

**Studi Penggunaan Variasi *Glass Powder* Sebagai Substitusi Pasir  
Terhadap Lekatan Pada Beton Bertulang**

*Study Of The Use Of Glass Powder Variations As A Substitution Of  
Sand For Bonding In Reinforced Concrete*

**MUHAMMAD ATHAR AL AYUBI A.R  
D012221001**



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

**TESIS**

**Studi Penggunaan Variasi *Glass Powder* Sebagai Substitusi Pasir  
Terhadap Lekatan Pada Beton Bertulang**

*Study Of The Use Of Glass Powder Variations As A Substitution Of  
Sand For Bonding In Reinforced Concrete*

**MUHAMMAD ATHAR AL AYUBI A.R  
D012221001**



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

**PENGAJUAN TESIS**

**Studi Penggunaan Variasi *Glass Powder* Sebagai Substitusi Pasir  
Terhadap Lekatan Pada Beton Bertulang**

Tesis

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

Disusun dan diajukan oleh:

**MUHAMMAD ATHAR AL AYUBI A.R**

**D012221001**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2024**

**TESIS****STUDI PENGGUNAAN VARIASI GLASS POWDER  
SEBAGAI SUBTITUSI PASIR TERHADAP LEKATAN  
PADA BETON BERTULANG****MUHAMMAD ATHAR AL AYUBI A.R  
D012221001**

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 PERLIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Athar Al Ayubi A.R

Nomor Induk Mahasiswa : D012221001

Program Studi : Magister Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul **“Studi Penggunaan Variasi Glass Powder Sebagai Subtitusi Pasir 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 kedua dan Prof. DR. Ing. Ir. Herman Parung, S.T., M.Eng, Selaku dosen pembimbing pertama. 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 International Symponsium Infrastructured Development (ISID 2023). sebagai artikel dengan judul **“The mechanical characteristics of concrete as different types of glass powder substitute for sand”**.

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

Makassar, 13 Mei 2024

Penulis



Muhammad Athar Al Ayubi A.R

## 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 “ **STUDI PENGGUNAAN VARIASI GLASS POWDER SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR 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 menyapaikan menghaturkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda Ir. H. Rokhman, S.T, M.M, M.T, IPM, ASEAN.Eng dan ibunda DR.Hj. Hasbiah, S.Sos, M.M atas doa, bantuan, kasih sayang dan segala dukungan selama ini baik spiritual maupun material,
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. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.** Selaku dosen pembimbing pertama yang berkenan memberikan tambahan ilmu, Solusi dan advice pada setiap permasalahan atas kesulitan dalam penyesunan 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. Rudi Djamaluddin., ST, M.Eng** **Ibu Prof. Dr. Eng. Ir. Rita Irmawaty., ST, MT, dan Bapak DR. Eng. Fakhrudin, 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 staf dan dosen pengajar Fakultas Teknik terkhusus Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, atas ilmu pengetahuan dan didikan yang diberikan kepada penulis selama menempuh studi di Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
9. Adik saya tercinta Nurul Ainun Nisa yang selalu menaruh atensi dan mendukung dalam setiap keputusan.
10. Kekasih Saya Yang saya Cintai sebagai Support Sistem dan mendukung dalam setiap keputusan dalam menjalani penelitian hingga akhir ujian tesis.
11. Teman-teman saya seangkatan di lab. Gempa Haslinda, S.T., M.T., Muh. Shadikin Ismail, S.T.,M.T dan Dwi Nurul Ilmih Ahkam, 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 ummat manusia. Terimakasih.

Makassar, 13 Mei 2024

Penulis

Muhammad Athar Al Ayubi A.R

## ABSTRAK

**MUHAMMAD ATHAR AL AYUBI A.R**, *Studi Variasi Penggunaan Glass powder Sebagai Substitusi Pasir Terhadap Lekatan Pada Beton Bertulang* (dibimbing oleh Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, S.T, M.T, Prof-Ing. Herman Parung, M.Eng)

Limbah kaca merupakan limbah yang banyak dihasilkan dari bangunan. Dampak negatif yang paling utama adalah ketika limbah kaca dibuang ke tempat pembuangan sampah tanpa pengolahan. Hal ini akan berdampak pada lingkungan karena limbah kaca yang tidak terurai secara alami. Oleh sebab itu solusi yang dapat mengatasi masalah tersebut yakni menggunakan kembali limbah kaca sebagai salah satu material beton. Tujuan dari penelitian ini menganalisis perilaku lekatan beton dengan variasi glass powder sebagai substitusi pasir tanpa tulangan pengekang dan menggunakan tulangan pengekang serta menganalisis pola kegagalan lekatan beton bertulang.

Limbah kaca yang digunakan berasal dari Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Material agregat dan serbuk kaca dilakukan pengujian karakteristik hingga memenuhi spesifikasi. Benda uji menggunakan silinder ukuran 300 mm x 150 mm dengan memakai tulangan longitudinal ukuran D13 sebagai tulangan utama dan tulangan pengekang ukuran Ø6. Melakukan pengujian pull-out dengan alat *Universal Testing Machine* dengan kapasitas 1000 kN setelah 28 hari proses *curing*.

Dari hasil pengujian karakteristik diperoleh memenuhi syarat dalam campuran beton bertulang, sementara dari uji pull-out menunjukkan hasil nilai tegangan lekat mengalami penurunan seiring dengan peningkatan glass powder sebagai substitusi pasir dalam campuran beton, dengan adanya tambahan tulangan pengekang nilai tegangan mengalami kenaikan signifikan yakni 5,4% dibandingkan tanpa pengekang pada sampel variasi GP15%. Ini adalah efek pengekangan dari tulangan spiral yang dapat meningkatkan kekuatan dan tegangan ultimit pada beton. Untuk pola kegagalan dari setiap benda uji mengalami putus pada sampel variasi 0%, 15%, 20% sedangkan 25% mengalami slip. Oleh karena itu glass powder dalam substitusi pasir 15% bisa digunakan sebagai bangunan struktural sesuai standar SNI 2847-2019.

**Kata kunci :** Pasir, Substitusi, *Glass Powder*, Lekatan



## ABSTRACT

MUHAMMAD ATHAR AL AYUBI A.R, Study of Variations in the Uses of Glass Powder as Subtitution Sand to Adhesion on Concrete Reinforcement (guided by Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, S.T, M.T, Prof-Ing. Herman Parung, M. Eng)

Buildings generate a significant amount of glass waste. Throwing glass waste into a landfill without processing has a significant negative impact. Glass waste that does not naturally degrade will impact the environment. One solution to address this issue is to repurpose glass waste as a component in concrete production. The objective of this study was to analyze the behavior of concrete adhesion with glass powder variations as sand subtitulation without the adhesive rod and using the adherent rod, as well as patterns of failure of adhesives in solid concrete.

Pasuruan District, East Java Province provided the glass waste used. Testing ensures that the aggregate material and glass powder meet the specifications. The test object used a 300 mm x 150 mm cylinder with a D13 longitudinal hose as the primary hose and an Ø6 constraint hose. Pull-out testing with a Universal Testing Machine with a capacity of 1000 kN after 28 days of curing.

From the test results, the characteristics obtained qualified for solid concrete mixtures, while the pull-out test showed the adhesive voltage value decreased along with the increase of glass powder as sand subtitulation in the concrete mixture, with the presence of an additional strain strainer value experiencing a significant increase of 5.4% compared to no strain on the GP15 variation sample. This is the strain effect of the spiral strain that can increase the strength and last strain of concrete. The failure pattern of each test object has a break on the sample variation of 0%, 15%, and 20%, while 25% has a slip. Therefore, glass powder in sand replacement 15% can be used as structural building according to SNI 2847-2019.

Keywords: sand, subtitution, glass powder, adhesion

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PENGAJUAN TESIS .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	xiv
<b>BAB I</b>	
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Maksud dan tujuan penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulis .....	5
<b>BAB II.....</b>	
<b>TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu .....	6
2.2 Beton Bertulang.....	12
2.3 Baja Tulangan .....	12
2.4 Komponen Penyusun Beton .....	14
2.5 Efek Pengekang Tulangan Spiral .....	22
2.6 Tegangan Lekat .....	25
2.7 Sifat-Sifat Keruntuhan Lekatan.....	30
2.8 Panjang Penyaluran .....	31
2.9 Serbuk kaca .....	35
<b>BAB III .....</b>	
<b>METODE PENELITIAN.....</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	40
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	41
3.3 Material dan Peralatan Penelitian.....	41
3.4 Pemeriksaan Karakteristik Baja .....	43
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	43
3.6 Pemeriksaan Karakteristik Serbuk Kaca .....	44
3.7 Pembuatan Benda Uji.....	44
3.8 Perawatan Benda Uji.....	48
3.9 Set-Up Pengujian Benda Uji .....	49
<b>BAB IV .....</b>	
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	
4.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Baja .....	50
4.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat .....	50

