

**TESIS**

**PENGARUH SERBUK KACA DENGAN PERENDAMAN  
SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP LEKATAN PADA  
BETON BERTULANG**

*The Effect Of Glass Powder With Immersion As A Substitute For  
Cement On Bonding In Reinforced Concrete*

**HASLINDA**

**D012221035**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**PENGAJUAN TESIS**

**PENGARUH SERBUK KACA DENGAN PERENDAMAN  
SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP LEKATAN PADA  
BETON BERTULANG**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister Program  
Studi Ilmu Teknik Sipil

**HASLINDA**

**D012221035**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

# TESIS

## PENGARUH SERBUK KACA DENGAN PERENDAMAN SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP LEKATAN PADA BETON BERTULANG

**HASLINDA**  
**D012221035**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 13 Mei 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr.Eng. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T  
NIP. 197912262005011001

Pembimbing Pendamping



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

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng.Ir. Muhammad Isran Ramli, ST. MT,IPM  
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Sipil



Dr.Ir.M.Asad Abdurrahman, ST. M.Eng.PM,IPM  
NIP. 197303061998021001

**PERNYATAAN KEASLIAN TESIS  
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Haslinda  
Nomor Induk Mahasiswa : D012221035  
Program Studi : Magister Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “PENGARUH SERBUK KACA DENGAN PERENDAMAN SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP LEKATAN PADA BETON BERTULANG” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing yang terdiri dari DR. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pertama dan Prof. DR. Ing. Ir. Herman Parung, S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing kedua. Tesis ini belum pernah diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun dan kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks yang tercantum dalam daftar pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah diterima untuk publikasi di jurnal internasional bereputasi scopus yaitu scieintific.net sebagai artikel dengan judul “CHARACTERISTICS OF CONCRETE WITH CEMENT SUBSTITUTION USING VARIATIONS OF GLASS POWDER (BOTTLE WASTE) WITH WATER IMMERSION”.

Dengan ini saya limpahkan hak cipta dari karya saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 14 Mei 2024

Penulis



Haslinda

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT sebagai Tuhan yang Maha Esa, karena dengan Rahmat dan hidaya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan naskah tesis dengan judul **“Pengaruh Serbuk Kaca Dengan Perendaman Sebagai Substitusi Semen Terhadap Lekatan Pada Beton Bertulang”** dengan baik dan berjalan lancar. Penelitian dan penyusunan tesis ini merupakan salah satu persyaratan mutlak yang harus penulis penuhi untuk menyelesaikan pendidikan program studi magiste Teknik Sipil di Fakultas Teknik Univeristas Hasanuddin Makassar.

Penulis menyadari sepenuhnya dalam penelitian dan penulisan naskah tesis ini tidak akan terlaksana sebagaimana yang diharapkan tanpa adanya bantuan, arahan, dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini perkenankan penulis dengan segala kerendahan hati ingin menyampaikan menghaturkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Kedua orang tua, Jusi mamaku tercinta, Mudding bapakku terbaik dimuka bumi atas kasih sayang, pengorbanan dukungan dan doanya.
2. **Bapak Prof. DR. Eng. M. Isran Ramli, S.T., M.T.** Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Prof. DR. Eng. H. M. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng.** Selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Univeristas Hasanuddin.
4. **Bapak DR. Muhammad Asad Abdulrahman, S.T., M.Eng., PM.** Selaku ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. **Bapak DR. Eng. Ir. A. Arwi Amiruddin, S.T., M.T.** Selaku dosen pembimbing pertama yang berkenan memberikan tambahan ilmu, Solusi dan advice pada setiap permasalahan atas kesulitan dalam penyusunan naskah tesis ini.
6. **Bapak Prof. DR. Ing. Ir. Herman Parung, S.T., M.Eng.** Selaku dosen pembimbing kedua yang berkenan memberikan tambahan ilmu dan solusi pada setiap permasalahan atas kesulitan dalam penyusunan naskah tesis ini.
7. Para dosen penguji **Bapak Prof. DR. Eng. H. M. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng. Bapak DR. Eng. Akbar Caronge, S.T., M.T., Bapak DR. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng.** yang sejak awal dengan sangat cermat memberikan saran, sanggahan dan kritik demi kesempurnaan pelaksanaan penelitian dan penyusunan naskah tesis ini.
8. Seluruh staff dan dosen pengajar Fakutas Teknik terkhusus Program Studi Magister Teknik Sipil Univeristas Hasanuddin, atas ilmu pengetahuan dan didikan yang diberikan kepada pebulis selama menempuh studi di Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
9. Kakak-kakak saya tercinta Judin, Ani, Unni yang selalu mendukung saya, mendoakan yang terbaik untuk saya.

10. Dosen saya selama menempuh Strata 1, Ibu Ir. Nur Hadijah Yuniati, S.T., M.T. Bapak Ir. Eka Yuniarto, S.T., M.T, Bapak Ir. Arman Setiawan, S.T., M.T, Ibu DR. Ir. Hijriah., S.T., M.T. yang selalu memberikan arahan, motivasi untuk melanjutkan pendidikan Strata 2.
11. Saudara Dwi Nurul Ilmih Ahkam, S.T., M.T., Muh. Shadikin Ismail, S.T.,M.T dan Muhammad Athar Al-Ayubi, S.T., M.T. sebagai rekan saya dalam kegiatan penelitian di tim S2 Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
12. Teman-teman Laboratorium Riset Gempa dan Rekayasa Struktur Angkatan 2019 yang telah membantu dalam proses penelitian Yana, Ricky, Valdo, Cindy, Angi, Lisa, Riski, Didik dan Hikmah.
13. Seluruh teman-teman program studi Teknik Sipil Angkatan 2022 gelombang pertama saya ucapkan terima kasih atas kebersamaannya selama dibangku kuliah.

Semoga Allah SWT sebagai Tuhan Yang Maha Esa, membalas segala kebaikan pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan naskah tesis ini. Akhir kata, penulis mengharapkan tesis ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi dan peradaban umat manusia. Terimakasih.

Makassar, 14 Mei 2024

Penulis



Haslinda

## ABSTRAK

**HASLINDA.** Pengaruh Serbuk Kaca Dengan Perendaman sebagai Substitusi Semen terhadap Lekatan pada Beton Bertulang (dibimbing oleh **Andi Arwin Amiruddin, Herman Parung**)

Meningkatnya penggunaan material semen pada beton dilakukan berbagai penelitian untuk alternatif dalam mengurangi penggunaan semen, salah satunya yaitu serbuk kaca (glass powder) memiliki kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ),  $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{CaO}$  cukup besar yaitu lebih dari 70% (Tenda, R. et al., 2013). Substitusi serbuk kaca pada semen akan mempengaruhi daya lekatan yang terjadi antara baja tulangan dengan beton dalam menahan beban yang bekerja.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku lekatan beton dengan variasi *glass powder* sebagai substitusi semen terhadap baja tulangan tanpa tulangan spiral dan dengan tulangan spiral. Metode yang digunakan adalah pengujian karakteristik dan pengujian *pull-out* tulangan baja yang ditanam pada silinder beton dimensi 150x300mm sejumlah 24 buah dengan mutu beton 21MPa dan mutu baja 400MPa mengacu pada standar ASTM C234. Pengujian menggunakan alat *Universal Testing Machine* kapasitas 1000kN dengan variasi substitusi serbuk kaca yaitu 15%, 20% dan 25% dengan dan tanpa tulangan spiral. Dilakukan perendaman serbuk kaca selama 6 jam sebelum dicampur dengan agregat lainnya.

Penurunan nilai tegangan lekat diperoleh seiring dengan peningkatan penggunaan *glass powder* sebagai substitusi semen dalam campuran beton, dengan persentase penurunan terendah diperoleh pada variasi campuran beton 25%GP yaitu sebesar 63,29% untuk sampel tanpa spiral dan sebesar 58,26% untuk sampel dengan spiral dari sampel 0%GP pada umur 28 hari. Kehadiran *glass powder* dengan persentase yang cukup banyak menyebabkan lemahnya stabilitas mikrostruktur yang mencegah pengembangan kekuatan. Perolehan ini menunjukkan bahwa penggunaan 15%GP menghasilkan nilai tegangan lekat yang mendekati 0%GP. Benda uji *pull-out* yang menggunakan tulangan spiral (S) memiliki nilai tegangan lekat yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji tanpa tulangan spiral (TS). Tegangan lekat sampel 0%GP-S meningkat sebesar 15,08% dengan menggunakan tulangan spiral dibandingkan dengan sampel 0%GP-TS begitu pula dengan sampel 15%GP-S, 20%GP-S, 25%GP-S tegangan lekatnya meningkat masing-masing 8,29%; 10,58% dan 30,83% dibandingkan dengan sampel masing-masing 15%GP-TS, 20%GP-TS, 25%GP-TS. Sehingga, pengekangan tulangan spiral sebagai efek *confinement* mempengaruhi kekuatan lekatan beton *glass powder* sebagai substitusi semen.

