut memiliki kecenderungan untuk menyerap air dalam bentuk cair. Proses penyerapan ini menyebabkan pembengkakan pada rambut, dengan peningkatan diameter helai sebesar 10-15% dan panjangnya sebesar 0,5-1,0%. Baik penyerapan maupun pembengkakan ini sangat dipengaruhi oleh pH. Secara umum, pembengkakan lebih disukai dalam kondisi pH basa. Pelarut polar lainnya seperti larutan urea, asetamida, dan lithium bromida juga memiliki efek serupa pada helai rambut.

Keratin adalah komponen utama dari serat rambut manusia. Keratin ini adalah protein, yang merupakan polimer dari asam amino. Protein keratin membentuk sitoskeleton dari semua sel epidermis. Protein keratin mencakup 65-95% dari total berat serat rambut. Sebagian besar serat rambut terdiri dari keratin keras yang tidak larut dalam air. Keratin keras sangat tahan terhadap enzim proteolitik. Rambut terdiri dari unsur-unsur mentah seperti 20,85% oksigen, 50,65% karbon, 17,14% nitrogen, 5,0% sulfur, dan 6,36% hidrogen, Unsur lain yang terdapat dalam rambut dalam jumlah kecil adalah magnesium, arsenik, besi, kromium, serta logam dan mineral lainnya. (Rao et al., 2018).

Pada umumnya, Beton lemah dalam ketegangan dan memiliki karakter rapuh. Oleh karena itu serat ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan tarik dan meningkatkan karakteristik bahan konstruksi. Penambahan serat ke beton membuatnya menjadi bahan yang homogen dan isotropik. Ketika beton retak, serat yang terdistribusi acak mulai berfungsi, menahan pembentukan dan propagasi

dan dengan demikian meningkatkan kekuatan dan daktilitas (Kumar et al., menurut Kumar et al. (2015) Rambut digunakan sebagai bahan penguat serat beton karena alasan berikut:



1. Memiliki kekuatan tarik tinggi yang sama dengan kawat tembaga dengan diameter yang sama.
2. Rambut, bahan yang tidak dapat terdegradasi menciptakan masalah lingkungan sehingga penggunaannya sebagai bahan penguat fibro dapat meminimalkan masalah.
3. Rambut tersedia sangat berlimpah dan dengan biaya yang sangat rendah.
4. Dapat memperkuat mortar dan mencegahnya dari spalling.

Sifat-sifat ini membuat serat rambut menarik untuk berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan tambahan dalam beton untuk meningkatkan kinerjanya. Namun, sifat rambut yang hidrofilik menyebabkan banyak kelompok hidroksil berikatan dengan molekul air melalui ikatan hidrogen. Daya serap air yang tinggi serta kompatibilitas yang kurang baik antara serat dan bahan menyebabkan lemahnya ikatan antara keduanya. Akibatnya, ikatan yang lemah ini menurunkan sifat mekanis dari bahan komposit. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi permukaan rambut untuk meningkatkan ikatan antara serat dan bahan. Modifikasi permukaan rambut secara kimiawi dapat mempengaruhi kekuatan tarik karena adanya penghancuran unsur-unsur rambut atau pengecilan dinding sel. Perendaman dengan alkali sering digunakan untuk memodifikasi struktur rambut. Natrium Hidroksida (NaOH) adalah alkali yang umum digunakan untuk memecah kelompok hidroksil (OH) dan struktur kristalin yang padat menjadi struktur jaringan amorf yang baru.



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

Kathiresan & Meenakshisundaram (2022) melakukan percobaan dengan perendaman 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 5 berikut:

**Tabel 5.** Sifat Mekanis HHF yang Direndam dan Tidak Direndam

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

Sumber: (Kathiresan & Meenakshisundaram, 2022).

Dari percobaan yang dilakukan oleh Kathiresan & Meenakshisundaram (2022), ditemukan bahwa HHF yang direndam pada larutan NaOH 5% selama 1 jam mengalami peningkatan kekuatan tarik sebesar 16-22% lebih tinggi dibandingkan HHF yang tidak direndam sama sekali.

Kadar air *fiber* merupakan besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung *fiber* dengan berat *fiber* dalam keadaan kering oven yang dinyatakan dalam persen.