4.3 Hasil Pemeriksaan Karakteristik <i>Glass Powder</i> .....	52
4.4 Komposisi <i>Mix Design</i> .....	55
4.5 Hasil Pengujian Beton .....	56
4.6 Tegangan Lekatan .....	58
4.7 Perhitungan Panjang Penyaluran Minimum.....	70
4.8 Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i> .....	72
BAB V.....	75
KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA .....	77
LAMPIRAN.....	80

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram tegangan-regangan hasil uji tarik baja.....	13
Gambar 2. Grafik Batas Gradasi Agegat Kasar Maksimum Diameter 37,5 mm..	19
Gambar 3. Grafik Batas Gradasi Agegat Kasar Maksimum Diameter 19,0 mm..	19
Gambar 4. Grafik Batas Gradasi Agegat Kasar Maksimum Diameter 12,5 mm..	20
Gambar 5. Agregat Kasar.....	20
Gambar 6. Agregat Halus.....	22
Gambar 7. Ilustrasi confinement pada penampang spiral .....	24
Gambar 8. Hubungan Tegangan Dan Regangan Pada Beton Terkekang Dan Beton Tidak Terkekang .....	24
Gambar 9. Detail Sengkang Spiral.....	25
Gambar 10. Pola keruntuhan pada beton di sepanjang daerah lekatan .....	27
Gambar 11. Panjang Penyaluran Baja Tulangan.....	28
Gambar 12. Bentuk kegagalan lekatan tulangan terdeformasi.....	31
Gambar 13. Panjang penyaluran baja tulangan.....	32
Gambar 14. (a) Limbah botol; (b) Limbah bohlam; (c) Limbah cermin .....	36
Gambar 15. Mesin Penggiling Limbah Kaca.....	37
Gambar 16. (a) Kaca botol; (b) Kaca bohlam; (c) Kaca cermin .....	38
Gambar 17. Diagram alir penelitian.....	41
Gambar 18. Bahan-bahan Dalam Penelitian .....	42
Gambar 19. Sketsa spesimen Uji <i>pull-out</i> .....	44
Gambar 20. Benda uji dengan spiral .....	45
Gambar 21. Proses penimbangan material.....	46
Gambar 22. Proses Pencampuran Material .....	46
Gambar 23. Pengujian Slump .....	47
Gambar 24. Campuran Beton dalam Cetakan.....	47
Gambar 25. Perawatan Benda Uji.....	48
Gambar 26. Set-Up Pengujian Pull-Out.....	49
Gambar 27. Gradasi Butiran Agregat Halus .....	52

Gambar 28. Gradasi Butiran Limbah Kaca Botol.....	53
Gambar 29. Gradasi Butiran Limbah Kaca Bohlam .....	53
Gambar 30. Gradasi Limbah Kaca Cermin.....	54
Gambar 31. Hubungan beban-perpindahan beton kontrol 0% GP.....	59
Gambar 32. Keruntuhan beton 0% GP-TS.....	59
Gambar 33. Keruntuhan beton 0% GP-S .....	60
Gambar 34. Hubungan Beban-Perpindahan Beton GP 15% TS dan GP 15% S...	61
Gambar 35. Tipe keruntuhan benda uji GP15% TS setelah di uji <i>pull-out</i> .....	62
Gambar 36. Tipe keruntuhan benda uji GP15% S setelah di uji <i>pull-out</i> .....	62
Gambar 37. Hubungan Beban-Perpindahan Beton GP 20% TS dan GP 20% S...	63
Gambar 38. Tipe keruntuhan benda uji GP 20% TS setelah di uji <i>pull-out</i> .....	64
Gambar 39. Tipe keruntuhan benda uji GP 20% S setelah di uji <i>pull-out</i> .....	64
Gambar 40. Hubungan Beban-Perpindahan Beton GP 25% TS dan GP 25% S...	65
Gambar 41. Tipe keruntuhan benda uji GP 25% TS setelah di uji <i>pull-out</i> .....	66
Gambar 42. Tipe keruntuhan benda uji GP 25% S setelah di uji <i>pull-out</i> .....	66
Gambar 43. Hubungan Beban-Perpindahan Beton Variasi GP 0%, GP 15%, GP 20%, GP 25% Tanpa Spiral .....	67
Gambar 44. Hubungan Beban-Perpindahan Beton Variasi GP 0%, GP 15%, GP 20%, GP 25% dengan Spiral.....	67
Gambar 45. Tegangan Lekatan Sampel Beton dengan variasi <i>Glass Powder</i> .....	69
Gambar 47. Mikrofoto Hasil SEM GP 0% .....	72
Gambar 48. Mikrofoto Hasil SEM GP 15% .....	73
Gambar 49. Mikrofoto Hasil SEM GP 20% .....	73
Gambar 50. Mikrofoto Hasil SEM GP 25% .....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian terdahulu .....	6
Tabel 2. Sifat Mekanis Baja Tulangan Beton .....	14
Tabel 3. Jenis-Jenis Semen Portland dengan Sifatnya .....	16
Tabel 4. Batasan Gradasi untuk Agregat Halus .....	21
Tabel 5. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus .....	22
Tabel 6. Panjang penyaluran batang Ulir dan Kawat Ulir dalam Kondisi Tarik ..	34
Tabel 7. Faktor Modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik .....	35
Tabel 6. Kandungan Senyawa Kaca .....	38
Tabel 7. Komposisi kimia limbah kaca Komposisi dan massa .....	39
Tabel 8. Standar Pemeriksaan Agregat Kasar .....	43
Tabel 9. Standar Pemeriksaan Agregat Halus .....	43
Tabel 10. Detail Spesimen .....	45
Tabel 11. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tulangan Baja .....	50
Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Agregat .....	51
Tabel 13. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik <i>Glass Powder</i> (Botol) .....	52
Tabel 14. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik <i>Glass Powder</i> (Bohlam) ...	53
Tabel 15. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik <i>Glass Powder</i> (Cermin) ...	54
Tabel 16. Hasil Pengujian XRF .....	55
Tabel 17. Rancangan Campuran Beton .....	55
Tabel 18. Kekuatan Tekan Beton .....	56
Tabel 19. Kekuatan Tarik Belah Beton .....	57
Tabel 20. Rekapitulasi Tegangan Lekat Beton Tanpa Spiral (TS) .....	69
Tabel 21. Rekapitulasi Tegangan Lekat Beton Spiral (S) .....	69
Tabel 22. Rekapitulasi Panjang Penyaluran Minimum Sampel dengan Tanpa Spiral (TS) .....	70
Tabel 23. Rekapitulasi Panjang Penyaluran Minimum Sampel dengan Spiral (S) ..	70
Tabel 24. Rekapitulasi Panjang Minimum Berdasarkan SNI 2847:2019 .....	71

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti Dan Keterangan
$CO_2$	: Karbon Dioksida
$SiO_2$	: Silika Oksida
$Al_2O_3$	: Alumunium Okisda
$CaO$	: Kalsium Oksida / Kapur
$Csh$	: Calsium Silika Hydrate
$Ch$	: Calsium Hydtare
$Fe_2O_3$	: Feroksida
$MgO$	: Magnesia
$SO_4$	: Sulfur
<i>Gp</i>	: <i>Glass Powder</i>
<i>Xrf</i>	: <i>X-Ray Fluorescence</i>
<i>Sni</i>	: Standar Nasional Indonesia
<i>Astm</i>	: <i>American Society Of Testing And Materials</i>
<i>Utm</i>	: <i>Universal Testing Machine</i>
<i>Lvdt</i>	: <i>Linier Variable Displacement Tranducer</i>
<i>Ts</i>	: Tulangan Spiral
<i>S</i>	: Spiral
<i>Cl</i>	: Natrium Clorida
<i>Opc</i>	: <i>Ordinary Portland Cement</i>
<i>T</i>	: Tegangan Lekat (Mpa)
<i>F'c</i>	: Kuat Tekan (Mpa)
<i>E</i>	: Regangan
<i>P</i>	: Kuat Tekan (N)
$\mu$	: Kekuatan Lekat Antara Beton Dengan Tulangan (Mpa)
$L_d$	: Panjang Penanaman (Mm)
$L_{admin}$	: Panjang Penyaluran Minimum (Mm)
$d_s$	: Diameter Tulangan (Mm)
$f_y$	: Tegangan Leleh Baja (Mpa)
$A_s$	: Luas Tulangan ( $mm^2$ )

<i>k</i>	:	Koefisien Panjang Penyaluran Minimum
<i>D</i>	:	Diameter Tulangan (MM)
<i>C-S-H</i>	:	Kalsium Silicate Hydrate
<i>Asr</i>	:	Alumina Silicate Reaction
<i>Sem</i>	:	Scanning Electron Microscopy
<i>Xrd</i>	:	X-Ray Dispersive

---



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Di era modern, banyak bangunan yang menggunakan arsitektur berbahan kaca. Dari bangunan tersebut sudah pasti menghasilkan limbah kaca baik berasal dari proses pembangunan yakni berupa sisa-sisa potongan kaca yang tak terpakai maupun ketika bangunan sudah tidak digunakan atau saat bangunan dibongkar. Limbah kaca tersebut tidak dapat membusuk atau terurai sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan jika terus menerus dibiarkan.