**Kata kunci :** Semen, Beton, Serbuk Kaca, Tulangan Sengkang Sprial, Pull-Out, Tegangan Lekat.

## ABSTRACT

**HASLINDA.** The Effect of Glass Powder with Emersion as a Substitute for Cement on Bonding in Reinforced Concrete (supervised by **Andi Arwin Amiruddin, Herman Parung**)

Research studies have been conducted to investigate solutions for reducing cement consumption due to the growing utilization of cement components in concrete. An alternate option is glass powder, which has a high concentration of silica (SiO<sub>2</sub>), Na<sub>2</sub>O, and CaO, surpassing 70% (Tenda, R. et al., 2013). The replacement of glass powder in cement has an impact on the adhesive strength between reinforcing steel and concrete in withstanding external forces.

The objective of this study is to examine the adhesive properties of concrete when glass powder is used as a replacement for cement, under two conditions: with and without spiral reinforcing. The used methodology involves conducting tests on the properties and pull-out strength of steel reinforcement that is implanted within concrete cylinders measuring 150x300mm. A total of 24 specimens are tested, with the concrete having a strength of 21MPa and the steel having a strength of 400MPa, in accordance with ASTM C234 standards. The testing is performed utilizing a Universal Testing Machine capable of handling loads up to 1000kN. The tests involve substituting glass powder in proportions of 15%, 20%, and 25%, both with and without spiral reinforcing. The glass powder undergoes a 6-hour immersion period prior to its incorporation with other aggregates.

An inverse relationship is discovered between bond stress levels and the amount of glass powder used as a substitute for cement in the concrete mix. The smallest reduction in percentage is achieved with a concrete mix containing 25% ground granulated blast furnace slag (GP), measuring 63.29% for samples without spiral reinforcement and 58.26% for samples with spiral reinforcement, in comparison to the sample without GP (0%GP) at 28 days. The inclusion of a substantial proportion of glass powder undermines the stability of the microstructure, impeding the progress of strength enhancement. These data suggest that the utilization of 15%GP yields bond stress levels that are similar to those obtained with 0%GP. Specimens with spiral reinforcement (S) demonstrate elevated bond stress values in comparison to specimens lacking spiral reinforcement (TS) while extracting. The bond stress of the sample with 0%GP-S increases by 15.08% compared to the sample with 0%GP-TS. Similarly, the bond stress for samples with 15%GP-S, 20%GP-S, and 25%GP-S increases by 8.29%, 10.58%, and 30.83%, respectively, compared to their corresponding TS samples. The spiral reinforcement's confinement effect directly impacts the bonding strength of glass powder concrete when used as a substitute for cement.

**Keywords:** Cement, Concrete, Glass Powder, Spiral Reinforcement, Pull-Out, Bond Stress.

## DAFTAR ISI

	<u>Halaman</u>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PENGAJUAN TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAC.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup .....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Beton.....	5
2.2 Bahan Penyusun Beton.....	5
2.2.1 Semen Portland Komposit.....	5
2.2.2 Agregat .....	6
2.2.3 Air.....	6

2.2.4 Kaca.....	7
2.3 Baja Tulangan.....	10
2.4 Sengkang Spiral.....	12
2.5 Lekatan antara Beton dan Tulangan .....	13
2.6 Sifat –Sifat Keruntuhan Lekatan .....	18
2.7 Panjang Penyaluran Dasar $l_d$ .....	19
2.8 Pengujian Pencabutan Keluar Pelekatan .....	23
2.9 Hubungan Panjang Penyaluran Terhadap Tegangan Lekat.....	23
2.10 Penelitian Terdahulu.....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	33
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	34
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	34
3.3.1 Bahan Penelitian.....	34
3.3.2 Alat Penelitian .....	36
3.4 Pemeriksaan Karakteristik Baja.....	36
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Agregat .....	36
3.6 Pemeriksaan Karakteristik Serbuk Kaca .....	37
3.7 Pembuatan Benda Uji .....	37
3.8 Perawatan Benda Uji .....	41
3.9 <i>Set-Up</i> Pengujian .....	42
3.9.1 <i>Set-Up</i> Pengujian Pull Out .....	42
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>43</b>
4.1 Karakteristik Material .....	43
4.1.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tulangan Baja .....	43
4.1.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	44

4.1.3 Hasil Pemeriksaan Karakteristik <i>Glass Powder</i> .....	44
4.2 Komposisi <i>Mix Design</i> .....	46
4.3 Hasil Pengujian Beton .....	47
4.3.1 Tegangan Lekat Baja Tulangan pada Beton.....	47
4.3.2 Perhitungan Panjang Penyaluran Minimum.....	57
4.3.3 Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	60
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>50</b>
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>72</b>

## DAFTAR TABEL

Nomor	<u>Halaman</u>
<b>Tabel 1.</b> Komposisi Kimia Limbah Serbuk Kaca dan OPC .....	10
<b>Tabel 2.</b> Sifat Mekanis Baja Tulangan Beton.....	12
<b>Tabel 3.</b> Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir dalam Kondisi Tarik.	21
<b>Tabel 4.</b> Faktor Modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik.....	22
<b>Tabel 5.</b> Matriks Penelitian-Penelitian Terdahulu.....	25
<b>Tabel 6.</b> Standar Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus .....	36
<b>Tabel 7.</b> Standar Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar .....	37
<b>Tabel 8.</b> Rincian Benda Uji .....	38
<b>Tabel 9.</b> Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tulangan Baja.....	43
<b>Tabel 10.</b> Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat .....	44
<b>Tabel 11.</b> Hasil Pengujian Karakteristik Glass Powder.....	45
<b>Tabel 12</b> Hasil Pengujian XRF.....	46
<b>Tabel 13.</b> Rancangan Campuran Beton .....	47
<b>Tabel 14.</b> Rekapitulasi Tegangan Lekat ( $\tau$ ) Sampel Tanpa Spiral (TS) .....	57
<b>Tabel 15.</b> Rekapitulasi Tegangan Lekat ( $\tau$ ) Sampel dengan Spiral (S) .....	57
<b>Tabel 16.</b> Rekapitulasi Panjang Penyaluran Minimum Sampel dengan Tanpa Spiral (TS).....	58
<b>Tabel 17.</b> Rekapitulasi Panjang Penyaluran Minimum Sampel dengan Spiral (S) .....	59
<b>Tabel 18.</b> Rekapitulasi Panjang Penyaluran Minimum Berdasarkan SNI 2847:2019.....	60

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	<u>Halaman</u>
<b>Gambar 1</b> ikhtisar proses untuk menggiling potongan kaca bersih menjadi material pozzolan .....	10
<b>Gambar 2.</b> Diagram tegangan-regangan hasil uji tarik baja .....	11
<b>Gambar 3.</b> Detail Sengkang Spiral .....	13
<b>Gambar 4.</b> Pola keruntuhan pada beton di sepanjang daerah lekatan .....	14
<b>Gambar 5.</b> Panjang penyaluran baja tulangan .....	17
<b>Gambar 6.</b> Bentuk kegagalan lekatan tulangan deformasian .....	19
<b>Gambar 7.</b> Pengujian Pencabutan Keluar Pelekatan, Dengan Distribusi-Distribusi Tegangan Pelekatan. ....	23
<b>Gambar 8.</b> Diagram Alir Penelitian .....	34
<b>Gambar 9.</b> Bahan-Bahan Penelitian.....	35
<b>Gambar 10.</b> Rencana Benda Uji .....	38
<b>Gambar 11.</b> Benda Uji dengan Spiral.....	39
<b>Gambar 12.</b> Persiapan Material .....	40
<b>Gambar 13.</b> Proses Pencampuran Material.....	40
<b>Gambar 14.</b> Pengujian Slump.....	40
<b>Gambar 15.</b> Campuran Beton dalam Cetakan .....	41
<b>Gambar 16.</b> Pengujian Pull-Out.....	42
<b>Gambar 17.</b> Mikrograf Sampel Glass Powder Botol dengan Perendaman.....	45
<b>Gambar 18.</b> Pengujian XRD botol.....	45
<b>Gambar 19.</b> Hubungan Beban-Perpindahan Sampel Kontrol 0% GP-TS dan 0% ... .....	48
<b>Gambar 20.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 0% GP-TS Setelah di Uji Pull-Out.....	49
<b>Gambar 21.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 0% GP-S Setelah di Uji Pull-Out.....	49
<b>Gambar 22.</b> Hubungan Beban-Slip Sampel 15% GP-TS dan 15% GP-S .....	49
<b>Gambar 23.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 15% GP-TS Setelah di Uji Pull-Out....	50
<b>Gambar 24.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 15% GP-S Setelah di Uji Pull-Out.....	50
<b>Gambar 25.</b> Hubungan Beban-Slip Beton 20% GP Tanpa Spiral (TS) dan dengan Spiral (S) .....	52

