

**SKRIPSI**

**STUDI SUBSTITUSI PASIR DENGAN VARIASI LIMBAH  
SERBUK KACA TERHADAP KARAKTERISTIK BETON**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**RICKY TIRANDA  
D0111 91 109**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### STUDI SUBSTITUSI PASIR DENGAN VARIASI LIMBAH SERBUK KACA TERHADAP KARAKTERISTIK BETON

Disusun dan diajukan oleh

**Ricky Tiranda**  
**D011 19 1109**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 21 Juni 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



**Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng.**  
NIP: 196207291987031001

Pembimbing Pendamping,



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

Ketua Program Studi,



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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Ricky Tiranda

NIM : D011191109

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Substitusi Pasir Dengan Variasi Limbah Serbuk Kaca Terhadap Karakteristik Beton}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 26 Juni 2023

Yang Menyatakan

  
Ricky Tiranda

## ABSTRAK

**RICKY TIRANDA.** *STUDI SUBSTITUSI PASIR DENGAN VARIASI LIMBAH SERBUK KACA TERHADAP KARAKTERISTIK BETON* (dibimbing oleh Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng dan Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.)

Limbah kaca merupakan limbah yang banyak dihasilkan dari kehidupan masyarakat terutama di kota besar karena kebutuhan akan penggunaan kaca. Penggunaan limbah kaca memberikan dampak positif dan negatif terhadap kehidupan sehari-hari. Dampak negatif yang paling utama adalah ketika limbah kaca dibuang ke tempat pembuangan sampah tanpa pengolahan. Hal ini akan mencemari lingkungan karena limbah kaca tidak dapat terurai secara alami oleh alam. Oleh sebab itu, dicari solusi yang dapat mengatasi masalah tersebut dengan menggunakan kembali (*reuse*) limbah kaca sebagai salah satu inovasi beton ramah lingkungan. Limbah kaca dapat digunakan dalam campuran beton sebagai pengganti sebagian agregat halus dikarenakan memiliki sifat karakteristik seperti pasir alami. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh substitusi *glass powder* dengan variasi 0%, 15%, 20%, 25% sebagai pengganti sebagian pasir alami terhadap kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, modulus elastisitas, dan pola retak beton. Limbah kaca yang digunakan berasal dari Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Limbah kaca dihancurkan menjadi partikel kecil dan disaring menggunakan saringan lolos No.4. Benda uji yang digunakan yaitu silinder berukuran 100 mm x 200 mm kemudian dilakukan pengujian setelah 28 hari proses *curing* dengan kekuatan tekan rencana  $f'c$  20 MPa. Dari hasil penelitian didapatkan nilai pada variasi penggantian pasir kaca pada 15% dapat memenuhi kekuatan tekan beton yang direncanakan, kekuatan tarik belah menurun seiring bertambahnya variasi *glass powder*, modulus elastisitas beton tidak memiliki perbedaan yang signifikan, dan pola retak beton yang hampir sama setiap variasi.

Kata Kunci: Beton, Pasir, *Glass Powder*, Substitusi

## ABSTRACT

**RICKY TIRANDA.** *STUDY OF SUBSTITUTION WITH VARIATIONS OF GLASS POWDER WASTE ON THE CHARACTERISTICS OF CONCRETE* (supervised by Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng dan Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.)

Glass waste is a large amount of waste generated by community life, especially in large cities, because of need to use glass. The use of glass waste has both positive and negative impact occurs when glass waste is disposed in landfills without treatment. This matter pollutes the environment because glass waste cannot be decomposed naturally. Therefore, a solution is sought that can overcome this problem by reusing glass waste as an environmentally friendly concrete innovation. Glass can be used in concrete mixture as a substitute for some fine aggregates because it has characteristics like natural sand. The aim of this study was to determine the effect of glass powder substitution with 0%, 15%, 20%, and 25% as partial replacements for natural sand on the compressive strength, split tensile strength, modulus of elasticity, and fracture patterns of concrete. The glass waste used was obtained from Pasuruan Regency, East Java Province. The glass waste crushed into small particles and filtered using a No. 4 pass sieve. The specimens used were cylinder 100 mm x 200 mm and were tested after 28 days of curing with a design compressive strength is  $f'c$  20 MPa. From the research results, it was found that the variation in the replacement of glass sand at 15% could satisfy the planned concrete compressive strength, which decreased with increasing variations in the glass powder. The concrete modulus of elasticity did not differ significantly, and the patterns of the concrete cracks were almost the same for each variation.

Keywords: Concrete, Sand, Glass Powder, Substitution

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan .....	3
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan .....	3
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 Beton .....	9
2.2.1 Kelebihan dan Kelemahan Beton .....	9
2.3 Material Pembentuk Beton.....	10
2.3.1 Semen .....	10
2.3.2 Air .....	13
2.3.3 Agregat .....	13
2.3.4 Agregat Kasar .....	14
2.3.5 Agregat Halus .....	16
2.4 Pengujian Karakteristik Beton .....	19
2.4.1 Kekuatan Tekan .....	19
2.4.2 Kekuatan Tarik Belah .....	20
2.4.3 Modulus Elastisitas .....	21
2.5 Kaca.....	23
<b>BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN.....</b>	<b>26</b>
3.1 Bagan Alir Penelitian .....	26
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	28
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	28
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	29
3.4.1 Peralatan Penelitian .....	29
3.4.2 Material Penelitian.....	29
3.4.3 Persiapan Material .....	29
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material .....	30
3.5.1 Agregat Kasar .....	30
3.5.2 Agregat Halus .....	31
3.5.3 <i>Glass Powder</i> .....	31
3.6 Pembuatan Benda Uji.....	31
3.7 Perawatan Benda Uji.....	35