Kadar air HHF dihitung dengan mengacu pada (ASTM D2654-22). Prosedur penentuan kadar air HHF dimulai dengan menimbang berat asli HHF kemudian memasukkan HHF ke dalam oven dengan suhu  $105^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam kemudian HHF ditimbang lagi sebagai berat kering oven HHF. Rumus untuk menghitung kadar air HHF adalah sebagai berikut:

$$\text{Kadar air HHF} = \frac{\text{Berat HHF} - \text{Berat HHF kering oven}}{\text{Berat HHF kering oven}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$



## 2.2 Baja Tulangan

Beton memiliki kelemahan dalam hal kekuatan tarik, sehingga biasanya dikombinasikan dengan tulangan untuk membentuk bahan komposit yang dikenal sebagai beton bertulang. Beton tidak mampu menahan gaya tarik melebihi batas tertentu tanpa retak. Oleh karena itu, agar beton dapat berfungsi dengan baik dalam sistem struktur, perlu adanya bantuan baja baja yang berfungsi untuk menahan gaya tarik yang diterima oleh beton tersebut. Menurut SNI 2052:2017 baja tulangan beton adalah baja karbon atau baja paduan yang berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau sirip/ulir dan digunakan untuk penulangan beton. Baja ini diproduksi dari bahan baku billet dengan cara canai panas (*hot rolling*). Berdasarkan jenisnya, baja tulangan beton dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu:

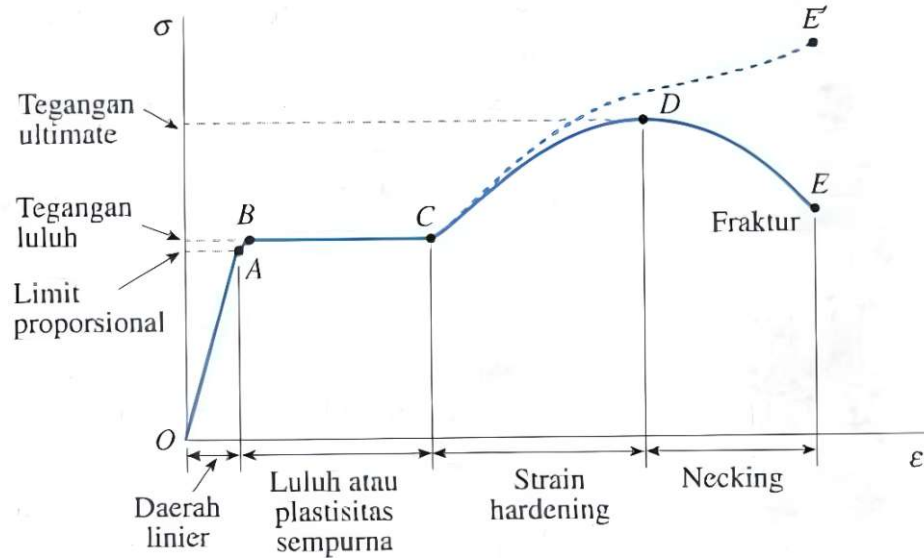
1. Baja tulangan beton polos (BjTP) : Baja tulangan beton polos adalah baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata tidak bersirip/berulir.
2. Baja tulangan beton sirip/ulir (BjTS) : Baja tulangan beton sirip/ulir adalah baja tulangan beton yang permukaannya memiliki sirip/ulir melintang dan memanjang yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton.

Menurut (ASTM E8-04), baja tulangan yang akan diuji tarik harus dibentuk sesuai dengan spesimen standar yaitu dengan cara dibubut untuk menghilangkan sirip/ulir serta direduksi penampangnya pada daerah tertentu di tengah spesimen, mikrostruktur bagian dalam berupa *feritperlit* sedangkan bagian luar berupa *martensit*, yaitu fase yang sangat keras dan tergantung pada kadar karbon. Pembubutan pada spesimen ASTM menghilangkan sisi luar baja tulangan yang berupa martensit. Adapun berdasarkan SNI 2052-2017, spesimen uji tarik baja tulangan tidak perlu dilakukan pembubutan, melainkan besi tulangan yang dipotong kemudian diuji tarik. Selain itu, terdapat pula perbedaan luas penampang yang digunakan untuk menentukan besaran tegangan. Pada ASTM E8-04, tegangan

berdasarkan luas penampang tereduksi sedangkan pada SNI 2052-2017, menghitung kuat luluh dan kuat tarik baja tulangan beton polos dan sirip/ulir n nilai luas penampang yang dihitung dari diameter nominal contoh uji.



Diagram tegangan-regangan untuk baja struktural tipikal yang mengalami tarik ditunjukkan dalam Gambar berikut, Regangan diplot pada sumbu horizontal dan tegangan pada sumbu vertical.



**Gambar 2.** Diagram tegangan-regangan untuk baja tipikal yang mengalami Tarik

Sumber: (Gere & Timoshenko, 2000)

Diagram tersebut dimulai dengan garis lurus dari pusat sumbu O ke titik A, yang berarti bahwa hubungan antara tegangan dan regangan pada daerah awal ini bukan saja linier melainkan juga proporsional. Melewati titik A, proporsionalitas antara tegangan dan regangan tidak ada lagi; jadi tegangan di A disebut limit proporsional. Untuk baja berkarbon rendah, limit ini berada pada selang 30 sampai 50 ksi (210 sampai 350 MPa), tetapi baja berkekuatan tinggi (dengan kandungan karbon lebih tinggi ditambah unsur paduan lain) dapat mempunyai batas proporsional lebih dari 80 ksi (550 MPa). Kemiringan garis lurus dari O ke A disebut modulus elastisitas. Karena kemiringan mempunyai satuan tegangan dibagi regangan, maka modulus elastisitas mempunyai satuan yang sama dengan tegangan.