<b>Gambar 26.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 20%GP-TS Setelah di Uji Pull-Out....	51
<b>Gambar 27.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 20%GP-S Setelah di Uji Pull-Out.....	52
<b>Gambar 28.</b> Hubungan Beban-Slip Beton 25%GP Tanpa Spiral (TS) dan dengan Spiral (S) .....	53
<b>Gambar 29.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 25%GP-TS Setelah di Uji Pull-Out....	53
<b>Gambar 30.</b> Tipikal Keruntuhan Sampel 25%GP-S Setelah di Uji Pull-Out.....	54
<b>Gambar 31.</b> Hubungan Beban-Slip Beton 0%GP, 15%GP, 20% GP dan 25%GP Tanpa Spiral (TS).....	55
<b>Gambar 32.</b> Hubungan Beban-Slip Beton 0%GP, 15%GP, 20% GP dan 25%GP dengan Spiral (S).....	55
<b>Gambar 33.</b> Tegangan Lekatan Sampel Beton Glass Powder .....	57
<b>Gambar 34.</b> Hubungan $\ell_d$ min dan $\tau_u$ .....	59
<b>Gambar 35.</b> Mikrofoto SEM Sample 0%GP .....	61
<b>Gambar 36.</b> Mikrofoto SEM Sample 15%GP .....	62
<b>Gambar 37.</b> Mikrofoto SEM Sample 20%GP .....	61
<b>Gambar 38.</b> Mikrofoto SEM Sample 25%GP .....	63

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
CO <sub>2</sub>	= Karbon dioksida
SiO <sub>2</sub>	= Silikon dioksida
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= Aluminium oksida
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= Ferioksida
UTM	= <i>Universal Testing Machine</i>
ASTM	= <i>American Society of Testing and Materials</i>
$f'c$	= Kuat tekan beton
kN	= kilo Newton
SNI	= Standar Nasional Indonesia
MPa	= Megapascal
GP	= <i>Glass Powder</i>
WGP	= <i>Waste Glass Powder</i>
XRF	= <i>X-ray Fluorescence</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)
$d_s$	= Diameter tulangan (mm)
$f_y$	= Tegangan leleh baja (Mpa)
$A_s$	= Luas tulangan (mm <sup>2</sup> )
$k$	= Koefisien panjang penyaluran minimum
$D$	= Diameter tulangan (mm)

**DAFTAR LAMPIRAN**

Nomor	<u>Halaman</u>
<b>Lampiran 1.</b> Proses Pemilahan Limbah Kaca Botol.....	72
<b>Lampiran 2.</b> Proses Pengilangan Kaca Botol Menjadi Serbuk Kaca.....	72
<b>Lampiran 3.</b> Proses Persiapan Material.....	72
<b>Lampiran 4.</b> Proses Pembuatan Benda Uji.....	72
<b>Lampiran 5.</b> Proses Pengujian Benda Uji.....	72
<b>Lampiran 6.</b> Hasil Pengujian XRF Botol Tanpa Perendaman.....	72
<b>Lampiran 7.</b> Hasil Pengujian XRF Botol dengan Perendaman.....	72
<b>Lampiran 8.</b> Hasil Pengujian XRD Botol.....	72
<b>Lampiran 9.</b> Hasil Uji Tarik Tulangan Polos.....	72
<b>Lampiran 10.</b> Hasil Uji Tarik Tulangan Ulir.....	72



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material yang paling banyak digunakan di bidang konstruksi saat ini. Hal ini dikarenakan bahan dalam pembuatannya yang mudah didapatkan di sekitar kita. Beton adalah material komposit yang didefinisikan sebagai campuran dari agregat kasar, agregat halus, semen, air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan. Salah satu material dari beton adalah semen, semen memberikan kekuatan tinggi pada beton (R. Rajendran, *et al.*, 2021). Namun dalam proses pembuatan semen menghasilkan gas karbon dioksida ( $CO_2$ ) ke atmosfer yang mengakibatkan masalah lingkungan seperti pemanasan global. Salah satu yang dapat dilakukan untuk mengurangi gas karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan pemanasan global yang disebabkan oleh produksi semen yaitu pengembangan pembuatan beton ramah lingkungan. Agar dapat mengurangi penggunaan semen yang berlebihan salah satu alternatif material dapat digunakan yaitu limbah serbuk kaca yang memiliki kandungan silika ( $SiO_2$ ),  $Na_2O$  dan  $CaO$  pada kaca yang cukup besar yaitu lebih dari 70% (Tenda, R. *et al.*, 2013). Limbah kaca yang tidak digunakan kembali akan berakhir di TPA, hal ini menyebabkan limbah kaca akan semakin banyak karena kaca tidak dapat terurai secara alami. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa partikel kaca halus yang dihancurkan menunjukkan karakteristik pozzolan (Z. Kalakada *et al.*, 2019). Penelitian eksperimental telah menunjukkan bahwa sifat pozzolanik kaca meningkat dengan kehalusannya dan dengan berkurangnya distribusi ukuran partikel, kemampuan pozzolanik kaca meningkat.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh R. Rajendran. *et al.*, (2021) mengemukakan bahwa dengan mengganti bubuk kaca dalam semen, kekuatan dapat dicapai secara proporsional. Hossam A. Elaqla. *et al.*, (2019) menggunakan dua metode pencampuran menyelidiki pengaruh penggunaan limbah lokal *Glass Powder* (yang dihasilkan dari penghancuran limbah kaca) sebagai pengganti semen pada beton segar dan beton keras pertama, metode pencampuran konvensional, dimana serbuk kaca ditambahkan dengan semen dan agregat. Kedua, *glass powder* (serbuk kaca) dilarutkan dalam air sebelum ditambahkan ke

semen dan agregat. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode pencampuran konvensional pada kekuatan tekan menurun seiring bertambahnya serbuk kaca yang digunakan untuk substitusi semen. Untuk metode pencampuran kedua menunjukkan kekuatan tekan yang lebih tinggi dari pada metode pencampuran konvensional, peningkatan ini terjadi karena hidrolisis serbuk kaca menjadi ion bebas  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  dan  $\text{Na}_2\text{O}$  dalam air yang membentuk lebih banyak CSH (berfungsi sebagai zat penentu kekerasan beton dan pengikat agregat). Serta penelitian yang dilakukan oleh Hossam A. Elaqra. *et al.*, (2019) yang mempelajari pengaruh waktu perendaman serbuk kaca terhadap sifat mekanik beton yang mengandung serbuk kaca sebagai pengganti semen dengan hasil menunjukkan bahwa kekuatan tekan optimum diperoleh pada campuran 2,5 dan 5% GP (*glass powder*) dan pada waktu perendaman 3 jam dan 6 jam. Pada usia dini, kuat tekan yang lebih tinggi berasal dari efek ganda dari pengembangan reaksi pozzolanic karena peningkatan ion bebas dalam air sebelum pencampuran dengan beton dan efek pengisian serbuk kaca. Pemadatan zona transisi antara pasta semen dan agregat menyebabkan kuat tekan beton yang lebih tinggi. Kemudian, pada waktu curing yang lama, peningkatan kuat tekan berkorelasi dengan kemajuan reaksi pozzolan dari serbuk kaca.

