

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN *GLASS POWDER* (LIMBAH
BOTOL) SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP PROPERTI
MEKANIS BETON**

Disusun dan diajukan oleh:

**LANRIANNA LIKULANGI TOBAN TAMBING
D011 19 1086**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH PENAMBAHAN *GLASS POWDER* (LIMBAH BOTOL) SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP PROPERTI MEKANIS BETON

Disusun dan diajukan oleh

Lanrianna Likulangi Toban Tambing
D011 19 1086

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,



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

Pembimbing Pendamping,



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

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini ;

Nama : Lanrianna Likulangi Toban Tambing

NIM : D011191086

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Pengaruh Penambahan *Glass Powder* (Limbah Botol) Substitusi Semen Terhadap Properti Mekanis 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, tanggal bulan tahun

Yang Menyatakan



Lanrianna Likulangi Toban Tambing

ABSTRAK

LANRIANNA LIKULANGI TOBAN TAMBING. PENGARUH PENAMBAHAN GLASS POWDER (LIMBAH BOTOL) SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KEKUATAN TEKAN BETON (dibimbing oleh Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST, MT and Prof. Dr-Ing Herman Parung, M.Eng)

Semen merupakan salah satu bahan utama dalam pembuatan bangunan dan permintaan terhadapnya selalu meningkat sebagai dampak dari limbah kaca dan daur ulang terhadap limbah yang masih belum maksimal. Berdasarkan hal tersebut maka dibutuhkan inovasi dengan menggabungkan kedua hal diatas dengan menjadikan kaca yang telah dalam bentuk serbuk menjadi pengganti sebagian dari semen. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh dari jumlah persentase substitusi *glass powder* terhadap kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan modulus elastisitas beton. Selain itu akan dilakukan pengamatan terhadap perbandingan kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas terhadap beton yang menggunakan *glass powder* maupun beton normal. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Adapun jenis penelitian yang dilakukan adalah studi eksperimental mengenai uji kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas terhadap beton dengan melakukan substitusi semen dengan menggunakan serbuk kaca dengan tiga variasi persentase, yaitu 15%, 20%, dan 25%. Benda uji menggunakan silinder ukuran 100 mm x 200 mm selama 28 hari sebanyak 18 sampel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tekan optimum terdapat pada variasi 20% dengan nilai kekuatan tekan 15,38 MPa, namun nilai kekuatan tekan tidak lebih tinggi jika dibandingkan beton normal. Hasil pengujian kekuatan tarik belah menunjukkan bahwa variasi optimum terdapat pada variasi 20% dengan nilai 1,48 MPa. Pada persentase 20% nilai modulus elastisitas teori 18413,116 dan secara ekperimental sebesar 18060,677.

Kata Kunci: *Glass powder*, kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, modulus elastisitas.

ABSTRACT

LANRIANNA LIKULANGI TOBAN TAMBING. *PENGARUH PENAMBAHAN GLASS POWDER (LIMBAH BOTOL) SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KEKUATAN TEKAN BETON* (supervised by Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST, MT and Prof. Dr-Ing Herman Parung, M.Eng)

Cement is one of the main materials in the manufacture of buildings and the demand for it is always increasing as the impact of glass waste and waste recycling is still not maximized. Based on this, innovation is needed by combining the two things above by making glass that has been in powder form a partial replacement for cement. The purpose of this study was to analyze the effect of the total percentage of glass powder substitution on the compressive strength, tensile strength, and modulus of elasticity of concrete. In addition, observations will be made on the ratio of compressive strength, tensile strength, and modulus of elasticity to concrete using glass powder or normal concrete. This research was conducted at the Laboratory of Structures and Materials, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. The type of research conducted was an experimental study regarding the compressive strength, tensile strength, and modulus of elasticity tests of concrete by substituting cement using glass powder with three percentage variations, namely 15%, 20%, and 25%. The specimens used a cylinder size of 100 mm x 200 mm for 28 days as many as 18 samples. The test results show that the optimum compressive strength is at a variation of 20% with a compressive strength value of 15.38 MPa, but the compressive strength value is not higher than normal concrete. The tensile strength test results show that the optimum variation is found in the 20% variation with a value of 1.48 MPa. At a percentage of 20%, the theoretical elastic modulus value is 18413.116 and experimentally it is 18060.677.

Keywords: Glass Powder, compressive strength, tensile strength, modulus of elasticity

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Teori Beton	8
2.3 Material Penyusun Beton	11
2.3.1. Semen Portland	12
2.3.2. Agregat Kasar	13
2.3.3. Agregat Halus	14
2.3.4 Air	16
2.3.5 Kaca	17
2.4 Pengujian Karakteristik Beton	21
2.4.1 Kekuatan Tekan	21
2.4.2 Kekuatan Tarik Belah	23
2.4.3 Modulus Elastisitas	25
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Bagan Alir Penelitian.....	27
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	28
3.3 Jenis 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 Glass Powder.....	31
3.5.4 Pembuatan Benda Uji	31
3.5.5 Perawatan (<i>Curing</i>) Benda Uji.....	36
3.6 Pengujian Benda Uji	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38