Dengan meningkatnya tegangan hingga melewati limit proporsional, maka mulai meningkat secara lebih cepat lagi untuk setiap per-  
tambahan . Dengan demikian, kurva tegangan-regangan mempunyai kemiringan  
angsur-angsur semakin kecil, sampai pada titik B kurva tersebut menjadi  
l (lihat Gambar 2). Mulai dari titik ini, terjadi perpanjangan yang cukup



besar pada benda uji tanpa adanya penambahan gaya tarik (dari B ke C). Fenomena ini disebut luluh dari bahan, dan titik B disebut titik leleh, Tegangan yang berkaitan dengan ini disebut tegangan leleh ( $F_y$ ) dari baja. Di daerah antara B dan C, bahan ini menjadi plastis sempurna, yang berarti bahwa bahan ini berdeformasi tanpa adanya penambahan beban. Perpanjangan benda uji baja lunak pada daerah plastis sempurna pada umumnya 10 sampai 15 kali perpanjangan yang terjadi di daerah linier (antara awalnya pembebanan dan limit proporsional). Adanya regangan yang sangat besar di daerah plastis (dan setelah itu) adalah alasan mengapa diagram tersebut diplot tidak berskala.

Setelah mengalami regangan besar yang terjadi selama peluluhan di daerah BC, baja mulai mengalami pengerasan regang (*strain hardening*). Selama itu, bahan mengalami perubahan dalam struktur kristalin, yang menghasilkan peningkatan resistensi bahan tersebut terhadap deformasi lebih lanjut. Perpanjangan benda uji di daerah ini membutuhkan peningkatan beban tarik, sehingga diagram tegangan-regangan mempunyai kemiringan positif dari C ke D. Beban tersebut pada akhirnya mencapai kekuatan maksimumnya, dan tegangan pada saat itu (di titik D) disebut tegangan *ultimate* ( $F_u$ ), Penarikan batang lebih lanjut pada kenyataannya akan disertai dengan pengurangan beban dan akhirnya terjadi putus/patah di suatu titik seperti titik E pada Gambar 2 (Gere & Timoshenko, 2000).

Tegangan luluh dan tegangan ultimate dari suatu bahan disebut juga masing-masing kekuatan luluh dan kekuatan ultimate. Kekuatan adalah sebutan umum yang merujuk pada kapasitas suatu struktur untuk menahan beban. Sebagai contoh, kekuatan luluh dari suatu balok adalah besarnya beban yang dibutuhkan untuk terjadinya luluh di balok tersebut, dan kekuatan ultimate dari suatu rangka batang adalah beban maksimum yang dapat dipikulnya, yaitu beban gagal. Tetapi, dalam melakukan uji tarik untuk suatu bahan, kita definisikan kapasitas pikul beban dengan tegangan di suatu benda uji, bukannya beban total yang bekerja pada benda uji. Karena itu, kekuatan bahan biasanya dinyatakan dalam tegangan

Dengan mengetahui nilai  $F_u$  dan  $F_y$ , kita dapat menentukan apakah baja yang digunakan sudah sesuai dengan persyaratan desain struktur. Jika dilihat dari diagram pada Gambar 2, kita bisa mendapatkan nilai kekuatan tarik ( $F_u$ ) dan kekuatan luluh ( $F_y$ ) baja yang digunakan dalam penelitian ini. Jenis



baja yang digunakan adalah BJTP 280 dan BJTS 280. Nilai spesifik untuk  $F_u$  dan  $F_y$  dari kedua jenis baja ini dapat ditemukan pada tabel sifat mekanis baja tulangan beton yang disajikan pada tabel 6 berikut.

**Tabel 6.** Sifat mekanis baja tulangan beton

Kelas baja tulangan	Uji tarik		
	Kuat luluh/leleh (YS)	kekuatan tarik(TS)	Regangan dalam 200 mm,Min.
	MPa	MPa	%
BjTP 280	Min. 280 Maks. 405	Min. 350	11 ( $d \leq 10$ mm)
			12 ( $d \geq 12$ mm)
BjTS 280	Min. 280 Maks. 405	Min. 350	11 ( $d \leq 10$ mm)
			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)

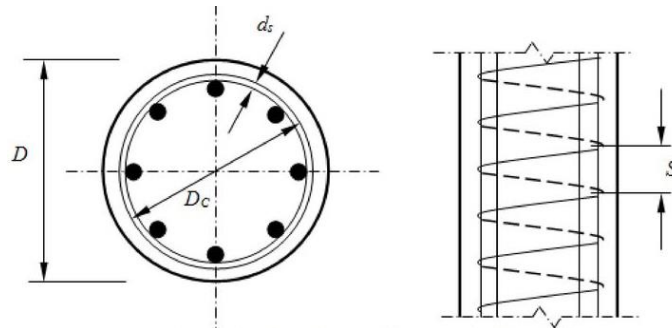
## 2.4 Senggang Spiral

Bentuk lain dari tulangan geser adalah tulangan spiral/melingkar. Tulangan digunakan untuk meningkatkan daktilitas beton. Beton yang tidak berada di dalam kekangan dari tulangan spiral akan mengalami spalling yang tidak wajar apabila mengalami gaya lateral seperti gaya gempa secara tiba-tiba. Sehingga,