Kelemahan beton terletak pada sifatnya yang getas dan lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, beton dikombinasikan dengan tulangan baja sehingga menjadi beton bertulang yang mampu menahan kuat tarik akibat pembebanan. Salah satu aspek penting penentu kekuatan beton bertulang adalah lekatan antara beton dan baja tulangan. Uji lekatan dapat dilakukan dengan pengujian *Pullout Test*. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan gaya aksial pada tulangan beton.

Berkaitan dengan hal tersebut, maka kami melakukan penelitian tentang pengujian lekatan tulangan polos dengan menggunakan material serbuk kaca dengan perendaman sebagai substitusi parial semen. Penelitian yang dilakukan diwujudkan dalam penyusunan Tesis dengan judul :

**“PENGARUH SERBUK KACA DENGAN PERENDAMAN SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP LEKATAN PADA BETON BERTULANG”.**

## 1.2 Rumusan Permasalahan

Adapun rumusan permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perilaku lekatan beton dengan variasi serbuk kaca dengan perendaman sebagai substitusi semen tanpa tulangan pengekang?
2. Bagaimana pengaruh tulangan pengekang spiral terhadap nilai kekuatan lekat tulangan baja dengan beton dengan variasi serbuk kaca sebagai substitusi semen?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Menganalisis perilaku lekatan beton dengan variasi serbuk kaca dengan perendaman sebagai substitusi semen tanpa tulangan pengekang.
2. Menganalisis pengaruh tulangan pengekang spiral terhadap nilai kekuatan lekat tulangan baja dengan beton dengan variasi serbuk kaca dengan perendaman sebagai substitusi semen.

## 1.4 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 “*pullout test*” menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) kapasitas 1000 kN dengan modifikasi seperlunya dan menggunakan sampel uji berbentuk silinder.
2. Pedoman yang digunakan sebagai acuan adalah ASTM (*American Society of Testing and Materials*) dan Standar Nasional Indonesia (SNI).
3. Tipe dan diameter tulangan yang diuji adalah tulangan ulir (*ribbed bar*) dengan diameter 13mm sebagai tulangan tarik dan tulangan polos dengan diameter 6mm sebagai tulangan pengekang.
4. Semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cement* Bosowa.
5. Limbah kaca yang digunakan adalah limbah kaca botol.
6. Menggunakan beton dengan variasi serbuk kaca 15%, 20% dan 25% sebagai substitusi semen.

7. Sebelum di campur kedalam beton serbuk kaca yang digunakan direndam selama 6 jam.
8. Jumlah benda uji sebanyak 18 buah untuk beton *pullout*, untuk benda uji tanpa tulangan pengekuat sebanyak 9 buah dan dengan tulangan pengekuat sebanyak 9 buah.
9. Silinder beton yang digunakan untuk beton *pullout* menggunakan dimensi 150 x 300 mm.
10. Dilakukan pengujian *X-ray Fluorescence* (XRF) pada material serbuk kaca.
11. Dilakukan pengujian tarik untuk baja tulangan.
12. Dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut,

1. Memberikan informasi perilaku lekatan antara baja tulangan dengan beton serbuk kaca dengan perendaman sebagai substitusi semen,
2. Memberikan informasi pengaruh tulangan pengekuat terhadap rekatan antara baja tulangan pada beton serbuk kaca dengan perendaman sebagai substitusi semen,
3. Sebagai informasi dan referensi bagi penelitian lanjutan yang berkaitan dengan beton bertulang dengan menggunakan serbuk kaca sebagai substitusi semen.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Beton**

Beton adalah bahan komposit (campuran) yang komposisi utamanya terdiri dari agregat halus, agregat kasar, semen *portland*, air dan/atau tanpa bahan tambahan lainnya dengan beberapa perbandingan tertentu. Sehingga daktalitas beton sangat bergantung pada kualitas masing-masing jenis material pembentuknya (Tjokrodimuljo, 2007).

Beton yang paling banyak digunakan saat ini adalah beton normal, beton dengan kapasitas pemakaian 2.200 - 2.500 kg/m<sup>3</sup> agregat alam yang dipecah atau tidak pecah, dengan kuat tekan sebesar 15-40 Mpa.

#### **2.2 Bahan Penyusun Beton**

Beton umumnya tersusun dari tiga bahan penyusun utama yaitu semen, agregat, dan air. Jika diperlukan bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton. Komposisi beton yang akan dibuat pada penelitian ini terdiri dua jenis perlakuan dimana pertama dibuat perancangan beton normal, yang kedua perancangan beton variasi dengan substitusi serbuk kaca ke dalam campuran semen. Komposisi beton normal sendiri terdiri dari semen portland, batu pecah (*split*), pasir dan air, sedangkan komposisi penggantinya terdiri dari semen portland, batu pecah, serbuk kaca, pasir dan air sebagai campuran yang akan direncanakan pada perancangan pembuatan beton.

##### **2.2.1 Semen Portland Komposit**

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghasilkan klinker terutama dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolisis (dapat mengeras jika bereaksi dengan air) dengan gips sebagai bahan tambahan. 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 furnance slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur,

dengan kadar total bahan anorganik 6%-35% dari massa semen portland komposit. Semen portland komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum.

### **2.2.2 Agregat**

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini membentuk sekitar 70% dari volume beton.

Berdasarkan SNI 1969-2016 agregat halus mempunyai ukuran butir terbesar 44.75 mm. Agregat halus yang digunakan pada campuran beton hendaknya tidak mengandung kadar lumpur lebih dari 5% tidak mengandung zat-zat organik yang turut serta mengurangi mutu dari beton, tidak mengandung bahan reaktif alkali, memiliki kehalusan butir pada rentang 2 mm – 5 mm, serta agregat halus terdiri dari butir yang keras dan mudah pecah. Berdasarkan SNI 1969-2016 agregat kasar memiliki ukuran butiran antara 4.75 mm sampai 40 mm, agregat kasar pada campuran beton tidak boleh mengandung bahan reaktif alkali, jumlah butir pipih tidak lebih dari 20% dari berat agregat seluruhnya, memiliki butiran tajam, kuat dan bersudut, serta memenuhi gradasi butir agregat kasar yang diisyaratkan.

### **2.2.3 Air**

Air merupakan bahan dasar yang penting untuk produksi beton. Air dibutuhkan untuk bereaksi dengan semen, dan juga sebagai pelumas antara partikel agregat untuk kemudahan aplikasi pada media yang dipadatkan. Penyebab kadar air rendah beton sulit dikerjakan (tidak mudah mengalir) dan memiliki kadar air yang tinggi membuat kekuatan beton menjadi lemah dan beton berlubang. Air yang disiapkan harus bersih, bebas dari minyak, asam, alkali, bahan organik atau zat lain dapat merusak beton.

Dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.

- c. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Untuk air perawatan, dapat dipakai juga air yang dipakai untuk pengadukan, tetapi yang harus tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan beton. Besi dan zat organik dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

#### **2.2.4 Kaca**

Kaca merupakan sebuah substansi yang keras dan rapuh, serta merupakan padatan amorf. Hal ini dikarenakan bahan – bahan pembuat kaca bersifat amorf yang mana dapat meleleh dengan mudah. Kaca merupakan hasil penguraian senyawa – senyawa inorganik yang mana telah mengalami pendinginan tanpa kristalisasi. Komponen utama dari kaca adalah silika. Dalam kehidupan sehari – hari kaca digunakan sebagai cermin, insulator panas, alat – alat laboratorium, dekorasi, dan pembatas ruang. Kaca merupakan bentuk lain dari gelas (Glass). Oksida – oksida yang digunakan untuk menyusun komposisi kaca dapat digolongkan menjadi :

1. Glass Former : oksida utama pembentuk kaca
2. Intermediate : Oksida yang menyebabkan kaca mempunyai sifat-sifat yang lebih spesifik, contohnya untuk menahan radiasi, menyerap UV, dan sebagainya.
3. Modifier : Oksida yang tidak menyebabkan kaca memiliki elastisitas, ketahanan suhu, tingkat kekerasan, dll.

Sifat – sifat kaca yaitu :

1. Sifat mekanik : Tension strength atau daya tarik adalah sifat mekanik utama dari kaca. Tensile strength merupakan tegangan maksimum yang dialami oleh kaca sebelum terpisahnya kaca akibat adanya tarikan (fracture). Sumber fracture ini dapat muncul jika kaca mempunyai cacat di permukaan, sehingga tegangan akan terkonsentrasi pada cacat tersebut. Kekuatan dari kaca akan bertambah jika cacat di permukaan dapat dihilangkan.