Oleh karena itu, dicari solusi yang efektif untuk mereduksi dampak negatif dari pembuangan limbah kaca. Salah satu solusinya adalah beton ramah lingkungan (*Green concrete*) (Olii, Poe, Ichsan, & Olii, 2020). Salah satu ciri dari GC adalah penggunaan bahan material yang dapat digunakan kembali (*reuse*) sebagai salah satu material pembuatan beton.

Kaca merupakan limbah yang dapat digunakan kembali sebagai salah satu bahan pengganti sebagian material pada campuran beton baik semen maupun agregat halus dikarenakan kaca memiliki sifat karakteristik seperti pasir alami. Limbah kaca jika dihancurkan menjadi seukuran pasir alami akan memiliki bentuk yang tidak beraturan dan tepi sudut yang lebih banyak sehingga dapat mengisi pori-pori besar pada beton. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Jing, Huang, & Zhu, 2020), melakukan uji *scanning electron microscope* pada benda uji mortar dengan pasir kaca, menunjukkan struktur pori yang lebih baik. Artinya pasir kaca dapat digunakan sebagai pengisi pori atau *filler* sehingga diperoleh beton yang lebih padat dengan porositas yang rendah sehingga menghasilkan kekuatan tekan beton yang dapat meningkat. Namun, akibat dari tekstur permukaan kaca yang halus dan memiliki banyak sudut membuat ikatan antara pasta semen dengan kaca sangat lemah. Hal ini juga dijelaskan oleh (Khan & Sarker, 2020), dalam penelitiannya dengan menambah kaca sebagai pengganti pasir alam dapat mengurangi kekuatan tekan karena ikatan yang lemah pada zona lekatan (*Interfacial Transition Zone*). Selain itu, bentuk kaca yang tidak beraturan, bersudut, dan tajam akan menyebabkan *microcracks* atau retak internal dalam

struktur mikro antara pasta semen dan agregat pasir kaca. Penelitian yang dilakukan adalah benda uji mortar dengan penggantian pasir kaca dari 25% sampai dengan 100%. Namun, bagaimana karakteristik dari benda uji beton jika menggunakan silinder berukuran 100 mm x 200 mm dengan variasi penggantian pasir kaca 0%, 15%, 20%, dan 25%. Untuk memberikan informasi yang lebih relevan maka perlu dilakukan penelitian dengan dimensi dan penggantian proporsi variasi yang berbeda dalam penelitian yang akan dilakukan oleh penulis.

Salah satu jenis limbah yang sulit untuk dibuang adalah limbah kaca. Pecahan kaca diketahui berbahaya karena sifatnya yang tajam dan tajam serta dapat menyebabkan cedera. Limbah kaca juga merupakan jenis limbah padat yang tidak dapat terurai di alam. Penggunaan kaca sendiri yang sangat penting untuk berbagai kebutuhan manusia membutuhkan produksi bahan ini dalam jumlah yang sangat besar. Produksi massal ini berdampak pada lingkungan karena kaca tidak korosif. Limbah kaca bekas merupakan bahan limbah yang tidak dapat terurai oleh bahan organik, sehingga ketika digunakan komponen campuran beton, diperlukan berbagai proses alternatif untuk menghasilkan limbah kaca. (Asri mulyadi, Diawarman, dan Ricih. 2018)

kaca yang digunakan dibentuk terlebih dahulu sebagai serbuk kaca. Hasil dari eksperimen penggantian pasir menggunakan limbah kaca dalam campuran beton yang mengandung mikrosilika yaitu meningkatnya kuat tekan beton. seiring dengan meningkatkan persentase partikel kaca kuat tekan akan meningkat. Sehingga diperoleh persentase optimal dari serbuk kaca adalah 50%. Menurut penelitian yang dilakukan Fanisa Eki G.P. dkk. (2013), penggantian pasir dengan serbuk kaca memiliki permeabilitas yang rendah sehingga larutan sulfat lebih sukar masuk kedalam beton dibandingkan dengan beton tanpa substitusi serbuk kaca dengan hasil maksimal kuat tekan beton akibat pengaruh sulfat untuk w/c 0,65 didapatkan 23,08 MPa pada persentase 20%.

Beton itu sendiri memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan material lainnya, seperti beton dapat dengan mudah dibentuk sesuai kebutuhan, kuat terhadap tekan, tahan terhadap suhu tinggi dan biaya pemeliharaan yang relative murah. Namun, beton merupakan material struktural yang lemah terhadap kuat 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 (Edward G. Nawy, 1990). Pengujian ini dapat memberikan perbandingan lekatan yang efisien terhadap permukaan tulangan

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penting untuk dilakukan penelitian secara eksperimental dan disusunlah tesis ini dengan judul: **“STUDI PENGGUNAAN VARIASI GLASS POWDER SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR TERHADAP LEKATAN PADA BETON BERTULANG”**

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang, penulis mencoba merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perilaku lekatan beton dengan variasi glass powder sebagai pengganti pasir tanpa menggunakan tulangan pengekang?
2. Bagaimana perilaku lekatan lekatan beton dengan variasi glass powder sebagai substitusi pasir dengan menggunakan tulangan pengekang?
3. Bagaimana Pola Kegagalan pada lekatan beton dengan variasi glass powder sebagai substitusi glass powder tanpa tulangan pengekang dan menggunakan tulangan pengekang?

### 1.3 Maksud dan tujuan penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dikemukakan diatas maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis perilaku lekatan beton dengan variasi glass powder sebagai substitusi pasir tanpa menggunakan pengekang.
2. Menganalisis perilaku lekatan beton dengan variasi glass powder sebagai substitusi pasir dengan menggunakan pengekang.
3. Menganalisis pola kegagalan pada lekatan beton dengan variasi glass powder sebagai substitusi pasir tanpa tulangan pengekang dan menggunakan tulangan pengekang.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah sebagai berikut :

1. Benda uji *pull-out* berupa silinder beton bertulang dengan variasi *glass powder* sebagai pengganti pasir dengan ukuran 150 x 300 mm sebanyak 24 benda uji dengan 15%, 20%, 25% penggunaan glass powder.
2. Limbah kaca yang digunakan adalah 3 jenis yaitu bohlam, botol, cermin
3. Ukuran serbuk kaca yang digunakan adalah 75 mm yang lolos saringan no 4
4. Jenis tulangan yang di gunakan adalah tulangan polos  $\varnothing 6$  sebagai spiral dan tulangan ulir d13.
5. Semen yang digunakan adalah Portland Composite Cement Bosowa
6. Melakukan pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) pada material serbuk kaca
7. Melakukan pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) pada setiap sampel uji
8. Pedoman yang digunakan sebagai acuan adalah ASTM (American Society of Testing and Materials)
9. Pengujian ini dilakukan dengan metode *Pull-Out Test* menggunakan alat Universal Testing Machine (UTM) pada Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

## 1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat seperti:

1. Memberikan pemahaman mengenai perilaku lekatan beton bertulang dengan menggunakan varisai *glass powder* sebagai pengganti pasir.
2. Sebagai informasi dan referensi bagi peneliti lanjutan yang berkaitan dengan balok bertulang dan beton *glass powder* sebagai substitusi pasir

## 1.6 Sistematika Penulis

Penulisan tugas akhir ini akan diuraikan dalam sistematika penulisan yang dibagi menjadi lima bab pokok bahasan sebagai berikut :

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Menjelaskan latar belakang permasalahan, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan secara singkat.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Menyajikan kerangka teori konseptual mengenai penelitian secara singkat dan gambaran umum dari sampel penelitian yang akan diuji.

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

Bab ini akan berisi tentang metode penelitian yang dilakukan penulis dalam melakukan penelitian dari mulai awal persiapan hingga mencapai hasil.