4.1 Karakteristik Material	38
4.1.1 Agregat Halus	38
4.1.2 Agregat Kasar	38
4.1.3 Glass Powder.....	39
4.1.4 XRF (<i>X-Ray Fluoresence</i>) Glass Powder.....	39
4.2 Rancangan Campuran (<i>Mix Design</i>)	40
4.3 Hasil Pengujian Beton.....	41
4.3.1 Kekuatan Tekan Beton.....	41
4.3.2 Kekuatan Tarik Belah Beton.....	45
4.3.3 Modulus Elastisitas	47
4.3.4 Pola Retakan	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kerucut <i>Abrams</i>	11
Gambar 2. Tumbukan Campuran Beton Pada Kerucut <i>Abrams</i>	11
Gambar 3. Serbuk Kaca.....	19
Gambar 4. Pemisahan Limbah Kaca	20
Gambar 5. Penghalusan Limbah Kaca	20
Gambar 6. Pengemasan <i>Glass Powder</i>	21
Gambar 7. Ilustrasi Pengujian Kekuatan Tekan	23
Gambar 8. Ilustrasi Pengujian Kekuatan Tarik	24
Gambar 9. Bagan Alir Penelitian.....	28
Gambar 10. Bahan-Bahan dalam Penelitian.....	30
Gambar 11. Proses Pencampuran <i>Glass Powder</i> dan Semen	33
Gambar 12. Proses Pengadukan Beton.....	34
Gambar 13. Pengujian <i>Slump</i>	34
Gambar 14. Proses <i>Vibrator</i> Terhadap Beton	35
Gambar 15. Beton Dalam Silinder	35
Gambar 16. Proses <i>Curing</i> Benda Uji	36
Gambar 17. Pengujian Kekuatan Tekan dan Modulus Elastisitas.....	37
Gambar 18. Pengujian Kekuatan Tarik Belah	37
Gambar 19. Hubungan Variasi <i>Glass Powder</i> dan Kekuatan Tekan	42
Gambar 20. Hubungan Beban dan Perpindahan Beton Normal	43
Gambar 21. Hubungan Beban dan Perpindahan Substitusi 15%.....	43
Gambar 22. Hubungan Beban dan Perpindahan Substitusi 20%.....	44
Gambar 23. Hubungan Beban dan Perpindahan Substitusi 25%.....	44
Gambar 24. Hubungan Variasi <i>Glass Powder</i> dan Kekuatan Tarik Belah	46
Gambar 25. Sampel Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Belah.....	47
Gambar 26. Perbandingan Modulus Elastisitas Eksperimental dan Analisis	48
Gambar 27. Hubungan Tegangan dan Perpindahan Beton Normal	48
Gambar 28. Hubungan Tegangan dan Perpindahan Substitusi 15%	49
Gambar 29. Hubungan Beban dan Perpindahan Substitusi 20%.....	49
Gambar 30. Hubungan Tegangan dan Perpindahan Substitusi 25%	50
Gambar 31. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan.....	50
Gambar 32. Hasil Pola Retak GP 15% (Kerucut dan Geser)	51
Gambar 33. Hasil Pola Retak GP 20% (Kolom)	52
Gambar 34. Hasil Pola Retak GP 25% (Kolom)	52
Gambar 35. Perbandingan Pola Retakan dengan Penelitian Terdahulu	53

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kandungan Kaca	18
Tabel 2. Kandungan Serbuk Kaca	18
Tabel 3. Diameter Maksimum Permukaan Tekan	23
Tabel 4. Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar	30
Tabel 5. Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus	31
Tabel 6. Pemeriksaan Karakteristik <i>Glass Powder</i>	31
Tabel 7. Jumlah Benda Uji	32
Tabel 8. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	38
Tabel 9. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	39
Tabel 10. Hasil Pengujian Karakteristik <i>Glass Powder</i>	39
Tabel 11. Hasil Pengujian XRF	40
Tabel 12. Rancangan Campuran Beton	41
Tabel 13. Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Beton.....	41
Tabel 14. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton.....	45
Tabel 15. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas	47
Tabel 16. Grafik Modulus Elastisitas Sampel B-1	51

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
mm	Milimeter
ml	Mililiter
$x\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	Kalsium Silikat
SiO_2	Silika
f'_c	Kekuatan tekan beton
P	Beban maksimum
A	Luas penampang benda uji
f_{ct}	Kekuatan tarik belah
L	Panjang benda uji
D	Diameter benda uji
E_c	Modulus Elastisitas
gr	Gram
MPa	Megapascal
CTM	Compression testing mechine
PCC	Portland cement composite
SNI	Standar nasional Indonesia
ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>
Cl	Chlorine
FAS	Faktor air semen
%	Persen
pH	Potential of hydrogen
kg	Kilogram
N	Newton
kN	Kilonewton

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Persiapan <i>Glass Powder</i> dan Agregat.....	59
Lampiran 2 Dokumentasi Pengujian Berat Jenis	59
Lampiran 3. Penyiapan Silinder Sebelum Pengecoran	59
Lampiran 4. Proses Pencampuran <i>Glass Powder</i> Dan Semen	59
Lampiran 5. Dokumentasi Pengujian Slump.....	60
Lampiran 6. Dokumentasi Proses Pengecoran.....	60
Lampiran 7. Pengujian Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik Belah	60
Lampiran 8. Sampel Hasil Pengujian Kekuatan Tekan.....	61
Lampiran 9. Sampel Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Belah.....	62
Lampiran 10. Tabel Modulus Elastisitas Variasi 15%	63
Lampiran 11. Tabel Modulus Elastisitas Variasi 20%	64
Lampiran 12. Tabel Modulus Elastisitas Variasi 25%	65
Lampiran 13 Tabel Modulus Elastisitas Atas 3 Jenis Limbah	66

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir berjudul “Pengaruh Penambahan *Glass Powder* (Limbah Botol) Substitusi Semen Terhadap Kekuatan Tekan Beton”, sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik, Sipil Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muh. Isran Ramli, ST., MT., IPM., ASEAN.Eng.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Dr. Eng. Bambang Bakri, ST., MT.**, selaku Sekertaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Bapak Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., MT.**, selaku dosen pembimbing I sekaligus Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah meluangkan waktu dan tenaga dalam membimbing serta mengarahkan dalam penelitian ini.
5. **Bapak Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing serta mengarahkan dalam penelitian ini.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Kedua orang tua tercinta papa **Linggi Tambing** dan mama **Ida Theresia Toban** yang selalu mendukung dalam segala hal. Serta adik-adik, **Kamaseki**

Toban Tambing dan **Rhafandra Alvario** atas setiap dukungan yang diberikan kepada penulis selama ini.

8. **Julianto Toding** sebagai orang spesial yang banyak membantu serta mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
9. **Cindy, Hikma, Ricky, Yana, Valdo, Iki, Lisa,** dan **Rama** selaku rekan mukim gempu yang selalu kompak dalam penyelesaian tugas akhir.
10. Teman-teman PSB **Cindy, Jois, Ersi, Ane, dan Sara** yang senantiasa menjadi teman dalam kasih dan terus memberi banyak dukungan.

Dalam Penulisan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tulisan ini masih banyak kekurangan. Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan Rahmat-Nya kepada kita, dan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak pihak yang berkepentingan.

Gowa, Mei 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan terhadap infrastruktur pada masa ini mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Hal ini tentu saja disebabkan karena meningkatnya permintaan terhadap rumah tinggal beserta kebutuhan bangunan yang menjadi akibat dari meningkatnya populasi manusia. Pada saat ini pembangunan infrastruktur baru tidak hanya dilakukan pada daerah yang lahannya masih kosong, tetapi banyak juga dilakukan untuk menggantikan infrastruktur yang lama. Banyak dampak yang dapat dihasilkan dari pembangunan infrastruktur lama, contohnya adalah dengan munculnya limbah konstruksi dan akan meningkatnya penggunaan agregat sehingga sumber daya akan menjadi terbatas. Maka dari itu pengembangan terhadap campuran agregat dapat memenuhi kebutuhan pembangunan infrastruktur sangatlah dibutuhkan.