2. Densitas dan Viskositas : Densitas adalah perbandingan antara massa suatu bahan dibagi dengan volumenya. Nilai densitas dari kaca adalah sekitar 2,49 g/cm<sup>3</sup>. Densitas dari kaca akan menurun seiring dengan kenaikan temperatur. Sedangkan, viskositas merupakan sifat kekentalan dari suatu cairan yang diukur pada rentang temperatur tertentu. Viskositas dari kaca sekitar  $4,5 \times 10^7$  poise. Harga viskositas dari kaca merupakan fungsi dari suhu dengan kurva eksponensial.
3. Sifat termal : Konduktivitas panas dan panas ekspansi merupakan sifat termal yang penting dari kaca. Kedua sifat ini digunakan untuk menghitung besarnya perpindahan panas yang diterima oleh cairan kaca tersebut. Nilai dari tahanan kaca sekitar  $1020 - 1 \Omega \text{ cm}^3$ .
4. Optical properties :
  - Refractive properties : Kaca mempunyai sifat memantulkan cahaya yang jatuh pada permukaan kaca tersebut. Sebagian sinar dari kaca yang jatuh itu akan diserap dan sisanya akan diteruskan. Apabila cahaya dari udara melewati medium padat seperti kaca, maka kecepatan cahaya saat melewati kaca menurun. Perbandingan antara kecepatan cahaya di udara dengan kecepatan cahaya yang lewat gelas ini disebut dengan indeks bias. Nilai indeks bias untuk kaca adalah  $\pm 1,52$ .
  - Absorptive properties : Intensitas cahaya yang masuk ke dalam akan berkurang karena adanya penyerapan sepanjang tebal kaca tersebut. Jika kaca semakin tebal, maka energi cahaya yang diserap akan semakin banyak sedangkan intensitas cahaya yang masuk melalui kaca akan semakin rendah.
5. Stabilitas kimia : Stabilitas kimia adalah ketahanan suatu bahan terhadap pengaruh zat kimia. Stabilitas kimia banyak dipengaruhi oleh bahan – bahan pembentuk kaca.

Bahan baku kaca yaitu :

1. Pasir silika : Pasir silika merupakan sumber dari SiO<sub>2</sub>. Pasir silika yang digunakan sebagai bahan baku kaca adalah pasir silika yang tidak banyak mengandung pengotor, baik dari bahan organik maupun bahan anorganik. Pasir silika berguna untuk membentuk cairan gelas yang

sangat kental yang memiliki ketahanan terhadap perubahan temperatur yang mendadak.

2. Dolomite ( $\text{CaO.MgO.H}_2\text{O}$ ) : Dolomite digunakan sebagai sumber CaO dan MgO. Dolomite ini biasanya berupa mineral tambang berwarna putih. Penggunaan dolomite sangat penting karena dapat mempermudah peleburan (menurunkan temperatur peleburan) serta mempercepat proses pendinginan kaca.
3. Soda Ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) : Soda Ash ini digunakan sebagai sumber Na<sub>2</sub>O dan K<sub>2</sub>O. Fungsi dari Na<sub>2</sub>O adalah menurunkan titik lebur. Secara umum, penggunaan Soda Ash adalah mempercepat pembakaran, menurunkan titik lebur, mempermudah pembersihan gelembung dan mengoksidasi besi.
4. Cullet : Cullet merupakan sisa – sisa dari pecahan kaca yang dapat digunakan sebagai salah satu bahan baku utama dari produksi kaca. Tujuan dari penggunaan cullet ini adalah mengurangi 3 bahan baku utama di atas sehingga biaya produksi dapat semakin kecil. Komposisi kimia dari cullet sama dengan komposisi kimia kaca yang diproduksi. Selain itu, penggunaan cullet ini dapat memperkecil melting point atau titik lebur dari pembuatan kaca, sehingga dapat menghemat penggunaan bahan bakar.

Jenis – jenis kaca yaitu :

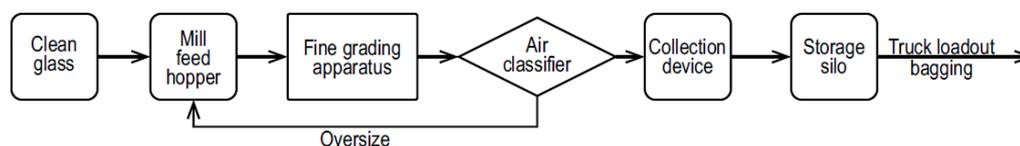
1. Gelas wadah (digunakan dalam kemasan) bahan ini adalah umumnya kaca soda-kapur diproduksi dalam warna batu api (bening), hijau, biru, atau kuning dan dibentuk oleh tekanan udara dalam cetakan
2. Kaca pelat (digunakan sebagai kaca pada bangunan dan mobil), bahan ini juga umumnya berupa kaca soda-kapur yang diproduksi dalam warna bening atau berwarna dan dibentuk dengan mengapung di atas timah cair
3. E-glass (digunakan sebagai penguat dalam polimer yang diperkuat serat), bahan ini adalah kaca alkali rendah yang dibentuk dengan ekstrusi melalui untuk membentuk filamen dengan cepat ditarik ke diameter halus sebelum mengeras.

Sifat pozzolan kaca pertama kali terlihat pada ukuran partikel di bawah sekitar 300mm, dan di bawah 100mm, kaca memiliki reaktivitas pozzolan pada tingkat penggantian semen yang rendah setelah 90 hari pengawetan (Shi et al., 2005). Ukuran tersebut dapat dicapai dengan melakukan penggilingan menggunakan “*Ball Mill*” yang umumnya digunakan dalam industri semen untuk menggiling klinker semen. Komposisi kimia dari serbuk kaca (bening dan berwarna) dibandingkan dengan semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah merupakan hasil uji XRF yang dilakukan oleh Sadiqul Islam, et al., (2017).

**Tabel 1.** Komposisi Kimia Limbah Serbuk Kaca dan OPC

Komposisi	Serbuk Kaca Bening ( <i>Clear Glass Powder</i> )	Serbuk Kaca Warna ( <i>Color Glass Powder</i> )	<i>Ordinary Portland Cement</i> (OPC)
SiO <sub>2</sub>	68,1	68,7	22,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,9	1,0	5,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6	0,9	3,5
CaO	14,5	12,0	63,0
MgO	1,8	1,8	1,5
K <sub>2</sub> O	0,8	1,0	1,0
Na <sub>2</sub> O	12,2	13,3	0,1
SO <sub>3</sub>	0,4	0,1	2,0

Sumber : Islam et al., 2017



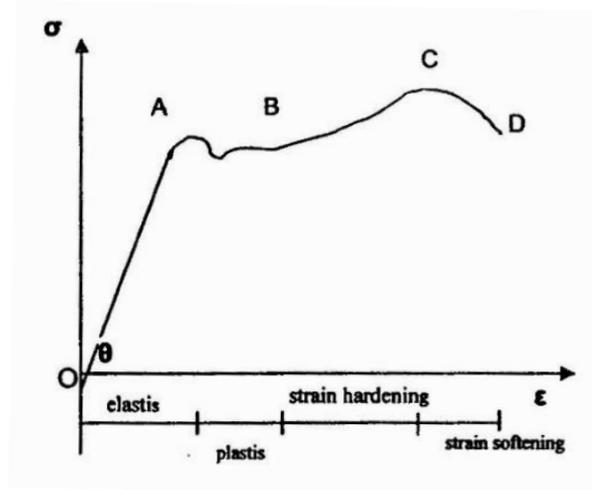
**Gambar 1.** ikhtisar proses untuk menggiling potongan kaca bersih menjadi material pozzolan

(Sumber :Kaminsky et al., 2020)

### 2.3 Baja Tulangan

Beton merupakan bahan struktur yang lemah dalam hal kekuatan tarik, sehingga biasanya digabungkan dengan tulangan untuk membentuk satu bahan komposit yang disebut beton bertulang. Beton tidak dapat menahan gaya tarik

melebihi nilai tertentu tanpa retak. Oleh karena itu, agar beton dapat bekerja dengan baik pada sistem struktur, maka harus dibantu dengan baja tulangan yang terutama memenuhi tugas menahan gaya tarik yang masuk ke dalam sistem.