### **BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dijelaskan hasil yang diperoleh dari penelitian serta pembahasan dari hasil yang didapatkan

### **BAB V. PENUTUP**

Bab ini akan dipaparkan beberapa kesimpulan yang didapat dari hasil dan pembahasan juga akan diberi beberapa saran dari penulis kepada pembaca

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Tabel 1. Penelitian terdahulu

No	Penulis	Judul	Tahun	Tujuan	Hasil penelitian
1	Kim Ibrahim	<i>Recycled Waste Glass As A Partial Replacement Of sand in glass fiber Reinforced concrete.</i>	2021	Penelitian ini mencoba untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan limbah kaca (WG) sebagai substitusi sebagian pasir pada beton biasa dan juga beton bertulang serat kaca.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ketika pasir diganti dengan WGP, kuat tekan dan tarik belah semua beton campuran meningkat.</li> <li>2. Pada 30% substitusi pasir dengan pecahan kaca limbah, peningkatan tekan dan tarik belah kekuatan dibandingkan dengan campuran referensi jelas meningkat.</li> <li>3. Saat semen diganti, dengan 10% silica fume, kekuatan tekan dan kekuatan tarik meningkat untuk persentase penggantian limbah kaca.</li> <li>4. Kehadiran GP, sebagai penambah pada campuran</li> </ol>

					<p>substitusi pasir, meningkatkan kuat tekan dan tarik beton untuk semua persentase limbah substitusi kaca.</p> <p>5. Utilitas WGP dalam beton dapat dipastikan hemat biaya bila tidak bermanfaat untuk pemborosan dan bebas biaya.</p> <p>6. Kegunaan WGP dalam beton akan menghilangkan masalah pembuangan WGP dan terbukti ramah lingkungan membuka jalan untuk beton yang lebih hijau.</p>
2	Gao, X. Yu, Qingliang Li, X. S. Yuan, Yuliang	<i>Assessing the modification efficiency of waste glass powder in hydraulic construction materials</i>	2020	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki mekanisme reaksi dan mengidentifikasi kemampuan kerja, sifat mekanik dan struktur mikro serbuk kaca limbah dalam dua sistem	<p>1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berbeda dari efek silica fume, penambahan serbuk kaca limbah sedikit meningkatkan workability, dan menunjukkan</p>

				pengikatan yang berbeda: bahan aktif alkali dan bahan semen.	karakteristik hidrasi/reaksi usia dini yang berbeda. 2. Hasil kekuatan menunjukkan bahwa penambahan limbah kaca meningkatkan kekuatan tekan secara umum, dan campuran silika fume memberikan peningkatan yang relatif lebih tinggi.
3	Elaqra, Hossam A. Haloub, Mohamed A.Abou Rustom, Rifat N.	<i>Effect of new mixing method of glass powder as cement replacement on mechanical behavior of concrete</i>	2019	Studi ini menyelidiki pengaruh penggunaan limbah lokal Glass Powder (yang dihasilkan dari penghancuran limbah kaca) sebagai pengganti semen pada beton segar dan beton keras.	Peningkatan jumlah serbuk kaca dalam beton mempengaruhi sifat beton segar dan mengeras. Workability meningkat dengan meningkatnya jumlah GP dalam beton sedangkan densitas beton menurun.
4	Kusuma, muharram wijaya Sunarsih, ernawati sri Lilo, taufiq Sucipto, adi	Pemanfaatan limbah kaca sebagai pengganti sebagian volume pasir dan fly ash 20 % sebagai bahan pengganti semen ditinjau dari	2020	Penggunaan limbah fly ash dan limbah kaca diharapkan mampu memperkuat ketahanan beton didalam lingkungan yang mengandung asam sulfat dan menjadi salah satu langkah	1. Penggunaan limbah kaca sebagai pengganti pasir dan fly ash 20% sebagai bahan pengganti semen berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan pada lingkungan



		kuat tekan dan berat jenis beton dalam		alternatif untuk mengurangi limbah fly ash dan limbah kaca.	<p>agresi sulfat 5% dengan pengaruh dari serbuk kaca sebesar 73% dan berpengaruh negatif secara signifikan menurunkan berat jenis dengan besar pengaruh dari serbuk kaca sebesar 22,9%.</p> <p>2. Persentase penggunaan limbah kaca sebagai pengganti pengganti pasir memiliki nilai optimal penambahan sebesar 18,44% terhadap ketahanan beton dalam agresi sulfat dan diperoleh kuat tekan beton maksimal sebesar 21,07 MPa</p> <p>3. Penambahan serbuk kaca 20% memiliki ketahanan yang lebih baik dari pada beton normal maupun beton dengan variasi lainnya dengan selisih kuat tekan</p>
--	--	--	--	---	--

					dan berat jenis setelah perendaman beton dalam lingkungan agresi sulfat 5% masing-masing sebesar 0,32% dan 0,04%.
5	Karwur, Handy Yohanes Tenda, R. Wallah, S.E. Windah, R. S.	Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen	2013	Serbuk kaca diharapkan berfungsi sebagai filler karena memiliki potensi sebagai material pozzolan.	Beton dengan nilai kuat tekan tertinggi dicapai pada komposisi serbuk kaca 10% sedangkan nilai kuat tekan terendah di dapat pada komposisi kaca 15%.
6	Amiruddin, A. Arwin	Perilaku lekatan Tulangan Ulir Terhadap Material SCC	2013	Diharapkan pada beton bertulang yang terdiri dari tulangan dan beton apabila struktur diberi beban tidak terjadi slip antara baja tulangan dan beton asalkan tersedia panjang penyaluran dan diameter tulangan yang cukup	Hasil uji tarik pada variasi tulangan dan panjang sebaran tulangan yang tertanam pada sampel GRP dan sampel SCC menunjukkan bahwa kekuatan rekat sampel NVC D10 lebih rendah dibandingkan sampel NVC D12. dengan deviasi 3,25% (fractional gain) dan lebih kecil dari sampel NVC D13 dengan deviasi 11,82% (penguatan slip) dan kekuatan ikatan sampel SCC-D10 lebih kecil dari deviasi sampel SCC-D12 3,25% (tulangan patah) dan lebih kecil dari sampel SCC D13

					dengan deviasi 13,68 D44 (tulang slip). Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan ikatan meningkat dengan penguatan dan variasi dalam penguatan Panjang distribusi dan efek pengekangan dan efek perekat beton dan kekuatan beton.
7	Safarizki, Gunawan, & Marwahyudi	Effectiveness of Glass Powder as a Partial Replacement of Sand in Concrete Mixtures. Journal of Physics.	2020	Tujuan penelitian mencari perilaku beton dengan substitusi Sebagian pasir variasi 0%, 10%, 15%, 20%, & 30%	Kekuatan tekan optimal beton yang dapat dicapai dalam penelitian ini yaitu sebesar 22,8 MPa dengan variasi kandungan kaca kasar 15%.
8	Tamiwa, Manalip, & Tamboto	Pemeriksaan Tegangan lekat antara Baja dan Beton dengan kuat tekan Beton 40 MPa	2016	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hubungan antara kuat tekan beton 40 MPa dengan tegangan lekat antara baja dan beton.	Tegangan lekat ( $\mu$ ) sebesar 15,3 MPa pada beton dengan kuat tekan ( $F'c$ ) 40 Mpa dan terjadi keruntuhan pada uji Tarik beton.

## **2.2 Beton Bertulang**

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja, yang bekerja bersama-sama untuk memikul beban yang ada. Tulangan baja akan memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Selain itu tulangan baja juga mampu memikul beban tekan, seperti digunakan pada elemen kolom beton. (Setiawan, 2016).

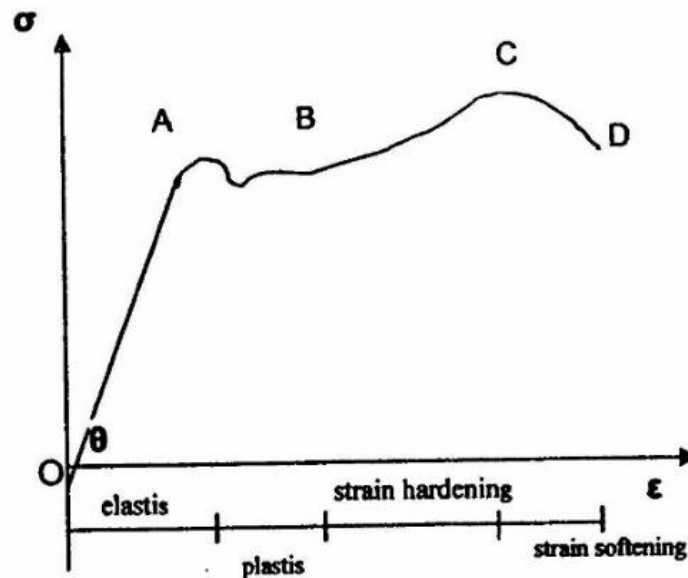
Menurut SNI 2847-2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, beton bertulang adalah beton struktural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan nonprategang minimum yang ditetapkan. Beton bertulang mempunyai sifat sesuai dengan bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh tulangan, sedangkan beban tekan ditahan oleh beton.

Perencanaan pencampuran, jenis, mutu dan jumlah bahan komponen beton harus dihitung menurut takaran atau proporsi tertentu untuk menghasilkan mutu beton yang diinginkan. Selain itu, definisi beton adalah campuran antara semen, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan campuran yang membentuk suatu massa padat (SK SNI T-15-1991-03). Pengerasan terjadi karena adanya reaksi kimia antara air dan semen yang berlangsung dalam jangka waktu yang lama, sehingga campuran menjadi semakin keras sebanding dengan umurnya, jarak antar partikelnya besar (kerikil atau batu pecah) diisi dengan bahan partikel yang lebih kecil. (agregat halus, pasir) dan rongga antara agregat halus ini diisi dengan semen dan air (pasta semen). 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.

## **2.3 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 1. Diagram tegangan-regangan hasil uji tarik baja

Sumber: park & paulay, 19765

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

## 2.4 Komponen Penyusun Beton

### 2.4.1 Semen

Arti kata semen adalah bahan yang mempunyai sifat adhesif maupun kohesif, yaitu bahan pengikat. Berdasarkan (SNI, 2049:2015), semen portland adalah semen hidrolis 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.