3.8 Pengujian Benda Uji .....	36
3.8.1 Kekuatan Tekan Beton .....	36
3.8.2 Kekuatan Tarik Belah .....	37
3.8.3 Modulus Elastisitas .....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>38</b>
4.1 Karakteristik Agregat .....	38
4.2 Rancangan Campuran Beton dan Berat Isi Beton.....	41
4.2.1 Rancangan Campuran Beton .....	41
4.3 Kekuatan Tekan Beton.....	42
4.4 Kekuatan Tarik Belah Beton.....	47
4.5 Hubungan Kekuatan Tekan dengan Kekuatan Tarik Belah Beton .....	49
4.6 Modulus Elastisitas Beton.....	50
4.7 Pola Retak .....	52
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran.....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kekuatan Tekan Untuk Campuran Tanpa Kaca dan Variasi Kaca .....	5
Gambar 2. Hubungan Kekuatan Tarik Belah Tanpa Kaca dan Variasi Kaca .....	6
Gambar 3. Grafik Batas Gradasi Agregat Kasar Maksimum Diameter 37,5 mm .....	15
Gambar 4. Grafik Batas Gradasi Agregat Kasar Maksimum Diameter 19,0 mm .....	15
Gambar 5. Grafik Batas Gradasi Agregat Kasar Maksimum Diameter 12.5 mm .....	16
Gambar 6. Agregat Kasar.....	16
Gambar 7. Agregat Halus.....	18
Gambar 8. Sketsa Gambar Tipe/Bentuk Kehancuran Benda Uji.....	20
Gambar 9. Grafik Hubungan Tegangan Regangan .....	22
Gambar 10. (a) Limbah botol kaca; (b) Limbah bohlam; (c) Limbah cermin .....	23
Gambar 11. Mesin Penggiling Limbah Kaca .....	24
Gambar 12. (a) Kaca botol; (b) Kaca bohlam; dan (c) Kaca cermin .....	25
Gambar 13. Bagan Alir Penelitian .....	27
Gambar 14. Peta Lokasi Penelitian .....	28
Gambar 15. Bahan-bahan Dalam Penelitian .....	30
Gambar 16. Persiapan Material.....	32
Gambar 17. Proses Mencampur Pasir dengan <i>Glass Powder</i> .....	33
Gambar 18. Proses Pengadukan.....	33
Gambar 19. Proses Pencampuran.....	34
Gambar 20. Proses Pengujian <i>Slump</i> .....	34
Gambar 21. Hasil Pengujian <i>Slump</i> .....	34
Gambar 22. Proses Pemadatan.....	35
Gambar 23. Perawatan Benda Uji.....	36
Gambar 24. <i>Set-Up</i> Pengujian Kekuatan Tekan .....	36
Gambar 25. <i>Set-Up</i> Pengujian Kekuatan Tarik Belah .....	37
Gambar 26. Gradasi Butiran Agregat Halus .....	39
Gambar 27. Gradasi Butiran Limbah Kaca Botol.....	40
Gambar 28. Gradasi Butiran Limbah Kaca Bohlam .....	40
Gambar 29. Gradasi Limbah Kaca Cermin.....	41
Gambar 30. Perbandingan Kekuatan Tekan Beton Berdasarkan Jenis Semen .....	43
Gambar 31. Hubungan Beban dan Perpindahan Beton Normal .....	44
Gambar 32. Hubungan Beban dan Perpindahan Variasi 15% .....	45
Gambar 33. Hubungan Beban dan Perpindahan Variasi 20% .....	45
Gambar 34. Hubungan Beban dan Perpindahan Variasi 25% .....	46
Gambar 35. Pengujian Kekuatan Tekan Beton .....	47
Gambar 36. Perbandingan Kekuatan Tarik Belah Beton Berdasarkan Jenis Semen .....	48
Gambar 37. Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton .....	49
Gambar 38. Perbandingan Modulus Elastisitas Eksperimental dan Teori.....	51
Gambar 39. Perbandingan Modulus Elastisitas Beton Berdasarkan Jenis Semen .....	51
Gambar 40. Hasil Pola Retak SP 0%-T 1.....	52

Gambar 41. Hasil Pola Retak SP 0%-T 2 .....	52
Gambar 42. Hasil Pola Retak SP 0%-T 3 .....	53
Gambar 43. Hasil Pola Retak SP 15%-T 1 .....	53
Gambar 44. Hasil Pola Retak SP 15%-T 2 .....	53
Gambar 45. Hasil Pola Retak SP 15%-T 3 .....	54
Gambar 46. Hasil Pola Retak SP 20%-T 1 .....	54
Gambar 47. Hasil Pola Retak SP 20%-T 2 .....	54
Gambar 48. Hasil Pola Retak SP 20%-T 3 .....	55
Gambar 49. Hasil Pola Retak SP 25%-T 1 .....	55
Gambar 50. Hasil Pola Retak SP 25%-T 2 .....	55
Gambar 51. Hasil Pola Retak SP 25%-T 3 .....	56

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis-Jenis Semen Portland dengan Sifatnya.....	12
Tabel 2. Batasan Gradasi untuk Agregat Halus .....	17
Tabel 3. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus.....	18
Tabel 4. Kandungan Kaca.....	25
Tabel 5. Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar .....	30
Tabel 6. Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus.....	31
Tabel 7. Pemeriksaan Karakteristik <i>Glass Powder</i> .....	31
Tabel 8. Variasi dan Jumlah Benda Uji .....	32
Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Agregat .....	38
Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik <i>Glass Powder</i> (Botol) .....	39
Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik <i>Glass Powder</i> (Bohlam) ..	40
Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik <i>Glass Powder</i> (Cermin) ...	41
Tabel 13. Komposisi <i>Mix Design</i> Beton .....	42
Tabel 14. Kekuatan Tekan Menggunakan Semen A.....	42
Tabel 15. Kekuatan Tarik Belah Menggunakan Semen A.....	47
Tabel 16. Persamaan Korelasi antara Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik Belah Beton.....	50
Tabel 17. Modulus Elastisitas Beton.....	50

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$f'c$	Kekuatan tekan beton (MPa atau $N/mm^2$ )
P	Gaya tekan aksial (N)
A	Luas penampang melintang benda uji ( $mm^2$ )
L	Panjang benda uji (mm)
D	Diameter benda uji (mm)
$E_c$	Modulus elastisitas (MPa atau $mm^2$ )
$S_2$	Tegangan pada 40% tegangan runtuh ( $N/mm^2$ )
$S_1$	Tegangan pada saat regangan 0,00005 ( $N/mm^2$ )
$W_c$	Berat volume ( $kg/m^3$ )
$X_i$	Kekuatan tekan beton sampel ke-i
$Y_i$	Kekuatan tarik belah beton sampel ke-i
a	Faktor korelasi antara kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah
UTM	<i>Universal testing machine</i>
mm	Milimeter
kg	Kilogram
A	Luas penampang benda uji ( $mm^2$ )
P	Beban tekan (N)

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Persiapan Material.....	61
Lampiran 2 Dokumentasi Pembuatan Benda Uji.....	62
Lampiran 3 Perawatan Benda Uji .....	63
Lampiran 4 Dokumentasi Pengujian Benda Uji.....	64
Lampiran 5 Tabel Modulus Elastisitas Beton .....	65

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas Akhir yang berjudul “Studi Substitusi Pasir dengan Variasi Limbah Serbuk Kaca Terhadap Karakteristik Beton”, ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami beton.