**Gambar 2.** Diagram tegangan-regangan hasil uji tarik baja

(Sumber : (Park & Paulay, 1975))

Dalam struktur beton bertulang, upaya harus dilakukan untuk memungkinkan tulangan dan beton berdeformasi pada saat yang bersamaan. Ini dimaksudkan agar terdapat ikatan yang kuat di antara keduanya dan berlangsung lekatan erat antara baja tulangan dengan beton.

Gambar 1 merupakan diagram hasil uji traik pada baja yang dibebani secara static. Garis O-A menunjukkan fase elastis, dimana pada fase ini hubungan tegangan regangan adalah linier. Titik A disebut batas proporsional, tegangan dititik A disedut tegangan proporsional yang nilainya sangat dekat dengan tegangan leleh ( $f_y$ ) dengan regangan sebesar 0,002. Kemiringan (*sloop*) garis O-A menunjukkan modulus elastisitas (E) yang dikenal juga sebagai *young modulus*. Diatas batas elastis, tegangan yang terjadi relatif konstan, sedangkan regangan terus bertambah hingga mencapai titik B. Garis A-B menunjukkan keadaan plastis. Setelah melampaui titik B tegangan dan regangan meningkat kembali dan mencapai tegangan maksimum dititik C, dimana di C disebut tegangan ultimit (kuat tarik baja) dengan nilai regangan berbeda tergantung mutu bajanya. Fase B-C disebut pergeseran regangan (*strain hardening*). Setelah melampaui titik C, penampang baja mengalami penyempitan (*necking*) yang mengakibatkan tegangan

menurun dan akhirnya baja putus di D dengan nilai regangan yang berbeda tergantung mutu bajanya. Fase C-D disebut pelunakan regangan (*strain softening*). Adapun sifat mekanis baja berdasarkan SNI 2052-2017 dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Sifat Mekanis Baja Tulangan Beton

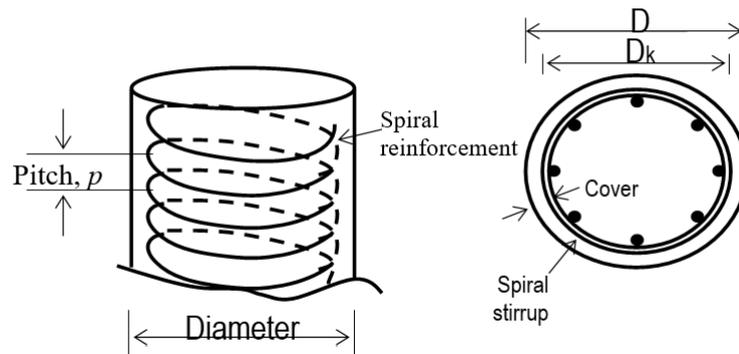
Kelas baja tulangan	Uji tarik		
	Kuat luluh/leleh (YS) Mpa	kuat tarik (TS) Mpa	Regangan dalam 200 mm, Min. %
BjTP 280	Min. 280	Min. 350	11 ( $d \leq 10$ mm)
	Maks. 405		12 ( $d \geq 12$ mm)
BjTS 280	Min. 280	Min. 350	11 ( $d \leq 10$ mm)
	Maks. 405		12 ( $d \geq 13$ mm)
BjTS 420A	Min. 420 Maks. 545	Min. 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.

## 2.4 Sengkang Spiral

Tulangan spiral adalah tipe lain dari tulangan lateral, tulangan ini bisa disebut sebagai *helical lateral* (Edward G. Nawy, 1990). Tulangan spiral membantu meningkatkan daktilitas dari beton. Beton di luar pengaruh pengekanan kolom tulangan spiral mengalami spalling yang tidak alami, yang mengakibatkan gaya lateral mendadak seperti gaya seismik. Jarak antar tulangan spiral dibatasi antara 1 sampai 3 inci (25,4-76,2 mm).

Kemampuan *confinement* beton untuk menahan beban diakibatkan oleh penambahan tekanan lateral pada core (inti) beton dengan memperbanyak jumlah lilitan spiral beton seperti terlihat pada Gambar 2 dibawah, Sengkang spiral didesain untuk meningkatkan kemampuan inti (*core*) beton (Ghoneim & El-Mihilmy, 2008).



**Gambar 3.** Detail Senggang Spiral  
(Sumber: Ghoneim & El-Mihilmy, 2008)

## 2.5 Lekatan antara Beton dan Tulangan

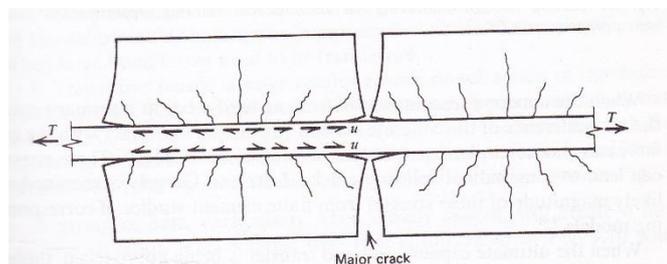
Pada umumnya penggunaan tulangan pokok pada struktur beton bertulang merupakan untuk menggantikan kuat tarik material beton yang lemah. Tegangan tarik yang terjadi pada beton ditransfer ke tulangan melalui mekanisme pengikatan, yang memungkinkan kedua material, beton dan tulangan, untuk bekerja sama 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).

Tulangan polos dapat terlepas dari beton karena terbelah di arah memanjang bila adhesi atau perlawanan gesek cukup tinggi, atau dapat terlepas keluar dengan meninggalkan lobang bulat didalam beton untuk adhesi dan tahanan gesek yang rendah, sedangkan batang tulangan berprofil lebih mengandalkan tahanan dari gerigi terhadap beton. Keruntuhan lekatan (*bond*

*failure*) tulangan berprofil di dalam beton berbobot normal hampir selalu merupakan keruntuhan akibat terbelahnya beton. Pada pola keruntuhan pembelahan ini, beton terbelah menjadi dua atau tiga bagian karena aksi baji (*wedging*) dari gerigi terhadap beton (Wang & Salmon, 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 baja dapat 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 4.** Pola keruntuhan pada beton di sepanjang daerah lekatan

Menurut Edward G. Nawy, 1990 kuat lekat antara baja tulangan dan beton yang membungkusnya dipengaruhi oleh faktor:

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. Kesemuanya ini mempunyai pengaruh terhadap pertumbuhan retak radial. 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 sangat cepat. 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 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 mengakomodasi tegangan tarik keliling akan mengakibatkan retak belah yang selanjutnya mengakibatkan 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 *adhési* dan *friksi*. Pada saat pembebanan awal *adhési* dan *friksi* bekerja

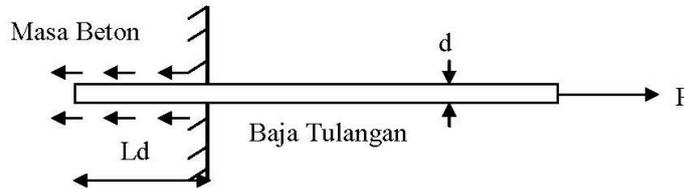
bersama-sama hingga tercapai kondisi beban maksimum. Pada kondisi ini *adhesi* mulai rusak sehingga lekatan antara beton dan tulangan hanya dipikul oleh *friksi* saja. Selanjutnya kapasitas lekatan berangsur-angsur turun karena berkurangnya *friksi* yang menyebabkan *slip*.

Huang et al., (1991), mengatakan pada pembebanan tertentu dimana tulangan polos mencapai tegangan lelah, *adhesi* dan *friksi* dapat hilang dengan cepat, hal ini disebabkan karena adanya pengecilan diameter (pengaruh *poisson's ratio*), tulangan polos umumnya tidak dianjurkan untuk digunakan sebagai tulangan pokok dan jika digunakan sebagai tulangan pokok maka tulangan harus diangkur atau dibengkokkan pada ujung-ujungnya. Tulangan pokok dianjurkan menggunakan tulangan ulir.