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.

Adapun beberapa jenis semen yang umum digunakan sebagai berikut :

1. *Portland Composite Cement*

Digunakan untuk bangunan-bangunan pada umumnya yang sama dengan penggunaan OPC dengan kekuatan tekan yang sama. Panas hidrasi dari semen PCC lebih rendah dibandingkan dengan OPC selama proses pendinginan. Hal ini akan membuat *workability* yang lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton yang lebih rapat dan halus. Menurut (SNI, 7064:2014), merupakan 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.

2. *Ordinary Portland Cement (OPC)*

Adalah jenis yang paling umum dari semen dalam penggunaan di seluruh dunia khususnya di negara Indonesia karena merupakan bahan dasar beton, dan plesteran semen.

Menurut (SNI, 2049:2015), semen *portland/Ordinary Portland Cement (OPC)* dibedakan menjadi :

a. *Portland Cement Type I (Ordinary Portland Cement)*

Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain. Jenis ini paling banyak diproduksi karena digunakan hampir semua pada jenis konstruksi.

b. *Portland Cement Type II (Moderate sulfat resistance)*

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

c. *Portland Cement Type III (High Early Strength Portland Cement)*

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi. Kekuatan 28 hari umumnya dapat dicapai dalam 1 minggu. Semen jenis ini umum dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus dapat cepat dipakai.

d. *Portland Cement Type IV (Low Heat of Hydration)*

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah. Dipakai untuk kondisi di mana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan masif seperti bendungan gravitasi yang besar.

e. *Portland Cement Type V (Sulfat Resistance Cement)*

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Umumnya dipakai di daerah di mana tanah atau airnya memiliki kandungan sulfat tinggi.

Tabel 3. Jenis-Jenis Semen Portland dengan Sifatnya

Tipe semen	Sifat pemakaian	Kadar senyawa (%)				Kehalusan blaine (m <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	Kuat 1 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Panas hidrasi (J/g)
		C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF			
I	Umum	50	24	11	8	350	1000	330
II	Modifikasi	42	33	5	13	350	900	250
III	Kekuatan awal tinggi	60	13	9	8	450	2000	500
IV	Panas hidrasi rendah	25	50	5	12	300	450	210
V	Tahan sulfat	40	40	9	9	350	900	250

Sumber : (Nugraha & Antoni, 2007)

### 3. *Portland Pozzolan Cement*

Menurut (SNI, 0302:2014), suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozolan halus, yang diproduksi



dengan menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6% sampai dengan 40% massa semen portland pozolan.

#### **2.4.2 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).

Air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi syarat 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.

#### **2.4.3 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.

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, 2018).

Jenis-jenis agregat dapat diklasifikasikan berdasarkan kriteria sebagai berikut (Nugraha & Antoni, 2007) :

1. Ukuran dan Produksi

Perbedaan antara agregat kasar dan agregat halus adalah ayakan 5 mm atau 3/16'. Agregat halus adalah agregat yang lebih kecil dari ukuran 5 mm dan agregat kasar adalah agregat yang berukuran lebih dari 5 mm.

2. Kepadatan

Tidak ada batasan yang jelas antara agregat biasa dengan agregat ringan atau agregat berat. Jenis agregat berdasarkan kepadatannya yakni 1) Ringan (kepadatannya 300-1800 kg/m<sup>3</sup>), sedang (kepadatannya 2400-3000 kg/m<sup>3</sup>) dan berat (kepadatannya > 4000 kg/m<sup>3</sup>)

3. Peterologi

Klasifikasi menurut BS 812 yang membaginya kedalam kelompok Artifisial, Basaltt, Flint, Gabbro, Granit, Gristone, Hornfels, Batu kapur, Propyry, Quartzite, dan Schist.

4. Minerologi

Menurut ASTM C294, klasifikasi komposisi mineral semen portland adalah demikian : felspars, mineral silika, karbon, sulfat, besi sulfida, besi magnesias, oksida besi dan mineral tanah liat.

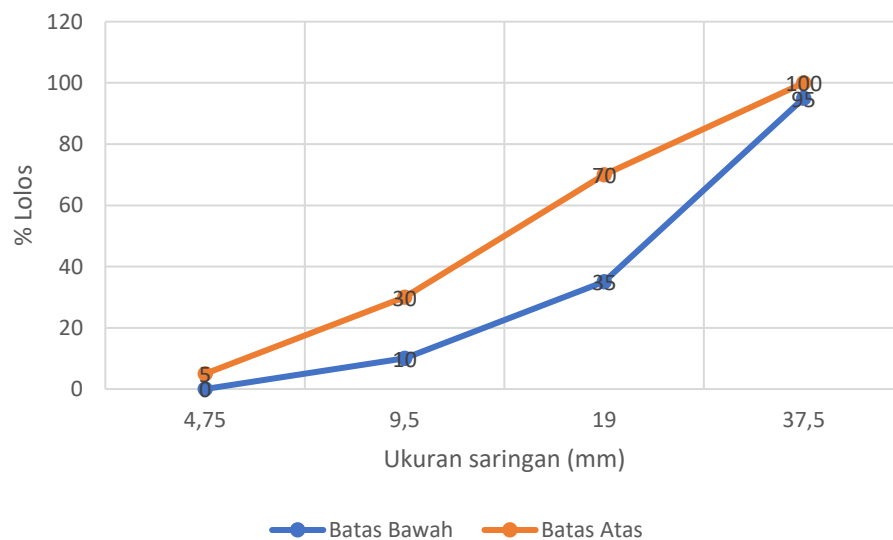
#### **2.4.4 Agregat Kasar**

Agregat kasar dinyatakan untuk batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,75 mm dibagi lagi menjadi dua, yaitu untuk diameter antara 4,75-37,5 mm disebut kerikil beton dan yang lebih besar lagi dari 37,5 disebut kerikil kasar.

Adapun agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu pecah yang diambil dari sungai Bili-Bili Kabupaten Gowa. Batu pecah memberikan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan kerikil alami. Tetapi batu pecah memberikan kesulitan dalam pengerjaan karena harus dipecahkan terlebih dahulu

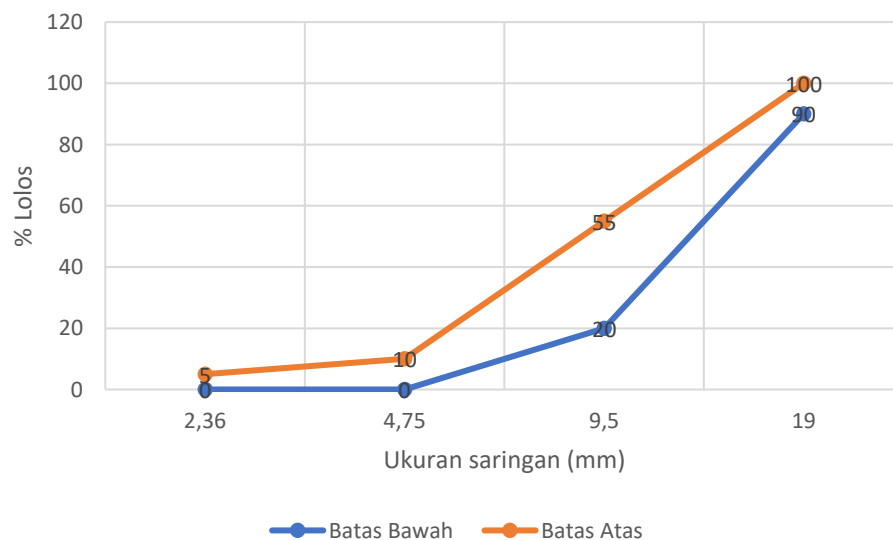
menggunakan mesin *stone crusher* menjadi ukuran agregat kasar yang telah diisyaratkan untuk pencampuran beton.