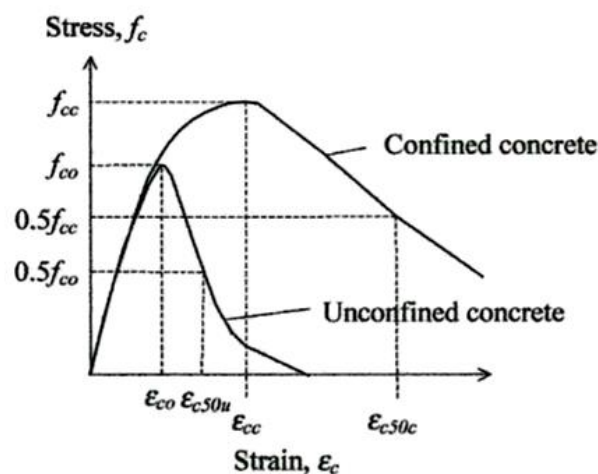


spasi/jarak dan ukuran tulangan spiral direncanakan untuk mempertahankan beban selain beban sendiri kolom. Jarak antara tulangan spiral berada pada rentang 1-3 inchi (25,2-76,2 mm) (Nawy, 2010). seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Tulangan Spiral Pada Kolom

Hubungan tegangan dan regangan antara beton terkungkung (*confined concrete*) dan beton tidak terkungkung (*unconfined concrete*) ditunjukkan pada grafik berikut.



**Gambar 4.** Kurva Tegangan dan Regangan Pada Beton Terkungkung (*Confined Concrete*) dan Beton Tidak Terkungkung (*Unconfined Concrete*)

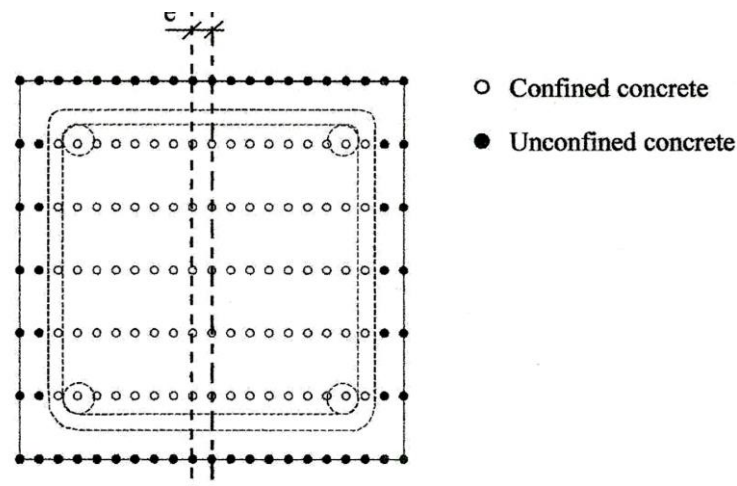
Sumber: Claeson & Johansson (1999)

Gambar 4 di atas yang dikutip melalui (Claeson & Johansson, 1999), menunjukkan bahwa beton yang terkungkung (*confined concrete*) mempunyai kekuatan tekan ( $f'_c$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ) yang lebih baik dibandingkan beton yang tidak terkungkung (*unconfined concrete*). Penggunaan kurva ini karena beton yang terkungkung sengkang akan mempunyai kekuatan tekan yang tinggi dan kerusakan yang lebih daktail. Hal ini terjadi karena beton akan sulit pecah karena tertahan sengkang. Semakin rapat sengkang akan semakin tinggi kekuatannya.



Hal ini terjadi karena baja tulangan sengkang juga dapat memikul beban vertikal. Selain itu peningkatan daktilitas dan kekuatan beton terkurung tergantung pada seberapa baik pengurungan beton untuk menahan gaya desak ke samping. Kecenderungan pembesaran beton terkurung dapat ditahan oleh pembungkus beton. Tulangan sengkang mampu menghasilkan dan membatasi tekanan yang terjadi.

Penggunaan sengkang juga mempengaruhi kekuatan tekan pada beton dimana kekuatan tekan di dalam sengkang lebih besar jika dibandingkan dengan kekuatan tekan beton yang berada di luar sengkang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah ini.