Saat ini, rekayasa terhadap material semakin berkembang dengan sangat pesat. Hal ini merupakan akibat dari pesatnya pembangunan. Hal ini mendorong kebutuhan masyarakat terhadap kebutuhan bahan bangunan akan meningkat. Salah satu kebutuhan tersebut adalah semen sebagai salah satu bahan utama dalam pembuatan beton. Dengan meningkatnya kebutuhan terhadap semen, maka harga semen akan perlahan naik. Meningkatnya kebutuhan terhadap material bangunan memungkinkan untuk mencari bahan pengganti terhadap material yang dalam hal ini adalah semen sebagai bahan utama dalam pembuatan beton. Melihat hal ini, para ahli akan terpicu untuk mengembangkan cara alternatif untuk menggantikan penggunaan semen yang relatif mudah tanpa menyampingkan kualitas hasil.

Istilah semen hijau mengambil tempatnya sebagai produk lingkungan, dengan demikian akan mengacu terhadap penggunaan material baru yang dapat menggantikan penggunaan semen pada beton. Salah satu alternatif dalam hal ini adalah dengan melakukan substitusi parsial semen dengan pemanfaatan limbah dari kaca yang telah dihaluskan dan menjadi serbuk kaca. Hal ini dapat menjadi opsi sebagai bentuk pengurangan penggunaan semen yang jika dikembangkan secara

lebih lagi dapat mengurangi penggunaan semen sebagai salah satu bahan utama dalam pembuaan sebuah bangunan.

Kaca merupakan bahan yang dapat dengan mudah ditemukan dan harganya yang tergolong dalam kategori ekonomis. Selain itu kaca memiliki ketahanan terhadap abrasi yang baik dan tahan terhadap perubahan cuaca ataupun serangan kimia karena kandungan silika yang dimiliki (Apriwelni & Wirawan, 2020). Material kaca merupakan material yang tidak menyerap air sehingga mempunyai tingkat durabilitas yang tergolong tinggi. Limbah kaca merupakan limbah yang mudah didapatkan dalam berbagai bentuk seperti: botol, guci, jendela, bohlam, tabung sinar, dan sebagainya. Limbah serbuk kaca biasanya akan terbuang langsung di tanah, sungai, maupun jalan. Perlakuan terhadap limbah serbuk kaca ini tentu saja dapat menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan baik terhadap tanah maupun air. Melihat hal ini sejalan dengan meningkatnya kebutuhan terhadap pembangunan infrastruktur dan meningkatnya jumlah limbah kaca maka akan menjadi sebuah inovasi jika keduanya digabungkan. Selama beberapa tahun belakang, telah diadakan penelitian untuk mengembangkan penggunaan limbah kaca yang masih layak digunakan dalam bentuk serbuk kaca sebagai substitusi semen. Penggunaan limbah kaca dalam bentuk serbuk kaca ini digunakan kembali (*re-use*) adalah salah satu solusi pemanfaatan limbah yang sangat tepat. Salah satu usaha dalam mengatasi banyaknya masalah tersebut adalah dengan melakukan pemanfaatan serbuk kaca (*glass powder*). (Punusingon, Handono, & Pandaleke, 2019).

Dengan demikian penelitian menggunakan limbah kaca yang telah dihaluskan dan menjadi *glass powder* dengan menjadikannya substitusi sebagian dari semen sangatlah diperlukan untuk mengurangi penggunaan semen dan mengurangi limbah kaca. Hal ini memungkinkan untuk melakukan substitusi semen dalam beberapa persentase kemudian melakukan uji kekuatan tekan, uji kekuatan tarik, dan uji modulus elastisitas. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilaksanakan oleh GM Sadiqul (2016) mengenai *Waste Glass Powder as Partial Replacement of Cement for Sustainable Concrete Practice*, dengan penambahan *glass powder* 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25% diperoleh hasil uji kekuatan tekan beton menunjukkan bahwa terjadi penurunan kekuatan tekan seiring dengan

bertambahnya variasi pada *glass powder* setelah 20%. Penelitian yang dilakukan oleh S. Rahman (2018) mengenai *Experimental Investigation of Concrete with Glass Powder as Partial Replacement of Cement*, melakukan penelitian dengan melakukan substitusi *glass powder* dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% dan kemudian diperoleh hasil bahwa nilai kekuatan tekan maksimum terdapat pada beton normal diikuti oleh beton dengan substitusi *glass powder* 20%. Selain itu penurunan kekuatan tekan akan selalu bertambah seiring dengan meningkatnya persentase penambahan *glass powder* yang menjadi substitusi semen pada penelitian ini.

Berdasarkan hal itu kami meneliti beton dengan substitusi *glass powder* sebanyak 0%, 15%, 20%, dan 25% yang dimana tiap persentase substitusi serbuk kaca terhadap semen akan memakai 24 sampel dengan 12 sampel untuk pengujian kekuatan tekan, dan 12 sampel untuk pengujian kekuatan tarik belah. Dalam objek penelitian kali ini akan dilakukan uji kekuatan tekan, uji kekuatan tarik, dan uji modulus elastisitas. Studi dimaksudkan ialah untuk menganalisis kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan modulus elastisitas masing-masing dari presentase substitusi *glass powder* pengganti semen yang dimaksudkan.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka disusunlah tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Penambahan *Glass Powder* (Limbah Botol) Substitusi Semen Terhadap Properti Mekanis Beton”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, maka dapat diambil rumusan masalah :

1. Bagaimana pengaruh jumlah persentase substitusi *glass powder* terhadap kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan modulus elastisitas beton?
2. Bagaimana hasil perbandingan kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan modulus elastisitas beton dengan menggunakan *glass powder* dan tanpa menggunakan *glass powder*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh jumlah persentase substitusi *glass powder* terhadap kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan modulus elastisitas beton.
2. Menganalisis hasil perbandingan kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan modulus elastisitas beton dengan menggunakan *glass powder* dan tanpa menggunakan *glass powder*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun hal-hal yang akan menjadi manfaat dari berlansungnya penelitian ini adalah:

1. Dapat memberi gambaran bagaimana hasil jika dilakukan substitusi *glass powder* terhadap semen dengan persentase 0%, 15%, 20%, dan 25% *glass powder* terhadap substitusi semen.
2. Menambah referensi mengenai beton dengan campuran *glass powder* sehingga dapat mengembangkan minat peneliti lain dalam melakukan penelitian yang lebih lanjut.

1.5 Ruang Lingkup

Demi tercapainya penelitian diperlukan suatu batasan dalam penulisan agar pembahasan tidak meluas dari ruang lingkungnya sehingga tujuan dari penulis dapat tercapai dan dipahami.