Berdasarkan (ASTM C33-03), adapun batas syarat gradasi butiran agregat kasar yang dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



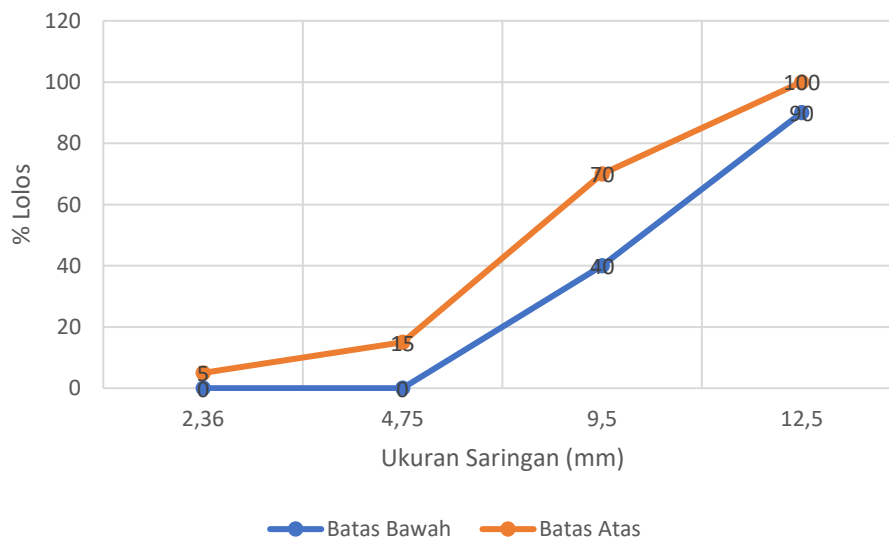
Gambar 2. Grafik Batas Gradasi Agregat Kasar Maksimum Diameter 37,5 mm

Sumber : (ASTM C33-03)



Gambar 3. Grafik Batas Gradasi Agregat Kasar Maksimum Diameter 19,0 mm

Sumber : (ASTM C33-03)



Gambar 4. Grafik Batas Gradasi Agregat Kasar Maksimum Diameter 12,5 mm

Sumber : (ASTM C33-03)

Berikut adalah agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 5. Agregat Kasar

Sumber: (Muh Athar Al Ayubi A.R, 2023)

#### 2.4.5 Agregat Halus

Agregat halus adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran kurang dari 4,75 mm atau lolos saringan No.4 dan tertahan pada saringan No.200. Agregat halus (pasir) berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (*stone crusher*).

Adapun 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 ayakan 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 4. sebagai berikut :

Tabel 4. Batasan Gradasi untuk Agregat Halus

Ukuran Saringan ASTM	Persentase berat yang lolos pada tiap saringan
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)

Pada saat sebelum pencampuran agregat pentingnya untuk mengetahui kualitas dari agregat halus. Adapun syarat-syarat agregat halus menurut (ASTM C33-03) adalah sebagai berikut :

1. 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.
2. 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.
3. Agregat halus yang digunakan tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen.

4. Harus mempunyai variasi besar butiran (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 2,3 – 3,1. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zona yaitu zona I, II, III atau IV.

Berdasarkan (ASTM C 136-01), mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus menjadi empat daerah atau zona yaitu zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus) dan zona IV (halus), batas-batas gradasi dapat dilihat pada Tabel 5 sebagai berikut :

Tabel 5. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus

No saringan	Ukuran saringan (mm)	Persentase Berat yang lolos saringan (%)			
		Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
3/8"	9,6	100	100	100	100
No.4	4,8	90-100	90-100	90-100	90-100
No.8	2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
No.16	1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
No.30	0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
No.50	0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
No.100	0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: (ASTM C 136-01)

Gambar 6 adalah agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini :



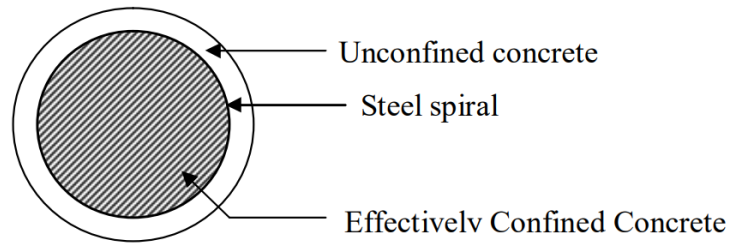
Gambar 6. Agregat Halus  
(Sumber : Muh Athar Al Ayubi A.R, 2023)

## 2.5 Efek Pengekang Tulangan Spiral

Dalam desain seismik pada struktur beton bertulang baik pada bangunan maupun substruktur jembatan, daerah sendi plastis yang potensial terjadi perlu

dirancang dengan hati-hati, secara mendetail bertujuan untuk memastikan bahwa guncangan dari gempa besar tidak akan menyebabkan keruntuhan dan struktur memiliki daktilitas. Daktilitas yang memadai dari elemen rangka beton bertulang juga diperlukan untuk memastikan distribusi momen dapat terjadi. Pertimbangan desain yang paling penting untuk daktilitas di daerah sendi plastis beton bertulang adalah penyediaan tulangan transversal yang cukup berupa spiral *reinforcement* atau lingkaran yang memberikan efek *confinement* atau pengekangan yang dapat mencegah tekuk tulangan memanjang dan untuk mencegah kegagalan geser. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa efek *confinement* tulangan spiral terhadap beton menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam kekuatan dan daktilitas beton bertulang. Secara khusus, peningkatan dari kekuatan akibat efek *confinement* dan kecenderungan penurunan kurva tegangan-regangan beton memiliki pengaruh yang cukup besar pada kekuatan lentur dan daktilitas beton bertulang (Mander, 1988).

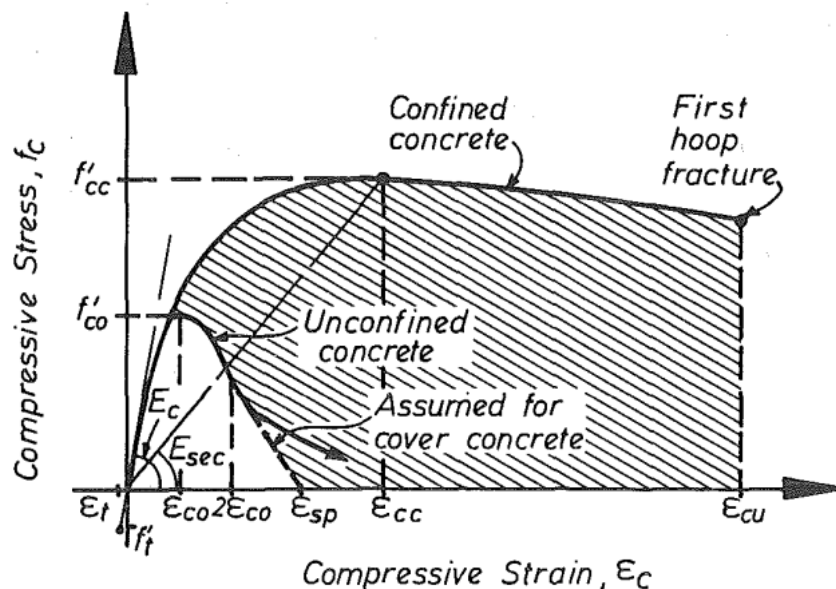
Perilaku lentur penampang beton bertulang merupakan masalah yang sudah umum, beberapa penelitian terkait hal ini memungkinkan simulasi perilaku lentur dari beton bertulang akan tetapi, dalam berbagai penelitian, efek *confinement* sering diabaikan. Penggunaan tulangan spiral berupa ikatan bujursangkar pada beton bertulang memiliki peranan penting dalam meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton. Pemberian beban aksial, tekanan beton pada arah lateral penampang bekerja pada pengikat lateral dan tahanan pengikat dapat menahan beban sampai pada inti beton. Perilaku mekanik beton dengan *confinement* atau pengekangan ditandai dengan meningkatnya kekuatan dan daktilitas, besarnya peningkatan ini ditentukan oleh berbagai parameter *confinement* seperti kuat tekan beton, volumetrik, diameter konfigurasi, kekuatan ikatan dan rasio diameter tulangan longitudinal (Saliba, et.al, 2018). Adapun ilustrasi *confinement* tulangan spiral pada penampang yang berbentuk spiral ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Ilustrasi confinement pada penampang spiral

Sumber (Saliba, 2018)

Efek confinement pada beton tergantung pada dua faktor yaitu: kecenderungan beton untuk memuai dan kekakuan lateral beton dengan tulangan sengkang untuk menahan pemuai beton. Dengan adanya efek confinement ini menyebabkan daktilitas pada beton akan meningkat, dasar pendekatan ini adalah peningkatan dan penambahan daktilitas yang ada pada beton yang terkekang disebabkan karena energi tersimpan pada tulangan pengekuat. Untuk memperoleh tekanan pengekuat lateral harus memenuhi dua syarat yaitu kesesuaian regangan beton dan keseimbangan gaya pada free-body-diagram. Kedua kondisi tersebut mengarah pada hubungan antara tegangan dan regangan seperti yang terlihat pada gambar 8 berikut ini.



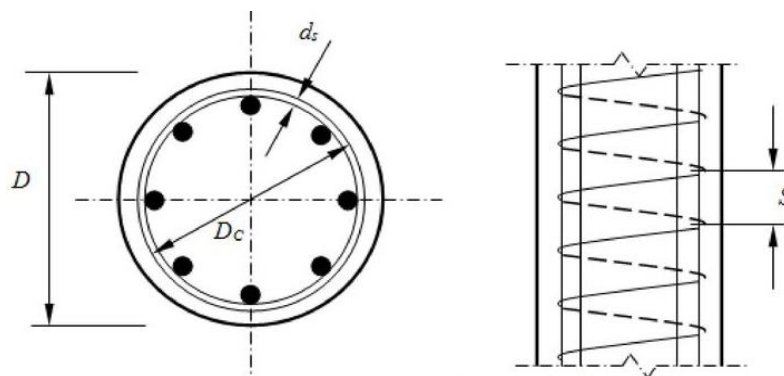
Gambar 8. Hubungan Tegangan Dan Regangan Pada Beton Terkekang Dan Beton Tidak Terkekang  
Sumber (Mander, 1988)



Sengkang atau tulangan geser merupakan penulangan yang bertujuan untuk menahan gaya geser (gaya lintang) yang terjadi pada balok. Salah satu bentuk tulangan sengkang yaitu tulangan sengkang spiral. Fungsi dari tulangan geser (sengkang) yaitu sebagai berikut:

1. Menahan sebagian gaya geser pada bagian yang retak.
2. Mencegah penjaralan retak diagonal sehingga tidak menerus ke bagian tekan beton.
3. Memberi kekuatan tertentu terhadap lepasnya beton, karena umumnya sengkang mengikat tulangan longitudinal sehingga membentuk suatu beton yang lebih masif.