**Gambar 5.** Gaya Tekan antara Beton di Dalam Sengkang dan Beton di Luar Sengkang.

Sumber: Claeson & Johansson (1999)

## 2.5 Lekatan antara Beton dan Tulangan

Menurut Winter & Nilson (1993), Kuat lekat adalah kemampuan baja tulangan dan beton yang menyelimuti dalam menahan gaya-gaya dari luar ataupun faktor lain yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan antara baja tulangan dan beton. Kekuatan lekatan merupakan hasil dari berbagai parameter, seperti adhesi antara beton dengan permukaan tulangan baja. Kemudian tekanan beton kering terhadap tulangan adalah akibat adanya susut pengeringan pada beton. Selain itu saling bergeseknya permukaan baja dan beton disekitarnya, yang disebabkan oleh tahanan mikro tulangan tarik, menyebabkan peningkatan tahanan terhadap geser. Efek total ini disebut sebagai lekatan (*bond*). Tegangan lekat terutama disebabkan oleh tahanan saling geser (*shear interlock*) antara elemen tulangan dan beton



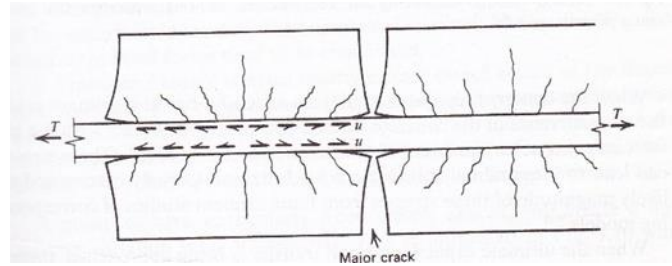
sekitarnya yang disebabkan oleh berbagai faktor. Efek ini dapat dinyatakan sebagai tegangan geser per satuan luas permukaan tulangan. Tegangan langsung ini ditransformasikan dari beton ke permukaan tulangan sehingga mengubah tegangan tarik tulangan diseluruh panjangnya. Tulangan ulir dapat meningkatkan kekuatan lekatan yang disebabkan oleh terjadinya keterpautan (*interlocking*) antara tonjolan (*rib*) dengan beton di sekelilingnya. (Park & Paulay, 1975)

Tulangan polos bisa terlepas dari beton sebab terbelah di arah memanjang apabila adhesi ataupun perlawanan gesek lumayan besar, ataupun dapat terlepas keluar dengan meninggalkan lobang bundar didalam beton untuk adhesi serta tahanan gesek yang rendah, sebaliknya batang tulangan berprofil lebih mengandalkan tahanan dari gerigi terhadap beton. Keruntuhan lekatan (*bond failure*) tulangan berprofil di dalam beton berbobot wajar nyaris senantiasa ialah keruntuhan akibat terbelahnya beton. Pada pola keruntuhan pemisahan ini, beton terbelah jadi dua atau 3 bagian sebab aksi baji (*wedging*) dari gerigi terhadap beton (Wang & Salmon, 1993).

Menurut Nawy (1986) kuat lekatan antara baja tulangan dan beton yang bergantung pada faktor – faktor utama sebagai berikut:

Pada *pull out test* tulangan ditarik dari beton sehingga beton di sekelilingnya mengalami tekan. Perilaku lekatan yang sebenarnya terjadi pada balok beton bertulang tidak seperti pada *pull out test*, tulangan dan beton di sekelilingnya keduanya mengalami tarik. . 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 di bawah ini menunjukkan pola retak yang terjadi di sekitar tulangan polos yang melekat pada matriks beton.





**Gambar 6.** Pola retak pada beton di sepanjang daerah lekatan

Menurut (Nawy, 2010) kuat lekatan antara baja tulangan dan beton yang bergantung pada faktor – faktor utama sebagai berikut:

1. Adhesi antara elemen beton dan bahan penguatnya yaitu tulangan baja. 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 disekeliling tulangan.
3. Tahanan Geser (friksi) terhadap gelincir dan saling “mengunci” pada saat elemen tulangan mengalami tarik. Mekanisme ini terbentuk karena adanya permukaan yang tidak beraturan pada bidang kontak antara tulangan dengan beton.
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 kekuatan tarik baja lebih besar dari kuat lekatnya sehingga akan terjadi slip yang didahului oleh retak belah yang sangat cepat. Bentuk tulangan polos keruntuhan akan berupa slip karena kuat lekat beton sangat kecil, sedangkan bentuk 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 tulangan ulir/tonjolan tulangan dengan matriks beton yang ada disekitarnya, mekanisme ini sangat bergantung pada kekuatan, kepadatan material beton, geometrid an diameter tulangan.
8. Selimut beton, selimut beton yang tidak mencukupi untuk mengakomdasi tegangan tarik keliling akan mengakibatkan retak belah yang selanjutnyamengakibatkan kehancuran belah.
9. Korosi, korosi/karatan akan mengakibatkan turunya *adhési*, *gripping*, *friksi* antara beton dan tulangan sehingga mengurangi kuat lekat.

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.