Atorod Azizinamini John J. Roller, and S. K. Ghosh, 1993 dan Kemp & Wang, (1981) mengatakan pada tulangan ulir (*deformed bar*), lekatan dibentuk oleh *adhesi*, *friksi* dan *interlocking*. Kontribusi terbesar dalam pembentukan lekatan antara beton dan tulangan didominasi oleh *interlocking* antara matriks beton dan ulir tulangan. Peranan *adhesi* dan *friksi* sangat kecil, sehingga pengaruh kedua faktor ini biasanya diabaikan meskipun *adhesi* dan *friksi* ikut berperan pada saat awal pembebanan, namun mekanisme *adhesi* dan *friksi* ini lebih cepat pengaruhnya pada saat mulai terjadi *slip*, sehingga pada akhirnya hanya tinggal mekanisme *interlocking* antara matrik beton dan tulangannya saja yang bekerja menyalurkan beban.

Tegangan tersebut mempunyai dua komponen tegangan yaitu tegangan *longitudinal* (sejajar sumbu tulangan) yang merupakan besarnya tegangan lekat efektif dan tegangan *radial* (tegak lurus sumbu tulangan), kedua tegangan ini bekerja pada bidang selimut tulangan. 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.



**Gambar 5.** Panjang penyaluran baja tulangan

Dasar utama teori panjang penyaluran adalah dengan memperhitungkan suatu baja tulangan yang ditanam di dalam masa beton. Sebuah gaya F diberikan pada baja tulangan tersebut. Gaya ini selanjutnya akan ditahan antara baja tulangan dengan beton di sekelilingnya. Tegangan lekat bekerja sepanjang baja tulangan yang tertanam di dalam massa beton, sehingga total gaya yang harus 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. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Mengacu pada Gambar 2.3, 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.

$$P = l_d \cdot \pi \cdot D \cdot \tau \dots\dots\dots(1)$$

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

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

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  $f_y$ .

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

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

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

$$\tau = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot l_d} \dots\dots\dots (5)$$

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)

$\tau$  = tegangan lekat (MPa)

## 2.6 Sifat –Sifat Keruntuhan Lekatan

Mindess et al., (1994) mengatakan keruntuhan lekatan antara beton dan tulangan pada pengujian tegangan lekat, pada umumnya ditunjukkan oleh terjadinya salah satu dari berikut ini :

### 1. *Splitting failure*

Kondisi ini ditunjukkan adanya retak pada beton akibat tegangan tarik yang tidak bisa ditahan oleh *cover* beton, keruntuhan ini mengakibatkan menurunnya tegangan lekat antara beton dan tulangan.

### 2. *Pull out failure (slip)*

Merupakan suatu kondisi keruntuhan dimana besi tulangan tercabut dari dalam beton tanpa mengalami retak yang diakibatkan oleh komponen tegangan geser yang memecahkan beton diantara uliran tulangan

### 3. Keruntuhan tarik beton

Merupakan suatu kondisi dimana penampang beton tidak mampu menerima tegangan tarik yang disalurkan oleh tulangan.

### 4. Tulangan mencapai leleh dan akhirnya putus.

Kuat lekatan jauh lebih besar dari pada kuat putus tulangan, sehingga tulangan putus.

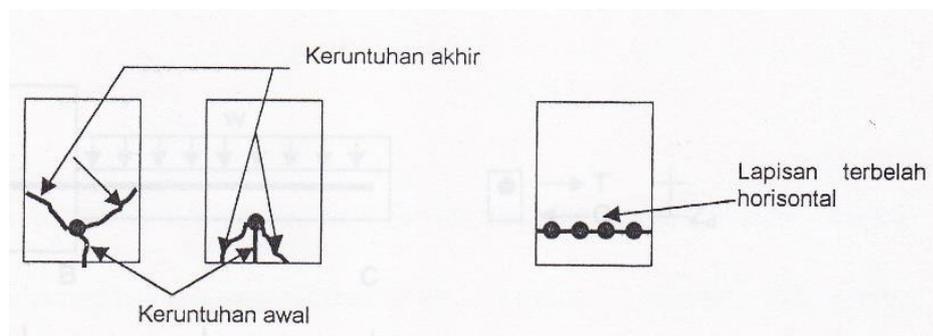
Penelitian terhadap sifat keruntuhan lekatan yang dilakukan terhadap bentuk tulangan dapat dikembangkan sebagai berikut :

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



**Gambar 6.** Bentuk kegagalan lekatan tulangan deformasian

## 2.7 Panjang Penyaluran Dasar $l_d$

Panjang penyaluran dibutuhkan karena adanya kecenderungan batang dengan tegangan yang sangat besar dapat membelah bagian yang tipis beton pembungkus. Sebuah tulangan tunggal yang tertanam pada beton masif seharusnya tidak memerlukan panjang penyaluran yang besar, walaupun demikian

sebaris tulangan, bahkan didalam beton massif, dapat membuat suatu perlemahan bidang dengan pembelahan beton (*splitting*) arah longitudinal di sepanjang bidang tulangan. Panjang penyaluran dasar  $l_d$  merupakan suatu fungsi dari ukuran (dimensi) dan tegangan leleh tulangan yang sangat menentukan ketahanan tulangan untuk terjadinya *slip*. Kuat lekat beton  $\tau$  adalah suatu fungsi dari kuat tekan beton. Hubungan antara kuat tekan beton dengan kuat lekat dapat dilihat pada rumus dibawah ini:

$$\tau = k \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

$\tau$  = kuat lekat beton (MPa)

$f'_c$  = kuat tekan beton

$k$  = koefisien

Untuk menentukan panjang penyaluran dasar  $l_d$  digunakan rumus sebagai berikut:

$$l_d = k \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} Ab \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

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

$f_y$  = tegangan leleh tulangan (MPa)

$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)

$Ab$  = luas tulangan (mm<sup>2</sup>)

$k$  = koefisien hubungan antara kuat lekat dengan kuat tekan beton

$$K_1 = \frac{\sqrt{f'_c}}{\pi D \tau} \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

$\tau$  = tegangan lekat, MPa

$D$  = diameter tulangan, mm

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

1. Panjang penyaluran  $\ell_d$  untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus yang terbesar dari syarat berikut,
  - a. Panjang yang dihitung sesuai dengan Tabel 3 atau sesuai dengan persamaan (10), (11) dengan menggunakan factor modifikasi yang berlaku pada Tabel 4,
  - b. 300 mm.
2. Untuk batang ulir atau kawat ulir,  $\ell_d$  harus dihitung berdasarkan Tabel 3.

**Tabel 3.** 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 disambung lewatkan 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

3. Untuk batang ulir dan kawat ulir,  $\ell_d$  harus dihitung dengan

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

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.

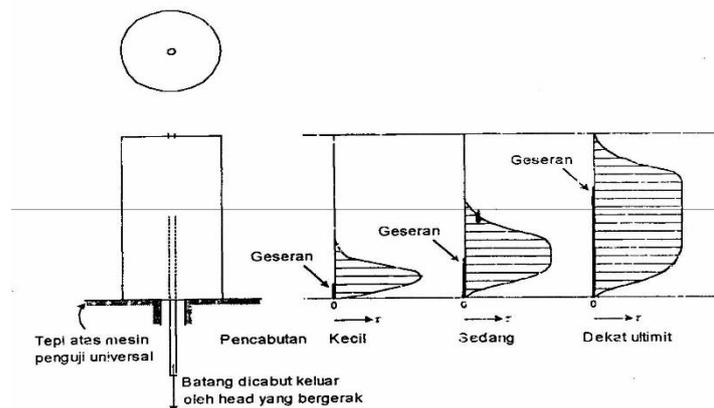
4. Untuk perhitungan  $\ell_d$ , factor modifikasi harus sesuai dengan Tabel 4

**Tabel 4.** 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
Pengecoran $\Psi_t$	Lebih dari 30 mm beton segar diletakkan dibawah tulangan horizontal	1,3
	Lainnya	1,0

Sumber : SNI 2847-2019

## 2.8 Pengujian Pencabutan Keluar Pelekatan



**Gambar 7.** 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 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.

## **2.10 Penelitian Terdahulu**

Untuk memverifikasi keberadaan dan posisi penelitian ini, serta untuk mencapai focus dan keaslian penelitian (celah/ujung penelitian) dalam rangka mengisi celah ilmu pengetahuan, dipandang perlu untuk merivew (mengkaji ulang) beberapa penelitian terdahulu yang relevan, untuk disandingkan terutama yang berkaitan dengan penelitian *pullout* dan penelitian substitusi serbuk kaca terhadap semen.