Tulangan spiral berguna untuk meningkatkan daktilitas beton. Menurut Edwar G. Nawy, 1998 dalam bukunya menyatakan bahwa jarak antara tulangan spiral dibatasi pada range 1 sampai 3 inch (25.4 – 76.2 mm). Gambar 8 menunjukkan gambar 9 detail sengkang spiral pada kolom.



Gambar 9. Detail Sengkang Spiral

## 2.6 Tegangan Lekat

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, 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

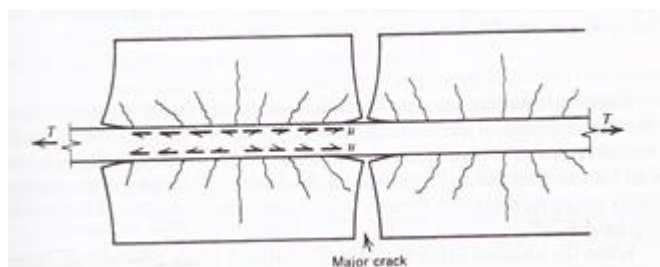
atas anggapan tersebut pada waktu komponen struktur beton bertulang bekerja menahan beban akan timbul tegangan lekat berupa shear interlock pada permukaan singgung antara batang tulangan dengan beton. (Istimawan Dipohusado, 1994) Tulangan polos dapat terlepas dari beton karena terbelah di arah memanjang 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,1993)

Pada struktur beton bertulang, tulangan utama biasanya berfungsi untuk mengimbangi lemahnya kuat tarik material beton. Tegangan tarik yang tercipta pada beton ditransfer ke tulangan melalui mekanisme pengikatan, menyebabkan dua material, beton dan tulangan, bekerja sama untuk membentuk unit material yang terikat. Kekuatan lekat adalah kombinasi dari kemampuan baja tulangan dan beton yang menutupinya untuk menahan gaya yang dapat menyebabkan ikatan antara baja tulangan dan beton menjadi longgar (Winter, 1993). Asumsi dasar dalam perencanaan dan analisis struktur beton bertulang adalah sambungan antara tulangan baja dengan beton di sekelilingnya terjadi secara sempurna tanpa terjadi slip atau pergeseran. Berdasarkan asumsi ini, tegangan lekat dihasilkan dalam bentuk ikatan geser pada permukaan tangensial antara tulangan dan beton ketika elemen beton bertulang menahan beban (Istimawan Dipohusado, 1994).

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, 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 10 di bawah ini menunjukkan pola retak yang terjadi di sekitar tulangan polos yang melekat pada matriks beton.

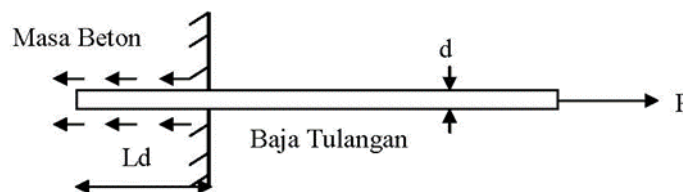


Gambar 10. Pola keruntuhan pada beton di sepanjang daerah lekatan

Menurut Nawy (1986), 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 bentuk ulir akan mengalami keruntuhan belah, jarak tulangan yang terlalu dekat disbanding 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, geometri dan diameter tulangan.
8. Selimut beton, selimut beton yang tidak mencukupi untuk mengakomodasi tegangan tarik keliling akan mengakibatkan retak belah yang selanjutnya mengakibatkan kehancuran belah.
9. Korosi, korosi/karat akan mengakibatkan turunya adhesi, gripping, friksi antara beton dan tulangan sehingga mengurangi kuat lekat.



Gambar 11. 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 masa 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 11.

Mengacu pada Gambar 11, 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)

## 2.7 Sifat-Sifat Keruntuhan Lekatan

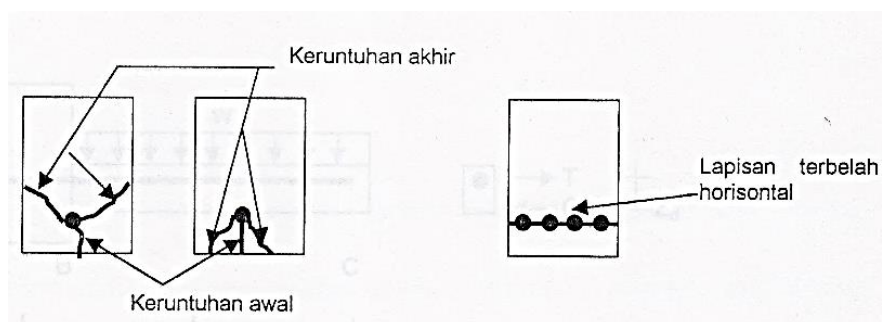
Kajian jenis pada keruntuhan lekatan yang dibuat dengan bentuk tulangan dapat dikembangkan sebagai berikut:

### 1. Tulangan baja polos

Adhesi yang terjadi pada tulangan baja biasa disebabkan oleh adanya daya rekat antara beton dengan permukaan tulangan. Tegangan tarik pada baja, meskipun relatif kecil, dapat menyebabkan selip yang cukup untuk menghilangkan daya rekat dari beton yang berdekatan dengan retakan. Penyusutan juga dapat menyebabkan gesekan pada armatur. Jika daya rekat cukup tinggi, tegangan tarik dapat menyebabkan tulangan terlepas dari beton melalui retakan longitudinal. Pada saat yang sama, dengan adhesi yang relatif rendah, tegangan tarik tulangan dilepaskan, meninggalkan lubang bundar pada beton.

### 2. Tulangan baja yang dideformasi (berulir).

Tulangan baja terdeformasi lebih tergantung pada kekuatan beton pada gigi. Menurut Wang (1979), kegagalan sambungan antara baja ulir dan beton hampir selalu merupakan keruntuhan akibat retak penampang di sekitar tulangan, sebagai berikut:



Gambar 12. Bentuk kegagalan lekatan tulangan terdeformasi

Mindess S. (1994) menyatakan bahwa kegagalan sambungan antara beton dan tulangan dalam uji beban lekat biasanya menunjukkan salah satu alasan berikut:

1. *Splitting failure*

Kondisi ini ditunjukkan dengan adanya retakan pada beton yang diakibatkan oleh tegangan tarik yang tidak dapat ditahan oleh perkerasan beton, keruntuhan ini menyebabkan penurunan tegangan rekat antara beton dengan tulangan.

2. *Pull out failure (slip)*

Ini adalah mode kegagalan di mana tulangan ditarik keluar dari beton tanpa retak karena komponen tegangan geser antara kabel tulangan dalam beton putus.

3. Keruntuhan Tarik beton

Kondisi dimana penampang beton tidak dapat menahan tegangan tarik yang diberikan oleh tulangan.

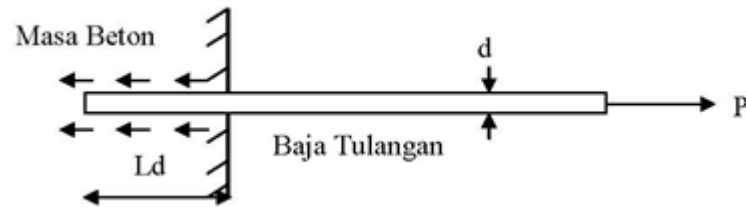
4. Tulangan mencapai leleh dan akhirnya putus

Kekuatan ikatan jauh lebih tinggi daripada kekuatan putus jaring besi, sehingga batang besi putus.

## 2.8 Panjang Penyaluran

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 13.



Gambar 13. Panjang penyaluran baja 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.