Penulis menyadari sepenuhnya banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini. Penyusun Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari beberapa pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.,IPM., ASEAN.Eng. .**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Dr. Eng. Bambang Bakri, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Bapak Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng.** selaku Kepala Laboratorium Riset Gempa dan Rekayasa Struktur sekaligus dosen pembimbing I.
5. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku dosen pembimbingan II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan tugas akhir ini dan selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
6. **Seluruh Bapak dan Ibu Dosen** Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas jasa dan ilmu yang telah diberikan kepada saya sejak semester satu hingga kini.

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

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu Ayahanda **Carlito Pitor Tanador** , dan Ibu **Elis Liku Sanda**, beserta seluruh keluarga, atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spiritual maupun materi.
2. Saudara tercinta **Kaharuddin Bin Nasir** dan **Nong Viktorianus** yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. **Teman-teman asisten Laboratorium Struktur dan Bahan**, yang selalu senantiasa meluangkan waktu untuk membantu, selama proses penelitian dan penyelesaian tugas akhir.
4. Seluruh **rekan-rekan di Laboratorium Riset Gempa dan Rekayasa Struktur**, yang senantiasa memberikan semangat dan memberi warna kebersamaan di Lab.
5. **Meichin Wong Masiga, Yuni, Wanda, Ice, Hamrul** selaku partner penulis selama perkuliahan yang selalu membantu penulis, memberikan masukan dan saran serta motivasi.
6. Teman-teman **Hotzpring (HZ)** yang selalu ada dari semester pertama menemani hingga saat ini,
7. Keluarga **KMKO SIPIL** dan **KMKO Teknik**, terkhusus Angkatan 2019 yang senantiasa memberikan dukungan dan doa dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Saudara-saudari **Portland 2019**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2019 yang senantiasa memberikan warna yang begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Gowa, Mei 2023

Penulis

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Limbah kaca merupakan limbah yang banyak dihasilkan dari kehidupan masyarakat terutama di kota besar karena kebutuhan akan penggunaan kaca. Penggunaan limbah kaca ini memberikan dampak positif dan negatif dalam kehidupan sehari-hari. Dampak negatif yang paling utama adalah ketika limbah kaca yang dihasilkan dari kegiatan manusia tidak bisa digunakan kembali (*reuse*), sehingga pada akhirnya akan dibuang ke tempat pembuangan sampah tanpa pengolahan. Hal ini tentu akan mencemari lingkungan mengingat kaca merupakan material yang tidak dapat terurai secara alami oleh alam.

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.

Hal yang serupa telah dilakukan oleh (Safarizki, Gunawan, & Marwahyudi, 2020), untuk mengetahui karakteristik beton dari penggantian pasir kaca sebagai agregat halus, mereka menggunakan silinder berukuran 150 mm x 300 mm dengan variasi 0%, 10%, 15%, 20%, dan 30%. Hasil yang didapatkan adalah penambahan variasi serbuk kaca pada berat pasir meningkatkan kekuatan tekan beton. Peningkatan terjadi pada variasi 15% serbuk kaca kasar sebesar 22,8 MPa dibandingkan dengan beton kontrol yaitu 20,82 MPa. Hal ini memberikan bukti bahwa limbah kaca yang digunakan sebagai material dalam beton dapat digunakan dengan memperhatikan sifat karakteristik dari kaca.

Penggunaan pasir kaca dalam beton sebagai pengganti sebagian agregat halus dapat menjadi langkah penting menuju pengembangan sistem infrastruktur yang berkelanjutan ramah lingkungan, hemat energi, dan ekonomis.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penting untuk dilakukan penelitian secara eksperimental yaitu **“STUDI SUBSTITUSI PASIR DENGAN VARIASI LIMBAH SERBUK KACA TERHADAP KARAKTERISTIK BETON”**

## **1.2 Rumusan Masalah**

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

1. Perilaku kekuatan tekan beton dengan penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian pasir dengan variasi 0%, 15%, 20%, dan 25%.

2. Bagaimana perilaku kekuatan tarik belah beton dengan penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian pasir dengan variasi 0%, 15%, 20%, dan 25%.
3. Hasil modulus elastisitas beton serbuk kaca dengan campuran semen A substitusi pasir pada beton silinder.
4. Pola retak yang terjadi akibat beban tekan pada umur 28 hari.

### **1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan**

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

1. Menyusun perilaku kekuatan tekan beton dengan penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti pasir dengan variasi 0%, 15%, 20%, dan 25%.
2. Menganalisis perilaku kekuatan tarik belah beton dengan penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian pasir dengan variasi 0%, 15%, 20%, dan 25%.
3. Menentukan modulus elastisitas beton serbuk kaca dengan campuran semen A substitusi pasir pada beton silinder.
4. Menggambarkan pola retak yang terjadi akibat beban tekan pada umur 28 hari.

### **1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan**

Melalui penelitian ini diharapkan memberi sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. *Glass powder* merupakan limbah *by product* yang terus mengalami peningkatan kuantitas untuk kebutuhan industri. Disaat yang sama, penggunaan material alami berdampak pada kerusakan lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberi solusi dalam upaya pencegahan kerusakan lingkungan dan khususnya beton agar menjadi acuan dalam perencanaan beton yang berkelanjutan berbasis *glass powder*.
2. Menjadi bahan referensi bagi peneliti selanjutnya dalam mengembangkan beton ramah lingkungan (*Green Concrete*) berbasis *glass powder*.