Adapun ruang lingkup penulisan yang dijadikan batasan dalam penulisan adalah :

1. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Portland.
2. Penelitian ini akan menggunakan limbah kaca (botol) yang telah dihaluskan menjadi bentuk serbuk yang lolos saringan No. 200.
3. Penelitian menggunakan variasi substitusi limbah kaca sebagai pengganti semen sebesar 0%, 15%, 20%, dan 25% dari semen.
4. Penelitian menggunakan cetakan berbentuk silinder berukuran 100 mm x 200 mm selama 28 hari sebanyak 18 sampel. Untuk pembagian sampel akan

dibagi 3, masing masing 6 sampel untuk pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan modulus elastisitas tiap variasi yang telah di tentukan.

5. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji kekuatan tekan kekuatan tarik belah dan modulus elastisitas.
6. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah sesuai dengan standar resmi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dhanaraj Mohan Patil dkk (2013) meneliti tentang “*Experimental Investigation of Waste Glass Powder as Partial Replacement of Cement in Concrete*” dengan hasil sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini dilakukan penggantian semen sebesar 10%, 20%, dan 30%. Adapun untuk mengetahui kekuatan tekan, benda uji dicor dan diuji menggunakan Compression Testing Machine (CTM) untuk kekuatan tekan karakteristik 7 hari dan kekuatan tekan karakteristik 28 hari.
2. Nilai kekuatan tekan pada umur beton 28 hari menunjukkan campuran yang mengandung semen yang diganti dengan 20% *glass powder* mendapatkan kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggantian 10% dan 30%.

Shilpa Raju (2014) meneliti tentang “*Effect of Using Glass Powder in Concrete*” dengan hasil sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini dilakukan penggantian semen dengan serbuk kaca dalam kisaran 5% sampai dengan 40% dengan kenaikan 5%. Dilakukan pengujian kekuatan tekan pada umur 7, 28, dan 90 hari dan kemudian akan dibandingkan dengan beton konvensional.
2. Pada pengujian di temukan bahwa kekuatan tekan optimum berada pada penggantian 20% *glass powder* dengan nilai kekuatan tekan yang mencapai 33,86 MPa. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan beton konvensional yang dimana diperoleh hasil kekuatan tekan hanya mencapai 27,33 MPa saja.

Fasih Ahmad Khan dkk (2015) meneliti tentang “*Utilization of Waste Glass Powder as a Partial Replacement of Cement in Concrete*” dengan hasil sebagai berikut

1. Pada penelitian ini digunakan 7 variasi penambahan *glass powder*. Adapun variasinya yaitu 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, dan 40%. Uji

kekuatan tekan dilakukan pada berbagai umur yaitu 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 84 hari.

2. Penurunan *workability* diamati dengan peningkatan serbuk kaca, karena nilai slump menurun dengan jumlah yang konstan. Kekuatan awal kurang dibandingkan dengan beton konvensional, tetapi setelah 28 hari aktivitas pozzolan dimulai dan perbedaan kekuatan antara beton konvensional dan beton serbuk kaca berkurang menjadi 12 persen.
3. Pada penggantian 15% semen dengan *glass powder*, beton memberikan kekuatan maksimum sekitar 88,22 persen dari beton konvensional. Jadi, beton dengan 15% *glass powder* dapat direkomendasikan sebagai pengganti semen yang optimal.

S. Rahman (2018) meneliti tentang “*Experimental Investigation of Concrete with Glass Powder as Partial Replacement of Cement*” dengan hasil sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penambahan terhadap *glass powder* dilakukan dengan 3 variasi yaitu 10%, 20%, dan 30%. Silinder beton kemudian diuji kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah pada umur 7 hari, 14, hari, dan 28 hari dan akan dibandingkan dengan hasil beton polos.
2. Jika dibandingkan dengan beton polos, beton dengan penambahan *glass powder* menunjukkan hasil yang lebih baik. Untuk hasil kekuatan tekan ketika persentase 20% menunjukkan hasil yang optimal dengan nilai kekuatan tekan mencapai 21,33 MPa.
3. Berbeda dengan pengujian kekuatan tekan, pada pengujian kekuatan tarik belah justru menunjukkan hasil yang baik pada persentase 30% dengan nilai kekuatan tarik belah yang mencapai 2,03 MPa.

Hossam A. Elaqla (2019) meneliti tentang “*Effect of New Mixing Method of Glass Powder as Cement Replacement on Mechanical Behavior of Concrete*” dengan hasil sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini menyelidiki pengaruh penggunaan limbah lokal *glass powder* sebagai pengganti semen pada beton. Empat persentase

glass powder yang digunakan ialah 0%, 10%, 20%, dan 30%. Pengujian kekuatan tekan dilakukan pada umur 2 hari, 7 hari, 28 hari, dan 90 hari.

2. Dari hasil yang didapat disimpulkan bahwa kekuatan tekan optimum di dapatkan pada variasi pencampuran 20%, namun variasi setelahnya akan terjadi penurunan yang cukup signifikan.

Perumal Kanagasautari dkk (2021) meneliti tentang “*An Experiment on Concrete Replacing Binding Material as Waste Glass Powder*” dengan hasil sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini dilakukan substitusi semen dengan persentase 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Pengujian kemudian akan dilakukan pada saat umur beton berada pada 7 hari dan 28 hari.
2. Hasil pengujian kekuatan tekan menyatakan bahwa kekuatan tekan maksimum berada pada substitusi semen sebanyak 20% dengan hasil 28,22 N/mm².
3. Hasil menyatakan bahwa dengan menambahkan serbuk kaca lebih dari 20% maka akan menyebabkan penurunan *workability* dan kekuatan beton.

2.2 Teori Beton

Beton (*concrete*) adalah material yang paling sering digunakan diseluruh dunia selain baja (*steel*). Beton banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam proyek pembangunan insfastruktur seperti jalan, gedung, bendungan, jembatan, dan sebagainya. Beton diperoleh dari pencampuran semen, agregat halus (*fine aggregate*), agregat kasar (*coarse aggregate*) dan air. Dengan menambahkan bahan perekat (semen) dengan takaran tertentu, dan air sebagai bahan pembantu untuk keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton (*concrete curing*). Nilai kekuatan dan daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari sekian banyak faktor, beberapa diantaranya nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, temperatur, pelaksanaan akhir (*finishing*), dan perawatan (*curing*) beton (Sejati & Gunawan, 2019).

Dalam beberapa tahun belakangan, pertumbuhan dalam dunia konstruksi semakin meningkat. Pertumbuhan ini sejalan dengan kebutuhan terhadap material

konstruksi. Beton merupakan pilihan utama dalam pembangunan konstruksi karena memiliki keawetan dan kekuatan yang memungkinkan suatu bangunan dapat bertahan lama. Beton mutu normal biasanya dipakai untuk konstruksi–konstruksi sederhana seperti perumahan dan bangunan-bangunan gedung yang relatif tidak terlalu tinggi., dimana kekuatan tekan yang dibutuhkan tidak terlalu besar. Proses pelaksanaan pekerjaan konstruksi dengan menggunakan beton mutu normal tidak terlalu menuntut tingkat ketelitian dan keamanan yang tinggi, dan bahan – bahan dasar pembentuknya mudah diperoleh serta ekonomis.