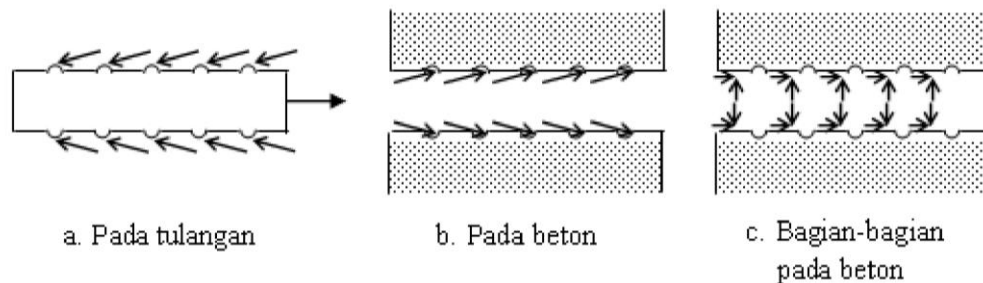
Untuk tulangan polos, lekatan antara tulangan dan beton dibentuk oleh adanya adhesi dan friksi. Pada saat pembebanan awal adhesi dan friksi bekerja bersama-sama hingga tercapai kondisi beban maksimum. Pada kondisi ini adhesi mulai rusak sehingga lekatan antara beton dan tulangan hanya dipikul oleh friksi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

Azizinamini et al., (1993); Kemp & Wang, (1981) mengatakan pada tulangan ulir (*deformed bar*), lekatan dibentuk oleh *adhési*, *friksi* dan *interlocking*. Kontribusi terbesar dalam pembentukan lekatan antara beton dan tulangan didominasi oleh *interlocking* antara matriks beton dan ulir tulangan. Peranan *adhési* dan *friksi* sangat kecil, sehingga pengaruh kedua faktor ini biasanya diabaikan meskipun *adhési* dan *friksi* ikut berperan pada saat awal pembebanan, namun mekanisme *adhési* dan *friksi* ini lebih cepat pengaruhnya pada saat mulai terjadi *slip*, sehingga pada akhirnya

gagal mekanisme *interlocking* antara matrik beton dan tulangnya saja terjadi. Tulangan ulir bekerja menyalurkan beban. Gaya-gaya interaksi antara tulangan berprofil

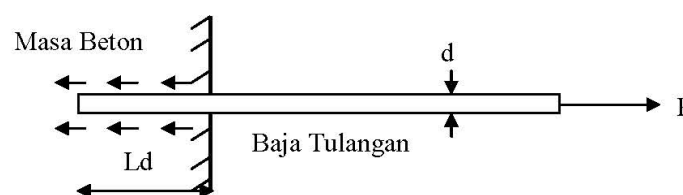


dan beton sekeliling dapat dilihat pada Gambar 7. berikut ini (Wang & Salmon, 1993).



**Gambar 7.** Gaya-gaya diantara tulangan dan beton

Kuat lekat antara beton dan baja tulangan akan berkurang apabila mendapat tegangan yang tinggi karena pada beton terjadi retak-retak. Hal ini apabila terus berlanjut akan dapat mengakibatkan retakan yang terjadi pada beton menjadi lebih lebar dan biasanya bersamaan dengan itu akan terjadi defleksi pada balok. Dalam hal ini fungsi dari beton bertulang menjadi hilang karena baja tulangan telah terlepas dari beton. Meskipun demikian, penggelinciran yang terjadi antara baja tulangan dan beton disekelilingnya kadang tidak mengakibatkan keruntuhan balok secara menyeluruh. Hal ini disebabkan karena ujung-ujung baja tulangan masih berjangkar dengan kuat, sekalipun telah terjadi pemisahan diseluruh batang baja tulangan (Rusyadi, 2014).



**Gambar 8.** Panjang Penyaluran Baja Tulangan

Dasar utama teori panjang penyaluran adalah dengan memperhitungkan suatu baja tulangan yang ditanam di dalam masa beton. Pada gambar 8 di jelaskan sebuah gaya P diberikan pada baja tulangan tersebut. Gaya ini selanjutnya akan ditahan oleh beton di sekelilingnya. Tegangan lekat bekerja antara baja tulangan yang tertanam di dalam masa beton, sehingga total gaya yang dilawan sebelum batang baja tercabut keluar dari masa beton adalah



sebanding dengan luas selimut baja tulangan yang tertanam dikalikan dengan kuat lekat antara beton dengan baja tulangan.