### 1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus pada tujuan penelitian yang ingin dicapai maka perlu dibuat batasan masalah sebagai berikut:

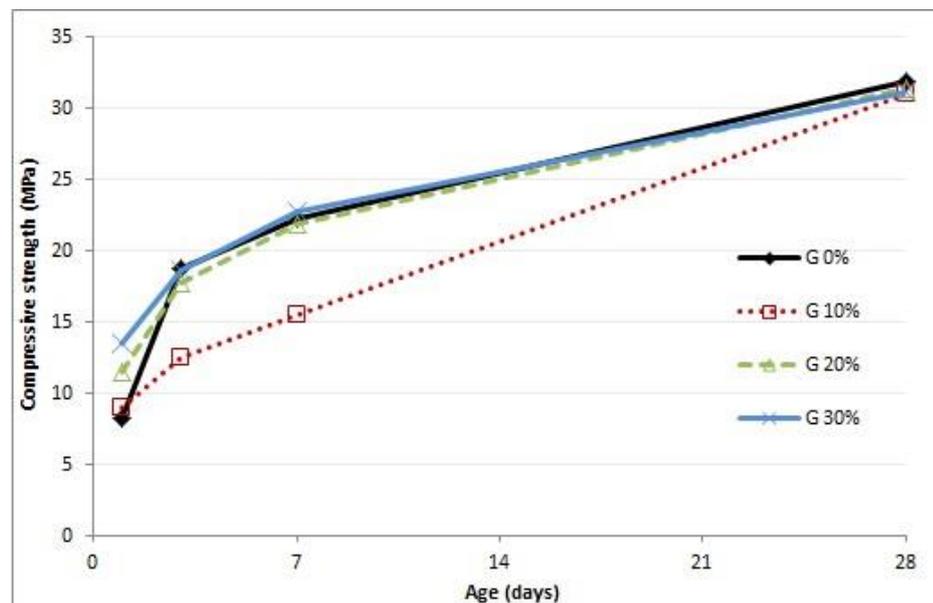
1. Percobaan dilakukan terhadap serbuk kaca dengan campuran semen A substitusi pasir dengan variasi 0%, 15%, 20%, dan 25%.
2. Kaca yang digunakan adalah limbah kaca yang sudah digiling menjadi serbuk kaca lolos ukuran saringan No. 4.
3. Pasir yang digunakan adalah pasir yang berasal dari sungai Jeneberang.
4. Semen yang digunakan adalah *Portland Cement A*.
5. Pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, modulus elastisitas dan pola retak beton silinder ukuran 100 mm x 200 mm pada umur 28 hari sebanyak 21 sampel.
6. Benda uji diberi beban aksial dengan beban merata seukuran penampang silinder menggunakan alat uji UTM (*Universal Testing Machine*) dengan kapasitas 1000 kN.
7. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil berdasarkan standar pengujian yang berlaku.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

(Meddah, 2019), meneliti kekuatan tekan pada spesimen silinder yang memiliki ukuran 100 mm x 200 mm menurut uji standar ASTM C39-12 pada umur 1, 3, 7, dan 28 hari perawatan dalam kondisi basah. Kekuatan tarik belah diuji pada 28 hari pada spesimen silinder 150 mm x 300 mm sesuai ASTM C496-11. Pembebanan benda uji pada kecepatan konstan 2,0 kN/s dan 3,0 kN/s untuk kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah. Tiga variasi penggantian pasir alami dengan agregat kaca daur ulang yang terdiri dari 10%, 20%, dan 30%.

Pada campuran G10%, hasilnya menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan antara kekuatan tekan campuran kontrol dan beton yang mengandung berbagai tingkat penggantian agregat kaca baik pada usia awal dan selanjutnya yang ditunjukkan pada Gambar 1.

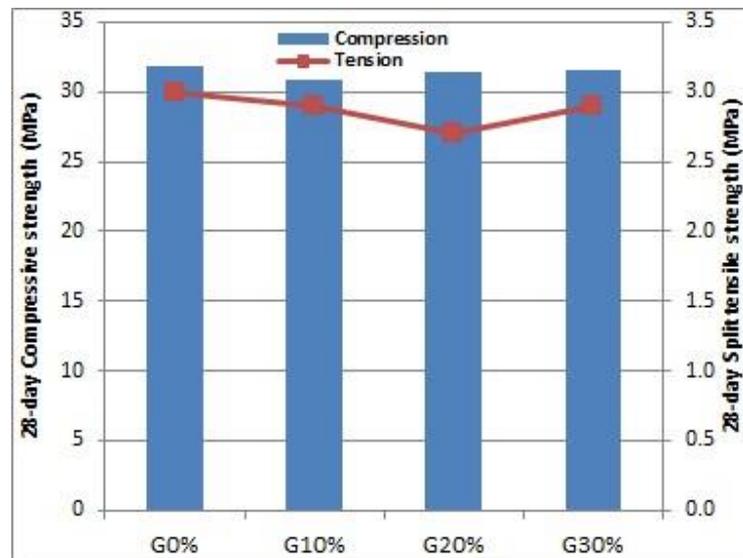


Gambar 1. Kekuatan Tekan Untuk Campuran Tanpa Kaca dan Variasi Kaca

Sumber : (Meddah, 2019)

Hasil kekuatan tarik membelah tidak ada efek signifikan dari penambahan agregat kaca hancur pada umur 28 hari perawatan dalam air yang ditunjukkan pada

Gambar 2. Hasil ini mendukung data kekuatan tekan meyakinkan kembali bahwa kaca yang digunakan tidak memiliki efek negatif pada kekuatan beton meskipun efek positif dapat dihasilkan dengan banyak penyesuaian gradasi dan proporsi campuran yang tepat.



Gambar 2. Hubungan Kekuatan Tarik Belah Tanpa Kaca dan Variasi Kaca

Sumber : (Meddah, 2019)

(Olofinnade, Ndambuki, Ede, & Ngene, 2018), meneliti dengan menyiapkan dua jenis campuran. Campuran pertama, yang merupakan campuran kontrol, terdiri dari agregat pasir dan kerikil, semen portland dan air yang digabungkan pada *water-binder (w/b) rasio* 0,5 untuk menghasilkan beton polos. Campuran kedua terdiri dari pasir kaca sebagai pengganti sebagian dan secara keseluruhan untuk pasir alami dalam dosis persentase 25%, 50%, 75%, dan 100% dengan jumlah semen, kerikil, dan rasio pengikat air konstan sebesar 0,5. Semua campuran dikelompokkan berdasarkan berat, menggunakan rasio proporsi 1:2:4 (semen:pasir:kerikil) untuk memberikan kekuatan target 28 hari 20 MPa untuk beton kekuatan sedang.

Hasil penelitian menunjukkan nilai *slump test* awal sebesar 55 mm untuk campuran kontrol, sedangkan campuran yang mengandung pasir kaca menunjukkan pengurangan kecenderungan kemerosotan berkisar antara 9% hingga 27% sebagai respon terhadap peningkatan limbah kaca. Hasil kemerosotan dengan jelas menggambarkan bahwa campuran beton yang mengandung pasir kaca akan

membutuhkan lebih banyak kadar air daripada campuran beton normal untuk menghasilkan kemudahan kerja pada beton.