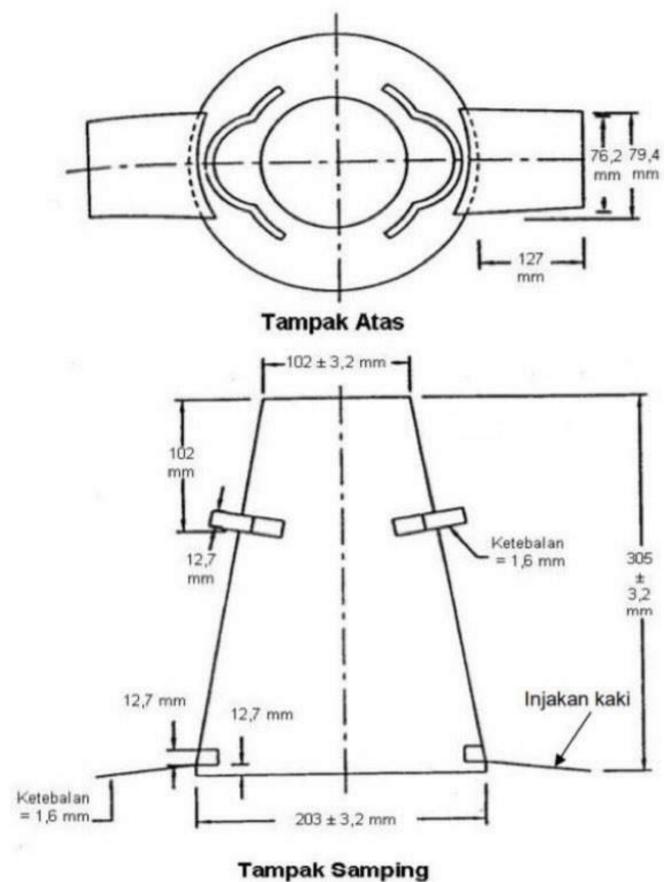
Beton dibentuk dari pencampuran bahan batuan yang diikat dengan bahan perekat berupa semen. Bahan batuan yang digunakan untuk menyusun beton umumnya dibedakan menjadi dua jenis yaitu agregat kasar (kerikil/batu pecah/split) dan agregat halus (pasir). Agregat halus dan agregat kasar disebut sebagai bahan susun kasar campuran dan merupakan komponen utama beton. Umumnya penggunaan bahan agregat dalam adukan beton ialah mencapai jumlah 70%-75% dari seluruh beton. Menurut Gede Putu Joni (2017) Adapun sifat sifat beton:

1. Kemampuan dikerjakan (*workability*)
2. Sifat tahan lama (*durability*)
3. Kekuatan
4. Sifat kekuatan tekan dan sifat kekuatan tarik
5. Modulus elastisitas
6. Penyusutan beton
7. Sifat permeability beton
8. Bleeding
9. Segregasi
10. Proses perawatan beton (*curing*)

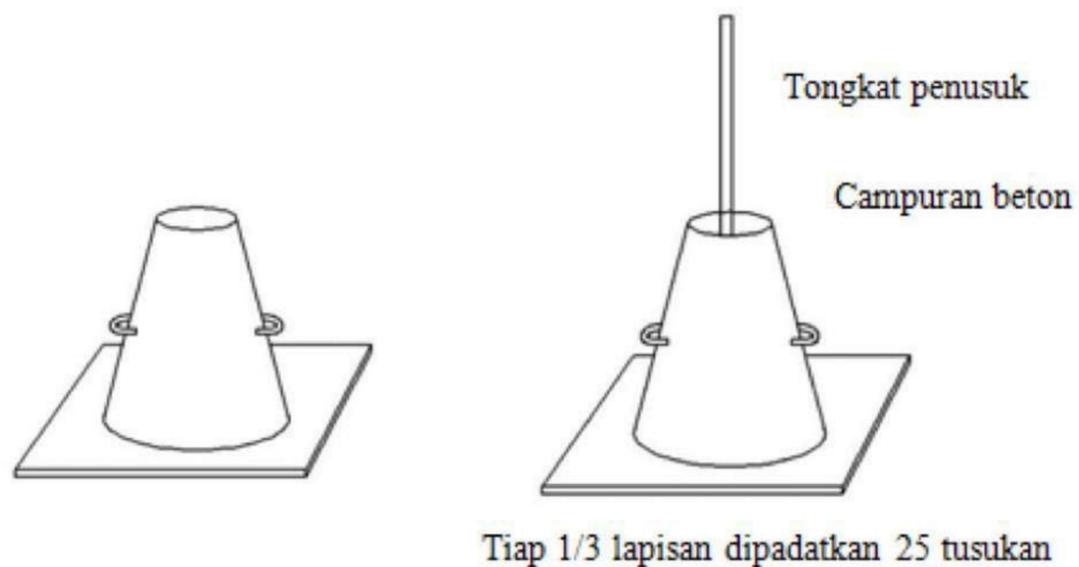
Tingkat mutu beton atau sifat-sifat lain yang hendak dicapai, dapat dihasilkan dengan perencanaan yang baik dalam pemilihan bahan-bahan pembentuk serta komposisinya. Beton yang dihasilkan diharapkan memenuhi ketentuan-ketentuan seperti kelecakan dan konsistensi yang memungkinkan pengerjaan beton dengan mudah tanpa menimbulkan segregasi atau pemisahan agregat dan bleeding, ketahanan terhadap kondisi khusus yang diinginkan, memenuhi kekuatan yang hendak dicapai, serta ekonomis dari segi biayanya.