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:

$$\tau = k\sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

$\tau$  = kuat lekat beton (MPa)

$f'_c$  = kuat tekan beton

$k$  = koefisien

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

$$l_d = k \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} A_b \dots\dots\dots (7)$$



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

$$K_1 = \frac{\sqrt{f'_c}}{\pi D \tau} \quad (8)$$

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

1. Panjang penyaluran  $l_d$  untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus yang terbesar dari syarat berikut,
  - a. Panjang yang dihitung sesuai dengan Tabel 6 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,  $l_d$  harus dihitung berdasarkan Tabel 6

Tabel 6. 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

$$\ell_d = \left( \frac{f_y}{1,1 \lambda \sqrt{f'c}} \frac{\Psi_t \Psi_e}{\left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \quad (9)$$

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

$$K_{tr} = \frac{40 A_{tr}}{sn} \quad (10)$$

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 3

Tabel 7. Faktor Modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik

Faktor Modifikasi	Kondisi	Faktor
Beton Ringan $\lambda$	Beton Ringan	0,75
	Beton Ringan, bila $f_{cr}$ ditentukan	Sesuai dengan 19.2.4.3
	Beton normal	1,0
Epoksi $\Psi_e$	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan selimut bersih kurang dari 3db 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
Ukuran $\Psi_s$	Batang D22 dan yang lebih besar	1,0
	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Posisi Pengecoran $\Psi_t$	Lebih dari 30 mm beton segar diletakkan dibawah tulangan horizontal	1,3
	Lainnya	1,0

Sumber: SNI 2847-2019

## 2.9 Serbuk kaca

Menurut Neti, dan Tanzil. G (2013). Bubuk kaca adalah bahan anorganik yang mengalami proses peleburan setelah itu mengalami proses pendinginan dan menjadi padat tanpa proses menjadi kristal. Kaca merupakan salah satu limbah yang kaya akan kandungan silika, dan biasanya limbah kaca hanya didaur ulang sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan nilai guna limbah kaca. Sifat kaca yang kaya akan silika diharapkan dapat mengganti fungsi agregat halus sebagai pengisi beton. Silika dapat berfungsi sebagai bahan penguat beton dan meningkatkan daya tahan.

Unsur lain seperti oksidasi besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan juga alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) berfungsi untuk mengatur kecepatan proses hidrasi.

Hossam A. Elaqla, dkk. (2019). Kaca diproses menjadi bubuk dan diayak untuk mendapatkan ukuran partikel lebih kecil dari 75mm. komposisi bubuk kaca menunjukkan sejumlah kecil dari semen karena berasal dari mesin penghancur.

Menurut (Anwar, 2020) kaca adalah salah satu produk penyusun kimia yang paling akrab dengan kehidupan kita sehari-hari. Dipandang dari segi fisika kaca merupakan zat cair yang sangat dingin. Disebut demikian karena struktur partikel-partikel penyusunnya yang saling berjauhan seperti dalam zat cair, namun kaca sendiri berwujud padat. Ini terjadi akibat proses pendinginan (*cooling*) yang sangat cepat, sehingga partikel-partikel silika tidak sempat menyusun diri secara teratur. Dari segi kimia, kaca adalah gabungan dari berbagai oksida anorganik yang tidak mudah menguap, yang dihasilkan dari dekomposisi dan peleburan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir serta berbagai penyusun lainnya.



Gambar 14. (a) Limbah botol; (b) Limbah bohlam; (c) Limbah cermin

Sumber: (Muh Athar Al Ayubi A.R dkk, 2023)

Gambar 14. (a) adalah proses pemisahan limbah botol kaca yaitu antara jenis *green glass* (kaca hijau) dan *amber glass* (kaca coklat). Gambar 14. (b) adalah kaca jenis *clear glass* (bohlam), proses pengumpulan sebelum dihancurkan. Gambar 14. (c) adalah kaca cermin jenis *clear glass* yang sudah dilapisi film dari pabrikasi berwarna biru tua. Ketiga jenis kaca tersebut adalah jenis kaca yang digunakan dalam penelitian ini. Sebelum limbah kaca digunakan sebagai agregat halus, terlebih dahulu dilakukan penggilingan menjadi ukuran kecil lolos saringan 4,75

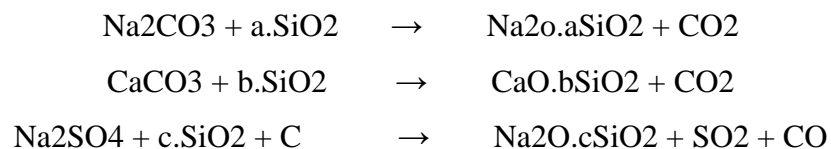
mm (No. 4) menggunakan alat penggiling kaca seperti pada Gambar 15 sebagai berikut:



Gambar 15. Mesin Penggiling Limbah Kaca

Sumber: ( Muh Athar Al Ayubi A.R dkk, 2023)

Kaca memiliki sifat-sifat yang khas dibanding dengan golongan keramik lainnya. Kekhasan sifat-sifat kaca ini terutama dipengaruhi oleh keunikan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan proses pembentukannya. Reaksi yang terjadi dalam pembuatan kaca secara ringkas pada persamaan dibawah ini :



Sumber : (Anwar, 2020)

Karakteristik dari serbuk kaca dalam pembuatan beton adalah :

1. Kaca merupakan bahan yang tidak menyerap air atau *zero water absorption*.
2. Sifat kaca yang tidak menyerap air dapat mengisi rongga-rongga secara maksimal sehingga beton bersifat kedap air.
3. Kaca dalam hal ini adalah serbuk kaca mempunyai sifat sebagai *pozzoland* yang dapat meningkatkan kekuatan tekan dari beton.
4. Kaca tidak mengandung bahan yang berbahaya, sehingga pada saat pengerjaan beton aman bagi manusia.

5. Serbuk kaca juga dapat digunakan sebagai bahan pengisi pori atau *filler*, sehingga diharapkan akan diperoleh beton yang lebih padat dengan porositas minimum sehingga kekuatan beton dapat meningkat.

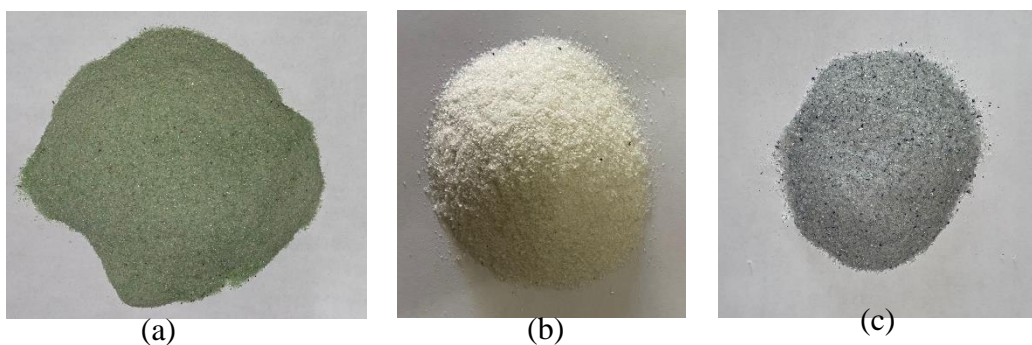
Ada beberapa kandungan kaca berdasarkan jenis-jenis kaca, yaitu: *clear glass*, *amber glass*, *green glass*, *pyrex glass*, dan *fused silica* menurut (Setiawan, 2006) dalam (Anwar, 2020). Kandungan bahan kimia dalam berbagai jenis kaca dapat dilihat pada Tabel 6

Tabel 6. Kandungan Senyawa Kaca

Jenis Kaca	<i>Clear Glass</i>	<i>Amber Glass</i>	<i>Green Glass</i>	<i>Pyrex Glass</i>	<i>Fused Silica</i>
SiO <sub>2</sub>	73,2-73,5	71,0-72,4	71,27	81	99,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,7-1,9	1,7-1,8	2,22	2	-
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	13,6-14,1	13,8-14,4	13,06	4	-
CaO+MgO	10,7-10,8	11,6	12,17	-	-
SO <sub>3</sub>	0,2-0,24	0,12-0,14	0,052	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04-0,05	0,3	0,599	3,72	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,01	0,43	12,0-13,0	-

Sumber: Setiawan, (2006)

Dalam penelitian ini digunakan 3 jenis limbah kaca (botol, bohlam, dan cermin) yang dicampur dengan perbandingan berat yaitu 1:1:1. Adapun Gambar 16 menunjukkan kaca yang digunakan sebagai berikut:



Gambar 16. (a) Kaca botol; (b) Kaca bohlam; (c) Kaca cermin

Sumber (Muhammad Athar Al Ayubi A.R dkk, 2023)

Menurut Kim Ibrahim (2021). *Waste Glass* digunakan sebagai pasir (agregat halus). Bahan dibawa dari pabrik kaca dan dihaluskan hingga mencapai ukuran pasir dalam alat abrasi agregat kasar (Los Angeles) dan, kemudian dilakukan uji

analisis saringan di atasnya. *Waste Glass* yang digunakan memiliki ukuran maksimal 75mm.

Tabel 7. Komposisi kimia limbah kaca Komposisi dan massa

<b>Komposisi</b>	<b>Massa %</b>
Silika (SiO <sub>2</sub> )	68.52
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.42
Magnesium oksida (MgO)	4.31
Oksida besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.31
Natrium oksida (Na <sub>2</sub> O)	10.75
Kalsium oksida (CaO)	9.82
Belerang trioksida (SO <sub>3</sub> )	-
Kalium oksida (K <sub>2</sub> O)	0.1

Sumber dari jurnal Ibrahim.K (2020)