Dari hasil pengujian kekuatan tekan beton kontrol dan beton pasir kaca untuk periode perawatan masing-masing 3, 7, 28, dan 90 hari. Menunjukkan bahwa penggunaan pasir kaca sebagai pengganti pasir alami dalam beton menyebabkan pengurangan kekuatan tekan karena persentase kandungan kaca meningkat melebihi 50% penggantian terhadap kontrol. Selain itu, beton yang mengandung kandungan kaca 50% juga menunjukkan kekuatan yang sebanding dengan beton kontrol untuk semua usia perawatan. Campuran beton yang mengandung 25% dan 50% kandungan kaca sebagai pengganti pasir mencapai nilai kekuatan tekan 28 hari masing-masing 23,9 dan 23,3 MPa (20% lebih tinggi dari yang dicapai oleh kontrol). Setelah 90 hari perawatan, kekuatan tekan meningkat sekitar 10% (26,67 MPa) dan 4% (24,44 MPa) untuk kandungan kaca 25% dan 50%. Sementara itu, beton yang diproduksi dengan kandungan kaca 75% dan 100% menunjukkan kekuatan tekan paling sedikit, mencapai nilai kekuatan tekan 28 hari dan 90 hari masing-masing 18,86 MPa dan 21,33 MPa, untuk penggantian kaca 75% (sekitar 6% dan 3% lebih rendah dari kekuatan yang dicapai oleh kontrol). Untuk penggantian kaca 100% nilai kekuatan tekan 28 hari dan 90 hari masing-masing adalah 13,63 MPa dan 19,11 MPa (32% dan 13% lebih rendah dari yang dicapai oleh kontrol). Namun dari hasil penelitian ini, yang perlu dicatat bahwa beton yang mengandung 75% pasir kaca mampu mencapai kekuatan tekan sebanding dengan kontrol (mencapai kekuatan target 20 MPa setelah 90 hari perawatan).

Kekuatan tarik belah yang dihasilkan dari penelitian ini bervariasi antara 2,18 MPa dan 2,78 MPa pada 28 hari perawatan, lebih dari 3,80 MPa yang tercatat untuk kontrol. Kekuatan tarik belah yang dihasilkan untuk 90 hari perawatan yaitu antara 2,8 MPa dan 3,61 MPa, yang lebih rendah dari 4,20 MPa yang dicapai pada 90 hari untuk kontrol. Namun, penurunan kekuatan tarik belah yang lebih rendah diamati untuk beton dengan penggantian pasir 25% menyiratkan pengaruh maksimum dihasilkan pada penggantian pasir parsial 25% dengan pasir kaca. Peningkatan pasir kaca lebih dari 25% mengurangi kekuatan tarik belah beton kaca.

Hasil yang jelas menunjukkan bahwa dengan menggunakan kaca sebagai pengganti sebagian pasir alami lebih dari 50% pasir kaca produksi beton kekuatan sedang minimal 20 MPa untuk implementasi struktural.

(Safarizki, Gunawan, & Marwahyudi, 2020), melakukan penelitian substitusi sebagian pasir menggunakan limbah kaca. Objek uji yang digunakan berupa silinder beton berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm. Variasi pergantian pasir terhadap berat pasir yaitu 0%, 10%, 15%, 20%, dan 30% di setiap pencampuran. Nilai kekuatan tekan beton diperoleh melalui prosedur pengujian standar menggunakan mesin uji tekan sesuai standar ASTM C39. Dari hasil pengujian kekuatan tekan terhadap penambahan variasi bubuk kaca pada berat pasir diperoleh peningkatan kekuatan tekan pada variasi 15% pada kaca kasar yaitu 22,8 MPa dan 30% sebesar 21,12 MPa. Pada campuran 10% kaca kasar, serbuk kaca halus, dan campuran mengalami penurunan masing 13,08 MPa, 15,97 MPa, dan 19,53 MPa. Sedangkan, pada campuran 20% kaca kasar, serbuk kaca halus, dan campuran mengalami penurunan masing-masing 10,9 MPa, 16,2 MPa, dan 16,9 MPa. Dalam campuran 30% kaca kasar dan 30% kaca halus menurun sebesar 15,34 MPa dan 20,4 MPa. Kekuatan tekan optimal beton yang dapat dicapai dalam penelitian ini yaitu sebesar 22,8 MPa dengan variasi kandungan kaca kasar 15%. Penggunaan serbuk kaca efektif sebagai pengganti pasir sebagian dalam variasi 15% kaca kasar dan 30% kaca campuran dengan peningkatan 2,01% dan 1,44%.

(S & Sethuraman, 2020), melakukan penelitian uji kekuatan tekan beton pada spesimen kubus berukuran 150 mm untuk M20 menggunakan rasio air semen 0,45. Adapun variasi serbuk kaca yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30% pada umur 7, 14, dan 28 hari. Uji kekuatan tekan menggunakan *universal testing machine* berkapasitas 40 ton. Nilai uji kekuatan tekan maksimum yang dicapai berada pada variasi 20% dengan umur 7, 14, dan 28 hari masing-masing sebesar 18,22 MPa, 21,55 MPa, dan 27,11 MPa. Pengujian kekuatan tarik menggunakan spesimen silinder berukuran 150 mm x 300 mm dengan perlakuan yang sama. Nilai uji kekuatan tarik belah yang dicapai berada pada variasi 20% pergantian serbuk kaca. Pada umur 7, 14, dan 28 hari masing-masing sebesar 3,19 MPa, 3,16 MPa, dan 3,46 MPa. Hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah beton meningkat

hingga 20% saat mengganti serbuk limbah kaca sebagai pengganti sebagian pada agregat halus.

(BG & R, 2019), melakukan penelitian dengan menggunakan bubuk kaca halus sebagai agregat halus yang melewati saringan 4,75 mm dan disebut *Crushed Glass Aggregate (CGA)*. Studi kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah beton yang dilakukan pada variasi 0%, 10% , 20% , 30% , 40% , dan 50% pada umur 7, 14, 28, dan 45 hari. Kubus berukuran 100 mm x 100 mm x 100 mm untuk kekuatan tekan CGA sebagai agregat halus menghasilkan kekuatan tekan maksimal pada tingkat penggantian 40% pada umur 7, 14, 28, dan 45 hari. Masing-masing menghasilkan kekuatan tekan beton sebesar 24 MPa, 28 MPa , 37 MPa, dan 41 MPa. Untuk kekuatan tarik belah menggunakan sampel silinder berukuran 150 mm x 300 mm. Kekuatan tarik untuk jenis CGA menghasilkan kekuatan sebesar 2,8 MPa. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan tingkat penggantian CGA hingga 40% dapat digunakan dalam campuran beton dan direkomendasikan untuk digunakan dalam elemen bangunan struktural RC sesuai BIS 456-2000.