Beton dengan mutu yang baik perlu dilakukan sebuah langkah untuk mengetahui apakah tingkat konsistensi dari adonan beton yang baru dibuat telah siap untuk digunakan. Langkah tersebut ialah pengujian *slump* yang bertujuan untuk menguji tingkat viskositas atau kekentalan adonan beton segar agar hasil akhirnya bisa mencapai kekuatan tekan seperti yang diinginkan. Menurut SNI 1972:2008, pengujian *slump* adalah salah satu cara dalam mengukur homogenitas dan tingkat kelecakan suatu adukan. Pengertian dari *slump* ini sendiri adalah besarnya penurunan adukan yang akan ditinjau dari alat uji yaitu kerucut *abrams*. Nilai *slump* berbanding lurus dengan kekuatan tekan beton, Pengujian slump menurut SNI 1972:2008 dilakukan dengan cara:

1. Membasahi cetakan berupa kerucut abrams dan meletakkan di atas permukaan yang datar, lembab, tidak menyerap air, dan kaku.
2. Mengisi cetakan dalam tiga lapis, pada setiap lapisan dipadatkan dengan 25 tusukan menggunakan batang pemadat. Sebarkan penusukan secara merata di atas permukaan setiap lapisan.
3. Setelah lapisan atas telah selesai dipadatkan, kemudian permukaan beton diratakan pada bagian atas cetakan.
4. Lepaskan cetakan dari beton dengan cara mengangkat dengan posisi vertikal secara perlahan.
5. Setelah beton menunjukkan penurunan pada permukaan, ukur segera slump dengan menentukan perbedaan vertikal antara bagian atas cetakan dan bagian puast permukaan atas beton.



Gambar 1. Kerucut *Abrams*
(Sumber: SNI 1972:2008)



Gambar 2. Tumbukan Campuran Beton Pada Kerucut *Abrams*

2.3 Material Penyusun Beton

Beton terbuat dari bahan yang dicampur berupa material alam yang berbentuk agregat halus yaitu pasir alam atau batu pecah atau bahan semacamnya dan agregat kasar berupa batu alam atau batu pecah dan semacamnya, ditambahkan bahan perekat yaitu semen dan air sebagai bahan katalis untuk keperluan reaksi kimia (Hamdi, et al., 2022).

2.3.1. Semen Portland

Semen sebagai bahan pengikat (*bonding materials*) dalam pembuatan beton, memegang peranan penting karena selain akan menentukan karakteristik beton yang dihasilkan juga dapat memberikan indikasi apakah beton cukup tahan terhadap lingkungan agresif, pengaruh cuaca, dan sebagainya. Karena semen merupakan hasil pembuatan pabrik dengan pengendalian mutu yang ketat, maka untuk menjaga kualitas di lapangan yang perlu diperhatikan adalah cara penyimpanan yang baik dengan jangka waktu tertentu sehingga belum terjadi perubahan sifat akibat pengaruh lembab (Lasino, Rachman, & Sugiharto, 2012).

Portland Cement Composite (PCC) merupakan jenis semen baru yang telah diproduksi oleh beberapa pabrik semen (produsen) dengan cara memberi bahan tambahan (*inert*) dari semen Portland tipe I dengan bahan lain yang tidak mengurangi mutu semen yang dihasilkan. Bahan tambahan ini tidak melalui proses pembakaran seperti halnya dalam pembentukan klinker semen, tetapi hanya memerlukan penggilingan sampai kehalusan tertentu sehingga selain dapat mengurangi energi yang diperlukan juga dapat mengurangi emisi serta biaya produksi dari semen. Untuk menjaga mutu dari semen ini maka harus selalu mengacu pada standar-standar yang telah ditetapkan sehingga dari aspek mutu produk sudah jelas persyaratan yang harus diacu. Dalam penggunaannya jenis semen ini secara umum ditujukan untuk bangunan-bangunan pada umumnya, sama halnya dengan menggunakan Semen Portland Jenis I dengan kekuatan tekan yang relatif sama. Dalam petunjuk teknis juga dijelaskan bahwa jenis semen PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pengerasan dibanding dengan Semen Portland Jenis I, sehingga pengerjaannya akan lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton / plester yang lebih rapat dan lebih halus.

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Berdasarkan SNI 2049:2015, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (*clinker*) portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat ($x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Adapun jenis-jenis semen Portland yang di jelaskan pada SNI 2049:2015 adalah sebagai berikut:

1. Jenis 1, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi
4. Jenis IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Agar semen tetap memenuhi syarat meskipun disimpan dalam waktu lama, cara penyimpanan semen perlu diperhatikan. Jika semen disimpan kering, akan tetap baik. Penyimpanan di tempat lembab mengakibatkan penurunan kekuatan. Oleh karenanya, kelembaban ruang penyimpanan harus tetap dijaga. Sebaiknya penimbunan karung semen rapat satu sama lain, di atas ganjalan kayu dan tidak dirapatkan ke dinding. Penyimpanan yang lama seharusnya mempunyai tutuptutup kedap air. Semen harus terbebas dari bahan kotoran dari luar. Semen dalam kantong harus disimpan dalam gudang tertutup, terhindar dari basah dan lembab, dan tidak tercampur dengan bahan lain. Semen dari jenis yang berbeda harus dikelompokkan sedemikian rupa untuk mencegah kemungkinan tertukarnya jenis semen yang satu dengan yang lainnya. Urutan penyimpanan harus diatur sehingga semen yang lebih dahulu masuk gudang terpakai lebih dahulu (Mulyono, 2017).

2.3.2. Agregat Kasar

Agregat adalah bahan granular yang sebagian besar berasal dari batuan alam (batu pecah atau kerikil alam) dan pasir. Agregat kasar dapat berupa kerikil alami atau pecah dari proses pemecahan batu gunung. Agregat kasar harus memenuhi syarat SNI 1969:2016 tentang spesifikasi agregat untuk beton, dengan kadar lumpur

maksimum 1,0%. Agregat kasar harus mempunyai gradasi yang baik, keras, kekal dan stabil.

Gradasi agregat kasar memiliki pengaruh yang besar terhadap *workability* dan kekuatan tekan beton (Ginting, 2021). Dengan demikian banyak hal yang dapat diketahui mengenai pengaruh dan dampak dari penggunaan agregat kasar dalam campuran beton. Penggunaan agregat kasar dan agregat halus dalam suatu beton dapat mencapai 60% sampai 70% dari volume beton yang sangat mempengaruhi sifat beton segar dan sifat beton setelah mengeras. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa:

1. Gradasi dan modulus halus butir agregat kasar berpengaruh terhadap *workability*.
2. Semakin kasar gradasi dan semakin besar modulus halus butir agregat kasar dapat meningkatkan *workability*.
3. Gradasi dan modulus halus butir agregat kasar berpengaruh terhadap kekuatan tekan.
4. Semakin kasar gradasi dan semakin besar modulus halus butir agregat kasar akan menurunkan kekuatan tekan.
5. Kerikil sisa penambangan dapat digunakan sebagai substitusi sebagian dari kerikil alami.
6. Gradasi dan modulus halus butir agregat kasar tidak berpengaruh terhadap berat isi beton.