Mengacu pada Gambar 8, dapat dirumuskan gaya tarik yang dapat ditahan oleh lekatan baja tulangan dengan beton. Untuk menjamin lekatan antara baja tulangan dan beton tidak mengalami kegagalan, diperlukan adanya syarat panjang penyaluran. Agar terjadi keseimbangan antara gaya horisontal, maka beban (N) yang dapat ditahan sama dengan luas penampang baja dikalikan dengan kuat lekatnya.

$$P = l_d \cdot \pi \cdot D \cdot \tau \dots\dots\dots (2)$$

Dengan mendistribusikan nilai  $P = f_s \cdot A_b$  maka didapat persamaan :

$$A_b \cdot f_y = l_d \cdot \pi \cdot D \cdot \tau \dots\dots\dots (3)$$

Agar terjadi keseimbangan maka pada perencanaan selalu bertujuan dicapainya tegangan leleh ( $f_y$ ) pada baja. Oleh karena itu  $f_s$  dalam persamaan (2) diubah menjadi  $f_y$ .

$$A_b \cdot f_y = l_d \cdot \pi \cdot D \cdot \tau \dots\dots\dots (4)$$

Kemudian dengan mengganti nilai  $A_b$  dengan  $\pi d^2/4$  (untuk satu batang bulat) didapat panjang penyaluran ( $l_d$ ) :

$$l_d = \frac{F_y \cdot D}{4\tau} \dots\dots\dots (5)$$

$$\tau_u = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot l_d} \dots\dots\dots (6)$$

dengan :

$P$  = beban (N)

$A_b$  = luas baja tulangan ( $\text{mm}^2$ )

$f_y$  = tegangan baja leleh (MPa)

$D$  = diameter baja tulangan (mm)

$l_d$  = panjang penyaluran (mm)

$\tau_u$  = tegangan lekat (MPa)



## 2.6 Sifat-Sifat Keruntuhan Lekatan

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 (Nuryani TA, 2005:12) :

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/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

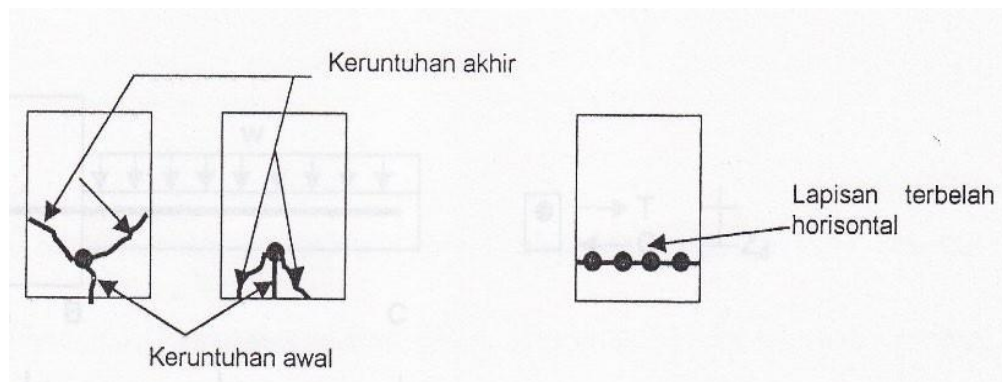




terlepasnya tulangan dari beton karena terbelah di arah memanjang. Sedangkan bila adhesi relatif rendah, tegangan tarik tulangan akan terlepas keluar meninggalkan lobang bulat dalam beton.

## 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. Menurut Wang & Salmon, (1993) keruntuhan lekatan antara baja ulir dengan beton hampir selalu merupakan keruntuhan akibat terbelahnya penampang sekitar tulangan sebagai berikut:



**Gambar 9.** Bentuk kegagalan lekatan tulangan deformasian.

## 2.7 Panjang Penyaluran Dasar $l_d$

Panjang penyaluran adalah panjang tulangan tertanam minimum yang diperlukan untuk menahan gaya tarik dari baja tulangan hingga mencapai leleh  $f_r$

panjang penyaluran  $l_d$  yang diberikan oleh ACI maupun SKSNI adalah sebagai berikut :

$$l_d = \pi \cdot d_b \cdot I_d \cdot \bar{u} \dots \dots \dots (7)$$



Kapasitas tulangan untuk menerima gaya tarik dapat diturunkan menjadi.

$$P = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_b^2 \cdot f_y \dots\dots\dots (8)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 6 ke persamaan 7 akan menghasilkan.

$$l_d = \frac{d_b \cdot f_y}{4 \cdot \bar{u}} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

$l_d$  = panjang penyaluran  $l_d$  (mm)

$f_y$  = tegangan leleh tulangan (MPa)

$\bar{u}$  = *bond stress*

$d_b$  = diameter baja tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2019 , konsep panjang penyaluran membutuhkan panjang penyaluran atau perpanjangan tulangan minimum melebihi keseluruhan titik tegangan puncak pada tulangan.

- a. Tarik atau tekan dihitung pada penulangan disetiap penampang komponen struktur harus disalurkan pada setiap sisinya dengan panjang penyaluran, kait, batang ulir berkepala, sambungan mekanik, atau kombinasinya.
- b. Kait dan kepala tulangan tidak boleh digunakan untuk menyalurkan tekan
- c. Panjang penyaluran tidak memerlukan factor reduksi  $\phi$
- d. Nilai  $\sqrt{F_c'}$  yang digunakan untuk menghitung panjang penyaluran tidak boleh lebih dari 8,3 MPa.