## **2.2 Beton**

Menurut (SNI, 2847:2019), beton merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran (*admixture*).

Menurut (Mulyono, 2018), pengertian beton didefinisikan sebagai campuran semen portland atau sembarang semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau menggunakan bahan tambahan. Macam dan jenis beton terdiri bahan pembentuknya dapat berupa beton normal, bertulang, pracetak, pratekan, beton ringan, beton tanpa tulangan, beton fiber dan lainnya.

### **2.2.1 Kelebihan dan Kelemahan Beton**

Beton diartikan sebagai material komposit , adapun sifat mekanik dari beton keras (*Hardened Concrete*) dipengaruhi oleh perencanaan, kualitas dari bahan yang digunakan, dan prosedur penanganan yang tepat dalam proses pembuatannya.

Menurut (Nugraha & Antoni, 2007). Adapun kelebihan dan kekurangan beton dapat dilihat sebagai berikut :

1. Kelebihan beton antara lain :
  - a. Ketersediaan (*availability*) material dasar.
  - b. Kemudahan untuk digunakan (*versatility*).
  - c. Kemampuan beradaptasi (*adaptability*).
  - d. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal.
2. Kekurangan beton antara lain :
  - a. Beton memiliki berat sendiri sebesar 2400 kg/m<sup>3</sup>.
  - b. Kekuatan terhadap tarik lemah.
  - c. Beton mudah retak akibat dari sifat semennya yang hidraulis.
  - d. Tulangan baja mudah korosi meskipun tidak terekspose.
  - e. Kualitas beton tergantung dari cara pelaksanaan di lapangan.
  - f. Struktur beton sulit untuk dipindahkan.

## 2.3 Material Pembentuk Beton

### 2.3.1 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 sulfate 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 1. 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.

### 2.3.2 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.

### 2.3.3 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, Prophyry, Quartzite, dan Schist.

4. Minerologi

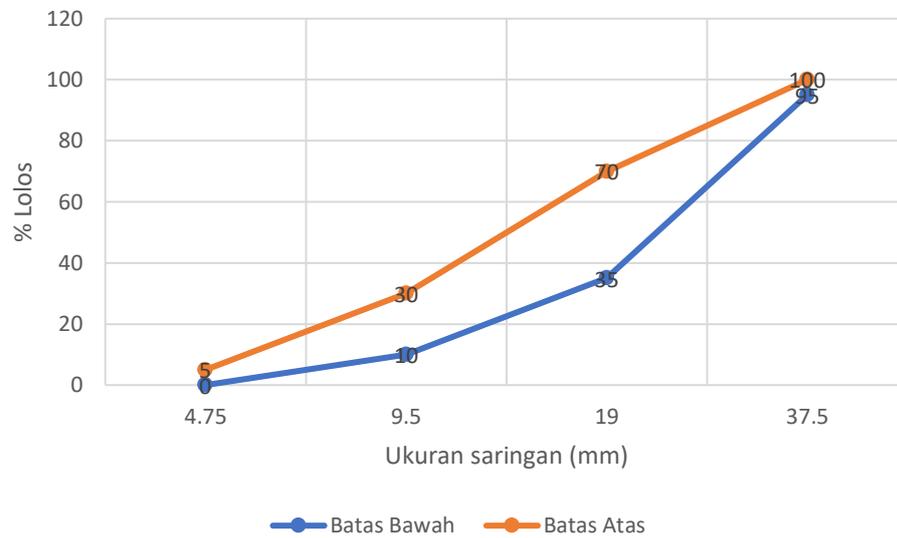
Menurut ASTM C294, klasifikasi komposisi mineral semen portland adalah demikian : felpars, mineral silika, karbon, sulfat, besi sulfida, besi magnesias, oksida besi dan mineral tanah liat.

### 2.3.4 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.

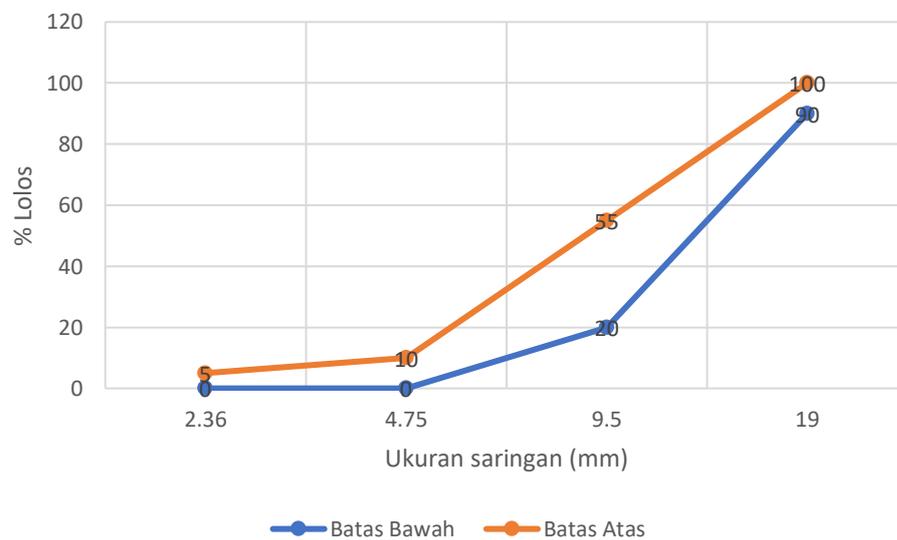
Adapun agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu pecah yang diambil dari sungai Bili-Bili Kabupaten Gowa. Batu pecah memberikan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan kerikil alami. Tetapi batu pecah memberikan kesulitan dalam pengerjaan karena harus dipecahkan terlebih dahulu menggunakan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