2.3.3. Agregat Halus

Agregat halus adalah batuan halus, terdiri dari butiran yang dapat diperoleh dari hasil desintegrasi batuan alam (*natural sand*) atau dengan memecah (*artificial sand*). Pada umumnya pasir yang digali dari dasar sungai cocok digunakan untuk pembuatan beton konstruksi. Agregat halus ini terbentuk ketika batu-batu dibawa arus sungai dari sumber air ke muara sungai. Agregat halus juga dapat digali dari arus laut asalkan pengotoran serta garam-garamnya (klorida) dibersihkan dan kulit kerang disisihkan. Jenis pasir dapat dibedakan berdasarkan asal dan sifat pasir sebagai berikut:

1. Pasir gunung: pasir ini ditemukan di daerah-daerah yang terletak agak tinggi dan kecenderungannya mengandung cukup banyak kerikil.
2. Pasir sungai: jenis pasir ini mempunyai butiran yang cenderung tidak merata. Pasir ini sangat baik untuk pembuatan mortar (adukan) karena unsur-unsur pengikatnya dapat mencekal dengan baik pada permukaan kasar butiran.
3. Pasir laut: jenis pasir ini sendiri banyak mengandung kapur yang disebabkan oleh sisa-sisa kulit kerang.
4. Pasir gunung tepi pantai: pasir ini juga sama dengan pasir laut yang banyak mengandung kapur. Pasir pegunungan tepi pantai adalah pasir yang terbawa angin. Pembulatan butir-butir disebabkan oleh arus laut dan terpaan ombak.
5. Pasir perak: pasir jenis ini banyak menampilkan kilauan, pasir ini juga banyak digunakan sebagai penghias pada dinding dan langit-langit.
6. Pasir lembek: pasir ini merupakan pasir halus dengan butiran yang relatif bulat namun banyak mengandung lumpur dan juga banyak mengandung air.
7. Pasir timah: pasir ini merupakan pasir yang dihanyutkan oleh air hujan dan sisa-sisa humus yang memiliki warna abu-abu timah. (Apriwelni & Wirawan, 2020)

Agregat sebagai bahan pengisi dalam pembuatan beton mempunyai peranan penting karena beberapa fungsi yang dimiliki diantaranya adalah untuk menambah kekuatan, mengurangi penyusutan dan mengurangi penggunaan semen. Mutu agregat sangat menentukan kualitas beton yang dihasilkan, oleh karena itu harus dilakukan pengendalian mutu (*quality control*) sebelum digunakan sebagai bagian dari jaminan mutu (*quality assurance*) terhadap beton yang akan dihasilkan. Fungsi utama agregat halus adalah sebagai bahan pengisi diantara agregat kasar, sehingga ikatan menjadi lebih kuat. Fungsi utama dari agregat halus inilah yang menyebabkan agregat halus mempunyai komposisi penting dalam campuran beton agar ikatan menjadi lebih kuat dalam pengisi diantara agregat kasar.

Berdasarkan SNI 1969:2016 agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm yang berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat

halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari butiran atau terak tanur tinggi. Agregat halus sebagai pengisi dalam campuran beton memiliki ukuran butiran kurang dari 5 mm atau lolos saringan No. 4 dan tertahan pada saringan No. 200.

2.3.4 Air

Peranan air sebagai bahan campuran beton ialah sebagai bahan pembantu dalam konstruksi bangunan yang meliputi kegunaannya untuk pembuatan dan perawatan beton, pemadaman kapur, pembuatan adukan pasangan dan plesteran dan sebagainya. Air yang berlebihan akan menimbulkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Air harus memenuhi persyaratan spesifikasi bahan bangunan menurut (Lasino, Rachman, & Sugiharto, 2012) yang meliputi:

1. Air harus bersih, dengan pH antara 6-8.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan bahan terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
3. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 g/l.
4. Tidak mengandung garam yang dapat merusak beton.
5. Khusus untuk beton pratekan, kadar Cl maksimum 50 ppm.
6. Semua jenis air yang meragukan harus diperiksa di laboratorium.

Air diperlukan pada pembentukan semen yang berpengaruh terhadap sifat kemudahan pengerjaan adukan beton (*workability*), kekuatan, susut dan keawetan beton. Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25 % dari berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit jika kurang dari 0,35. Kelebihan air dari jumlah yang dibutuhkan dipakai sebagai pelumas, tambahan air ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton menjadi rendah dan beton menjadi keropos. Kelebihan air ini dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih dan terbentuk suatu selaput tipis (*laitance*). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah (Tjokrodinuljo, 1996).

2.3.5 Kaca

Limbah kaca merupakan limbah yang banyak dihasilkan dari kehidupan masyarakat terutama di kota besar. Limbah kaca setiap hari semakin meningkat volumenya karena banyak kegiatan manusia yang menghasilkan kaca, sebagian besar limbah kaca langsung dibuang ke lahan terbuka, hal ini tentu saja akan mencemari lingkungan mengingat kaca merupakan material yang tidak dapat didaur ulang secara alami oleh alam. Maka dari itu daur ulang sangatlah diperlukan mengingat banyaknya limbah kaca yang sangat meningkat.

Limbah kaca biasanya dipisahkan berdasarkan warna kaca, secara garis besar kaca dibagi menjadi tiga warna, yaitu:

1. Bening/tidak berwarna, biasanya digunakan sebagai alat dalam rumah tangga.
2. Hijau, yang pada umumnya digunakan sebagai botol minuman.
3. Coklat, biasanya digunakan sebagai botol minuman ringan (Suhartini, Gunarti, & Hasan, 2014).

Kaca merupakan salah satu produk industri kimia yang merupakan 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. Kaca adalah salah satu produk industri 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. Kaca merupakan hasil penguraian senyawa-senyawa organik yang mana telah mengalami pendinginan tanpa kristalisasi. Unsur pokok dari kaca adalah silika (Setiawan, 2006). Kaca memiliki sifat-sifat yang khas dibanding dengan golongan keramik lainnya. Sifat-sifat kaca ini terutama dipengaruhi oleh keunikan silika (SiO_2) dan proses pembentukannya.

Ada beberapa kandungan kaca berdasarkan jenis-jenis kaca, yaitu: *clear glass*, *amber glass*, *green glass*, *pyrex glass*, dan *fused silica* (Setiawan, 2006). Kandungan di dalam jenis-jenis tersebut akan tertera pada tabel 1. Serbuk kaca

dihasilkan dari botol kaca yang berasal dari limbah rumah tangga. Botol dipecah dan dihaluskan menggunakan martil. Ukuran butiran serbuk kaca yang digunakan adalah lolos saringan no 200. Karakteristik kaca diantaranya.

1. Kaca merupakan bahan yang tidak menyerap air atau *zero water absorption*.
2. Sifat kaca yang tidak menyerap air dapat mengisi rongga-rongga pada beton 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 (Simanullang & Butar, 2017).