Pada panyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik terdapat ketentuan yaitu dua tingkatan pendekatan atau perhitungan tarik panjang

an.

Panjang penyaluran  $P_d$  untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus yang terbesar dari syarat berikut :



- a. Panjang yang dihitung sesuai dengan Tabel 5 atau sesuai dengan persamaan (10), (11) dengan menggunakan factor modifikasi yang berlaku pada Tabel 7,
  - b. 300 mm.
2. Untuk batang ulir atau kawat ulir,  $P_d$  harus dihitung berdasarkan Tabel 7

**Tabel 7.** Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir dalam Kondisi Tarik

Spasi dan Selimut	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	Batang D22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambungkan tidak kurang dari $d_b$ , selimut beton paling sedikit $d_b$ , dan sengkang atau sengkang ikat sepanjang $l_d$ tidak kurang dari standar minimum atau spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatkan paling sedikit $2d_b$ dan selimut beton paling sedikit $d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda\sqrt{f'c'}}\right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'c'}}\right) d_b$
Kasus-kasus lainnya	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda\sqrt{f'c'}}\right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda\sqrt{f'c'}}\right) d_b$

Sumber : SNI 2847-2019

Untuk batang ulir dan kawat ulir,  $l_d$  harus dihitung dengan

$$l_d = \left( \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'c'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \right) \dots\dots\dots (10)$$



Dimana nilai  $(c_b + K_{tr})/d_b$  tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5 dan

$$K_{tr} = \frac{40 A_{tr}}{sn} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana n adalah jumlah batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatkan di sepanjang bidang pembelahan. Diizinkan untuk menggunakan  $k_{tr} = 0$  sebagai penyederhanaan desain walaupun terdapat tulangan transversal

4. Untuk perhitungan  $P_d$ , factor modifikasi harus sesuai dengan Tabel 8

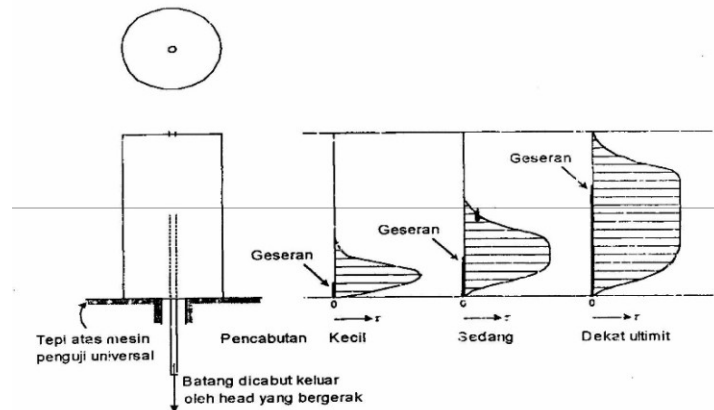
**Tabel 8.** Faktor Modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik

Faktor Modifikasi	Kondisi	Faktor
$\lambda$	Beton Ringan	0,75
	Beton Ringan, bila $f_{ct}$ ditentukan	Sesuai dengan 19.2.4.3
	Beton normal	1,0
$\Psi_e$	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan selimut bersih kurang dari $3d_b$ atau spasi	1,5
	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan kondisi lainnya	1,2
	Tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (galvanis)	1,0
$\Psi_s$	Batang D22 dan yang lebih besar	1,0
	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	0,8
$\Psi_t$	Lebih dari 30 mm beton segar diletakkan dibawah tulangan horizontal	1,3
	Lainnya	1,0

umber : SNI 2847-2019



## 2.8 Pengujian Pencabutan Keluar Pelekatan



**Gambar 10.** Pengujian Pencabutan Keluar Pelekatan, Dengan Distribusi-Distribusi

Tegangan Pelekatan.

Suatu batang ditanamkan dalam sebuah silinder dari beton dan gaya yang dibutuhkan untuk mencabut batang itu keluar atau membuatnya bergeser secara berlebihan diukur. Dalam gambar diperlihatkan rambatan sesar dan tegangan lekat pada pengujian pencabutan keluar pelekatan (*Bond Pull-out Test*). Dari gambar tersebut tampak bahwa sesar antara baja tulangan dan beton merambat dari ujung yang dibebani ke bagian ujung yang tak dibebani (Ferguson, 1986).

## 2.9 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

mencapai luluh dengan diameter yang sama. Ini disebabkan oleh luas 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.

Menurut (Pamungkas, 2013), tegangan lekat rata-rata benda uji dengan baja tulangan sejenis besarnya relatif sama meskipun dengan panjang penyaluran yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena besarnya beban yang dapat diterima oleh lekatan baja tulangan dengan beton, berbanding lurus dengan luas bidang permukaan baja tulangan yang diselimuti beton. Jadi semakin luas bidang permukaan baja tulangan yang diselimuti oleh beton, semakin besar pula beban lekat yang terjadi, sehingga kuat lekat yang dihasilkan besarnya relatif sama.