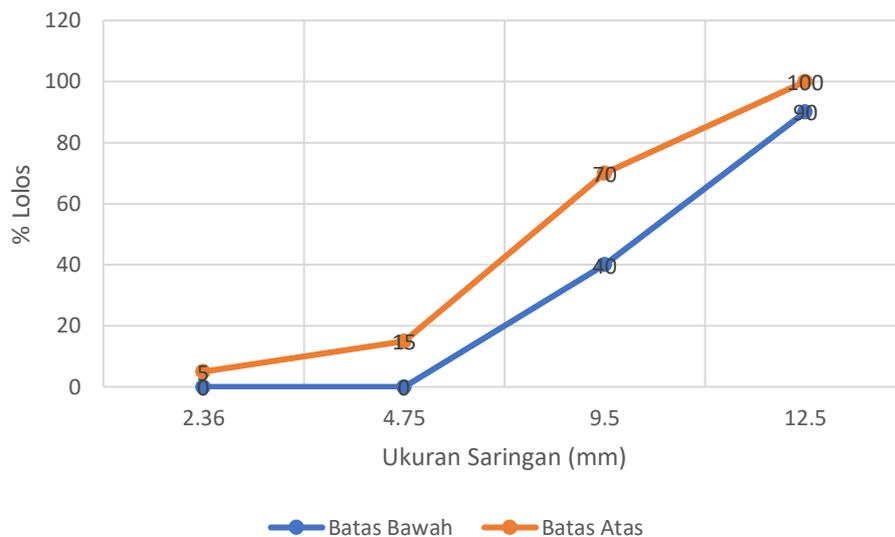
Gambar 3. Grafik Batas Gradasi Agregat Kasar Maksimum Diameter 37,5 mm

Sumber : (ASTM C33-03)



Gambar 4. Grafik Batas Gradasi Agregat Kasar Maksimum Diameter 19,0 mm

Sumber : (ASTM C33-03)



Gambar 5. Grafik Batas Gradasi Agregat Kasar Maksimum Diameter 12.5 mm

Sumber : (ASTM C33-03)

Gambar 6 adalah agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini :



Gambar 6. Agregat Kasar

Sumber : (Ricky Tiranda, 2023)

### 2.3.5 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 2 sebagai berikut :

Tabel 2. 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 3 sebagai berikut :

Tabel 3. 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 7 adalah agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini :



Gambar 7. Agregat Halus

Sumber : (Ricky Tiranda, 2023)

## 2.4 Pengujian Karakteristik Beton

Beton tidak saja heterogen, tetapi juga material yang anisotropis. Kekuatan bervariasi dengan alam dan arah dari tegangan terhadap bidang pengecorannya. Kekuatan tarik hanya sekitar 10-20% dari kekuatan tekan.

Menurut (Nugraha & Antoni, 2007), ada berbagai alasan untuk melakukan pengujian beton keras :

1. Mencari hubungan antara sifat fisik dan mekanik dari material beton dan sifat elastis dari kekuatan beton keras.
2. Menentukan sifat mekanis dari beton.
3. Perlu dilakukan evaluasi terhadap konstanta fisik, misalnya modulus elastisitas.
4. Untuk mengetahui kontrol kualitas dari hasil pengujian.

### 2.4.1 Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan beton didefinisikan sebagai besarnya tekanan yang mampu ditahan oleh luasan permukaan beton sehingga beton tersebut hancur.

Menurut (SNI, 2847:2019), kekuatan tekan beton dinyatakan dalam *megapascal* (MPa). Kekuatan tekan beton dapat dihitung menurut (SNI, 1974:2011) pada persamaan 1 sebagai berikut :

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

Dimana :

$f'c$  = Kekuatan tekan beton (N/mm<sup>2</sup>)

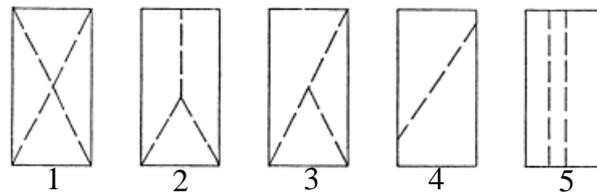
P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima beban (mm<sup>2</sup>)

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton, secara cepat kekuatan beton akan linier naiknya sampai umur 28 hari, setelah itu kenaikan kekuatan beton akan kecil. Laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari

penggunaan bahan penyusunnya yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja tekannya.

Adapun bentuk kehancuran benda uji setelah dilakukan uji kekuatan tekan beton sebagai berikut :



Gambar 8. Sketsa Gambar Tipe/Bentuk Kehancuran Benda Uji

Sumber : (SNI, 1974:2011)

Keterangan :

- 1 Bentuk kehancuran kerucut
- 2 Bentuk kehancuran kerucut dan belah
- 3 Bentuk kehancuran kerucut dan geser
- 4 Bentuk kehancuran geser
- 5 Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar)

Kekuatan tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur artinya, semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki maka akan dituntut mutu beton yang lebih baik. Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu kekuatan tekan rata-rata yang disyaratkan. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, beton yang telah dirancang campurannya harus di produksi sedemikian hingga memperkecil frekuensi terjadinya beton dengan kekuatan tekan yang lebih rendah dari kekuatan tekan rencana seperti yang telah disyaratkan, yaitu kriteria penerimaan beton tersebut harus sesuai dengan standar yang berlaku (SNI, 2847:2019).

#### 2.4.2 Kekuatan Tarik Belah

Kekuatan tarik belah beton dilakukan dengan pengujian *split cylinder* yang hasilnya mendekati kekuatan tarik yang sebenarnya. Metode yang sering digunakan dalam menentukan kekuatan tarik adalah tes pembelahan silinder atau tes Brazil. Dimensi benda uji yang sering digunakan untuk menentukan kekuatan tarik belah

beton yaitu ukuran 100 mm x 200 mm atau 150 mm x 300 mm, dimana benda uji akan diberikan beban merata searah tegak lurus dari panjang benda uji sampai dengan benda uji terbelah menjadi dua bagian.