Berikut ini akan dijabarkan beberapa penelitian terdahulu yang dianggap relevan dan seialur dengan tema penelitian ini.

**Tabel 5.** Matriks Penelitian-Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian/Tahun	Peneliti/ Negara	Kata Kunci	Metode Penelitian	Pokok Persoalan	Hasil Penelitian	Sumber
1	<i>Effect of new mixing method of glass powder as cement replacement on mechanical behavior of concrete / 2019</i>	Hossam A.Elaqra. Mohamed A.Abou Haloub Rifat N. Rustom/Palestina	Konkret Bubuk kaca Kekuatan tekan Kekuatan lentur Metode pencampuran konvensional Metode pencampuran baru	Eksperimental	Menyelidiki pengaruh penggunaan limbah lokal <i>glass powder</i> sebagai pengganti semen pada beton	1. Kemerosotan meningkat karena penggantian serbuk kaca meningkat pada beton karena adanya lebih banyak air bebas dalam struktur, yang menyebabkan kepadatan lebih rendah dan penyerapan air lebih tinggi. Akibatnya, kuat tekan metode campuran konvensional menurun seiring bertambahnya serbuk kaca pada usia dini. 2. Metode pencampuran baru menunjukkan	Construction and Building Materials 203, Journal Of Elsevier

No	Judul Penelitian/Tahun	Peneliti/ Negara	Kata Kunci	Metode Penelitian	Pokok Persoalan	Hasil Penelitian	Sumber
						<p>kekuatan tekan yang lebih tinggi daripada metode pencampuran konvensional.</p> <p>Menggunakan 10% GP dalam metode pencampuran baru memberikan peningkatan yang signifikan, sekitar 130% dari kuat tekan campuran kontrol. Peningkatan ini dapat dikaitkan dengan hidrolisis serbuk kaca menjadi ion bebas SiO<sub>2</sub>, CaO dan Na<sub>2</sub>O dalam air yang membentuk lebih banyak CSH. Indeks</p>	

No	Judul Penelitian/Tahun	Peneliti/ Negara	Kata Kunci	Metode Penelitian	Pokok Persoalan	Hasil Penelitian	Sumber
						relatif membuktikan peningkatan reaktivitas serbuk kaca dengan meningkatnya jumlah serbuk kaca.	
2	<i>Effect of immersion time of glass powder on mechanical properties of concrete contained glass powder as cement replacement/2019</i>	Hossam A.Elqra Mostafa J.Al-Afghany Aony B.Abo-Hasseira Ibrahim H.Elmasry Ahmad M.Tabasi Mohammad D.Alwan/Palestina	Konkret Bubuk kaca Waktu perendaman Peralatan mekanis Reaktivitas pozzolan Indeks pozzolan Penyerapan air	Eksperimental	Mengetahui pengaruh waktu perendaman serbuk kaca dalam air sebelum dicampur dengan bahan beton lainnya	Kekuatan tekan optimum diperoleh pada campuran 2,5 dan 5% GP dan pada waktu perendaman 3 jam dan 6 jam. Pada usia dini, kuat tekan yang lebih tinggi berasal dari efek ganda dari pengembangan reaksi pozzolanic karena peningkatan ion bebas dalam air sebelum pencampuran dengan	Construction and Building Materials 206, Journal Of Elsevier

No	Judul Penelitian/Tahun	Peneliti/ Negara	Kata Kunci	Metode Penelitian	Pokok Persoalan	Hasil Penelitian	Sumber
						beton dan efek pengisian serbuk kaca. Pematatan zona transisi antara pasta semen dan agregat menyebabkan kuat tekan beton yang lebih tinggi. Kemudian, pada waktu curing yang lama, peningkatan kuat tekan berkorelasi dengan kemajuan reaksi pozzolan dari GP.	
3	<i>Effect of Glass Powder on Bond Strength in Reinforced Concrete/2019</i>	Tejashri Shinde Jayshri Katkade Shubham Thorat Jaywant Nimbalkar Shivsiddha Somawanshi/India	Beton bertulang Krisalisasi Kuat tekan Kuat tarik Kuat Retak	Eksperimental	Menyelidiki pengaruh serbuk kaca sebagai bahan pengganti semen	1. Dengan presentase substitusi semen sampai dengan 20%, kuat tekan beton meningkat. Ketika lebih dari 20% kuat tekan beton mengalami	International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and

No	Judul Penelitian/Tahun	Peneliti/ Negara	Kata Kunci	Metode Penelitian	Pokok Persoalan	Hasil Penelitian	Sumber
					terhadap kuat tekan dan tarik beton serta kuat lekat pada beton bertulang	penurunan. 2. Pada pengujian kuat tarik, dengan substitusi semen dengan serbuk kaca sampai dengan 25%, kuat tariknya meningkat. Ketika lebih dari 25% kuat tariknya menurun, 3. Kekuatan ikatan terus meningkat seiring dengan bertambahnya presentase substitusi serbuk kaca hingga di penambahan 25%, setelah penambahan lebih dari 25% kekuatan ikatannya menurun.	Technology, Volume 6
4	<i>An experiment on concrete replacing</i>	R. Rajendran A. Sathishkumar	Kaca Semen	Eksperimental	Mengetahui pengaruh	Penambahan serbuk kaca dengan presentase 20%	Proceedings 47, Journal Of

No	Judul Penelitian/Tahun	Peneliti/ Negara	Kata Kunci	Metode Penelitian	Pokok Persoalan	Hasil Penelitian	Sumber
	<i>binding material as waste glass powder/2021</i>	K.Perumal N. Pannirselvam N. Lingeswaran Sateesh Babu Madvarapu/India	Berkelanjutan Lingkungan		penggunaan limbah <i>glass powder</i> sebagai pengganti semen pada beton	memberikan kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur yang besar. Setelah lebih dari 20% penambahan serbuk kaca akan menurunkan workability dan kekuatan tekan beton.	Elsevier
5	<i>Effect of Glass Powder on Bond Strength in Reinforced Concrete, 2019</i>	Tejashri Shinde, Katkade, Shubham Thorat, Jaywant Nimbalkar, Shivsiddha Somawanshi/ India		Eksperimental	Penelitian ini menyelidiki perilaku lekatan baja tulangan di bawah kondisi kurungan eksternal dan internal tertentu.	Nilai kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lekat beton pada umur 28 hari meningkat seiring dengan persentase penggantian semen dengan serbuk kaca hingga 25% dan selanjutnya menurun pada persentase 30%.	<i>International Journal Science Research and Science Engineering Technology</i> 6(3)
6	<i>Influence of</i>	Özer Zeybek, Yasin		Eksperimental	Untuk	Berdasarkan hasil yang	<i>Materials</i> 15

No	Judul Penelitian/Tahun	Peneliti/ Negara	Kata Kunci	Metode Penelitian	Pokok Persoalan	Hasil Penelitian	Sumber
	<i>Replacing Cement with Waste Glass on Mechanical Properties of Concrete, 2022</i>	Onuralp Özkılıç, Memduh Karalar, Ali İhsan Çelik, Shaker Qaidi, Jawad Ahmad, Dumitru Doru Burduhos-Nergis and Diana Petronela Burduhos-Nergis / Turkey, Iraq, Pakistan, Romania			mengetahui efek gabungan dari rasio WGP ( <i>Waste Glass Powder</i> ) yang berbeda pada kinerja beton, sampel campuran (10%, 20%, 30%) untuk penggantian semen, agregat halus dan kasar menggunakan baik serbuk	diperoleh, substitusi 20% WGP sebagai semen dapat dianggap sebagai kadar optimum. Di sisi lain, untuk beton yang diproduksi dengan kombinasi WGP dan partikel kaca pecah, sifat mekanik meningkat hingga batas tertentu dan kemudian menurun karena kemampuan pengerjaan yang buruk. Dengan demikian, 10% dapat dianggap sebagai tingkat penggantian yang optimal, Selanjutnya, analisis	

<b>No</b>	<b>Judul Penelitian/Tahun</b>	<b>Peneliti/ Negara</b>	<b>Kata Kunci</b>	<b>Metode Penelitian</b>	<b>Pokok Persoalan</b>	<b>Hasil Penelitian</b>	<b>Sumber</b>
					kaca dan pecahan kaca.	SEM dilakukan untuk menyelidiki komposisi mikro. Adhesi yang baik diamati antara kaca limbah dan beton semen.	