Tujuan dari pengujian kekuatan tarik belah beton adalah untuk mengetahui daya ikatan antara semen dan agregat dari benda uji silinder yang umum diberikan sebagai kekuatan tarik belah beton  $f_{ct}$  yang nilainya menurut (ASTM C496/C 496M-04) dapat dihitung pada persamaan 2 sebagai berikut :

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

Dimana :

$f_{ct}$  = Kekuatan tarik belah (N/mm<sup>2</sup>)

P = Beban uji maksimum (beban belah/hancur)(N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)

### 2.4.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan tolak ukur sifat elastis beton, regangan yang terjadi selama pembebanan dianggap elastis, menggambarkan besarnya tegangan pada satu satuan regangan. Nilai modulus elastisitas beton dapat dihasilkan dari pengujian di laboratorium dengan menggunakan alat kompressometer. Pengujian modulus elastisitas beton berfungsi mengetahui kemampuan daya elastisitas beton dalam memikul beban besar dalam waktu yang cepat/tiba-tiba, dapat dilakukan bersamaan dengan pengujian kekuatan tekan, dimana besaran modulus elastisitas beton berdasarkan (ASTM C 469-02) diperoleh dengan persamaan 3 sebagai berikut :

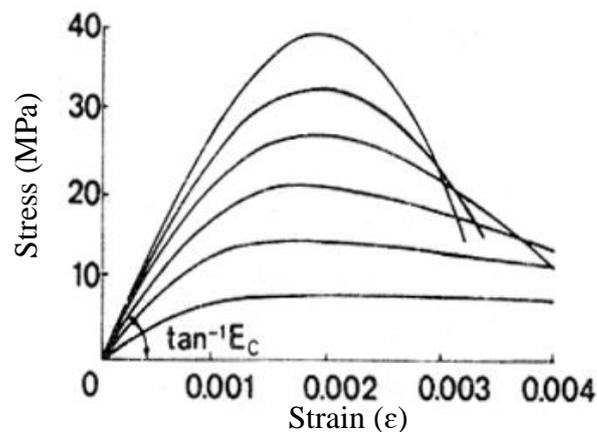
$$E_C = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3)$$

Dimana :

$E_C$  = Modulus Elastisitas (N/mm<sup>2</sup>)

- $S_2$  = Tegangan pada 40% dari tegangan ultimate (N/mm<sup>2</sup>)  
 $S_1$  = Tegangan pada kondisi regangan  $\epsilon_2$  (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\epsilon_2$  = Regangan pada kondisi  $S_2$   
 $\epsilon_1$  = Regangan dengan nilai 0,00005

Gambar 9 menunjukkan bentuk parabolik dari kurva atau diagram tegangan ( $f'c$ ) – regangan ( $\epsilon$ ) untuk benda uji beton berbentuk silinder.



Gambar 9. Grafik Hubungan Tegangan Regangan

Sumber : (Siswanto & Salim, 2018)

Berdasarkan (SNI, 2847:2019), modulus elastisitas didefinisikan sebagai kemiringan garis yang digambar dari tegangan nol hingga tegangan tekan sebesar  $0,45f'_c$ . Modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) dapat dihitung jika nilai  $w_c$  di antara 1400 dan 2560 kg/m<sup>3</sup> pada persamaan 4 sebagai berikut :

$$E_c = w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c} \quad (4)$$

Dimana :

- $E_c$  = Modulus Elastisitas (N/mm<sup>2</sup>)  
 $f'_c$  = Kekuatan Tekan Beton (N/mm<sup>2</sup>)  
 $w_c$  = Berat Satuan Beton (kg/m<sup>2</sup>)

Sedangkan, untuk beton normal ( $E_c$ ) dapat dihitung pada persamaan 5 sebagai berikut :

$$E_c = 4700\sqrt{f'c} \quad (5)$$

Dimana :

$E_c$  = Modulus Elastisitas (N/mm<sup>2</sup>)

$f'c$  = Kekuatan Tekan Beton (N/mm<sup>2</sup>)

## 2.5 Kaca

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.



(a)



(b)



(c)

Gambar 10. (a) Limbah botol kaca; (b) Limbah bohlam; (c) Limbah cermin

Sumber : (Ricky Tiranda dkk, 2023)

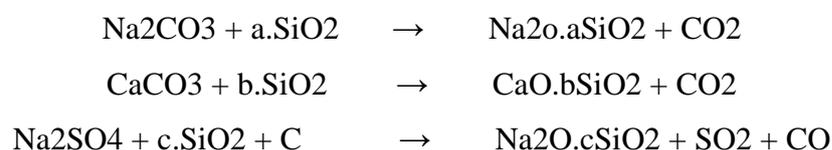
Gambar 10. (a) adalah proses pemisahan limbah botol kaca yaitu antara jenis *green glass* (kaca hijau) dan *amber glass* (kaca coklat). Gambar 10. (b) adalah kaca jenis *clear glass* (bohlam), proses pengumpulan sebelum dihancurkan. Gambar 10. (c) adalah kaca cermin jenis *clear glass* yang sudah dilapisi 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 11 sebagai berikut :



Gambar 11. Mesin Penggiling Limbah Kaca

Sumber : (Ricky Tiranda 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.

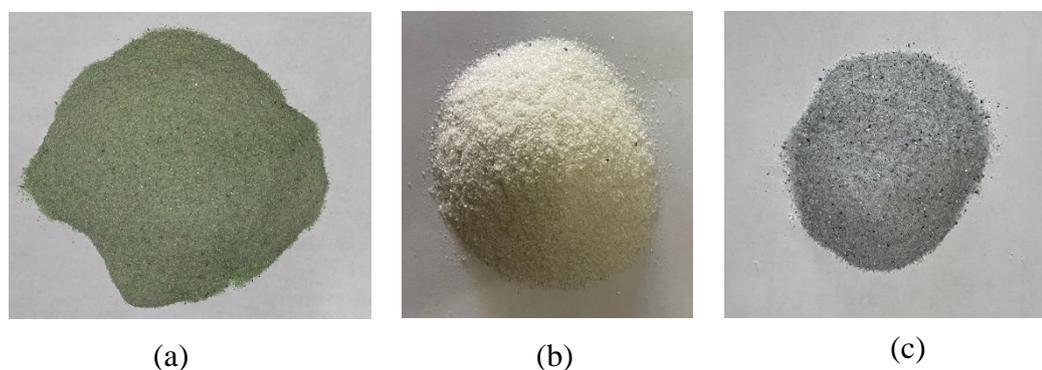
Ada beberapa kandungan kaca berdasarkan jenis-jenis kaca, yaitu: *clear glass*, *amber glass*, *green glass*, *pyrex glass*, dan *fused silica* menurut (Setiawan, 2006) dalam (Anwar, 2020). Kandungan bahan kimia dalam berbagai jenis kaca dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kandungan 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 12 menunjukkan kaca yang digunakan sebagai berikut :



Gambar 12. (a) Kaca botol; (b) Kaca bohlam; dan (c) Kaca cermin

Sumber : (Ricky Tiranda, 2023)