Tabel 1. 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 ₂	73,2 – 73,5	71,0 – 72,4	71,27	81	99,87
Al ₂ O ₃	1,7 – 1,9	1,7 – 1,8	2,22	2	-
Na ₂ O+K ₂ O	13,6 – 14,1	13,8 – 14,4	13,06	4	-
CaO+MgO	10,7 – 10,8	11,6	12,17	-	-
SO ₃	0,2 – 0,24	0,12 – 0,14	0,052	-	-
Fe ₂ O ₃	0,04 – 0,05	0,3	0,599	3,72	-
Cr ₂ O ₃	-	0,01	0,43	12,0 – 13,0	-

Sumber: Setiawan (2006)

Unsur pokok dari kaca adalah silika (Setiawan, 2006). Ada beberapa kandungan kimia dalam kaca seperti Tabel 1. di bawah ini:

Tabel 2. Kandungan Serbuk Kaca

Unsur	Serbuk Kaca
SiO ₂	61.72 %
Al ₂ Al ₃	3.45 %

F_2F_3	0.18 %
Ca_o	2.59 %

Sumber: Setiawan (2006)

Kaca pada dasarnya terdiri dari silika. Penggunaan kaca limbah yang telah dihaluskan (*glass powder*) dalam beton sebagai pengganti sebagian dari semen dapat menjadi langkah penting menuju pengembangan sistem infastruktur yang berkelanjutan (ramah lingkungan, hemat energi, dan ekonomis). Penggunaan serbuk kaca merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton karena unsur kimia yang terkandung dalam serbuk kaca hampir sama dengan unsur kimia yang terkandung dalam semen.



Gambar 3. Serbuk Kaca

Serbuk kaca dapat digunakan sebagai bahan pengisi karena berpotensi sebagai bahan pozzolan. Partikel kaca yang dikemas dengan baik menjadi gel padat dan matang dan dapat membantu menjelaskan hasil peningkatan daya tahan dengan demikian dapat memastikan bahwa bubuk kaca limbah dapat berkontribusi lebih lanjut untuk keberlanjutan dalam konstruksi (Safarizki, 2020).

Berikut adalah tahapan pengolahan limbah kaca menjadi *glass powder* di pabrik pengolahan limbah yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai substitusi semen:

1. Pemisahan limbah kaca: Tahap ini dilakukan dengan memisahkan limbah kaca berdasarkan jenis limbahnya. Penelitian ini menggunakan limbah kaca cermin sebagai substitusi semen.



Gambar 4. Pemisahan Limbah Kaca

2. Pembersihan limbah kaca: Setelah limbah dipisahkan, langkah selanjutnya adalah membersihkan kaca dari kotoran dan bahan lain yang menempel pada permukaannya.
3. Penghalusan: Kaca yang sudah melalui proses pembersihan kemudian dihaluskan menjadi *glass powder* menggunakan mesin penggiling.



Gambar 5. Penghalusan Limbah Kaca

4. Penyaringan: Setelah dihaluskan, *glass powder* disaring menggunakan saringan no.200 sebagai substitusi semen.
5. Pengemasan: Setelah melalui tahapan pengolahan di atas, *glass powder* siap untuk dikemas dan dikirim.



Gambar 6. Pengemasan *Glass Powder*

2.4 Pengujian Karakteristik Beton

Beton adalah material utama dalam pembuatan bangunan. Beton terdiri dari pasta, agregat, dan admixture. Pengujian terhadap beton sangat diperlukan agar kita dapat mengetahui kualitas apakah telah sesuai dengan standar spesifikasi yang telah di tentukan.

Beton keras dapat dikategorikan berkualitas baik jika beton tersebut mempunyai sifat-sifat kuat, awet, kedap air dan memiliki kemungkinan perubahan terhadap dimensinya yang tergolong kecil. Pengujian sifat-sifat mekanis beton keras yang sering kali dilakukan ialah kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan modulus elastisitas beton.

2.4.1 Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan beton merupakan parameter utama yang harus diketahui dan dapat memberikan gambaran tentang hamper semua sifat-sifat mekanis yang lain dari beton tersebut. Hal ini dikarenakan karakteristik utama beton yaitu sangat kuat untuk menahan gaya tekan, tetapi sangat lemah jika menerima gaya tarik. Dalam pelaksanaannya di lapangan, faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah:

1. Nilai faktor air semen. Untuk memperoleh beton yang mudah dikerjakan, diperlukan faktor air semen minimal 0,35. Jika terlalu banyak air yang digunakan, maka akan berakibat terhadap kualitas beton yang menjadi buruk. Jika nilai faktor air semen lebih dari 0,60,

maka akan berakibat pada kualitas beton yang dihasilkan menjadi kurang baik.

2. Rasio agregat-semen. Pasta semen berfungsi sebagai perekat butir-butir agregat, sehingga semakin besar rasio agregat semen maka akan semakin buruk pula kualitas beton yang dihasilkan, karena kuantitas pasta semen yang menyelimuti agregat menjadi berkurang.
3. Derajat kepadatan. Apabila semakin baik cara melakukan pemadatan beton segar, maka akan semakin baik pula kualitas yang dihasilkan. Pemadatan yang dilakukan pada umumnya dengan melakukan tumbukan dengan membagi tiga lapisan ataupun dengan bantuan vibrator.
4. Umur beton. Semakin bertambah umur beton, semakin meningkat pula kekuatan tekan beton. Pada umumnya beton akan dianggap mencapai kekuatan tekan 100% pada umur 28 hari.
5. Cara perawatan. Untuk beton yang akan di rawat di laboratorium akan dilakukan cara perendaman. Sedangkan di lapangan, perawatan beton akan dilakukan dengan cara perawatan lembab (menutup beton dengan karung basah) selama 7-14 hari.
6. Jenis semen. Semen dengan tipe I akan cenderung bereaksi lebih cepat jika dibandingkan dengan semen PPC. Semen tipe I akan mencapai kekuatan 100% pada umur 28 hari, sedangkan untuk semen PPC akan diasumsikan mencapai kekuatan 100% pada umur 90 hari.
7. Jumlah semen. Semakin banyak jumlah semen yang digunakan, akan semakin baik kualitas beton yang dihasilkan, karena pasta semen yang akan berfungsi sebagai matriks pengikat.
8. Kualitas agregat yang meliputi gradasi, tekstur permukaan, bentuk, kekuatan, kekakuan, dan ukuran maksimum agregat. (Tjokrodimuljo, 1996)

Kekuatan tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Berdasarkan SNI 1974:2011, rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan tekan beton ialah:



Gambar 7. Ilustrasi Pengujian Kekuatan Tekan

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

Dimana:

$f'c$ = Kekuatan tekan beton (kg/cm^2)

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm^2)

Pada pengujian kekuatan tekan landasan tekan bagian atas harus merupakan landasan yang dapat berputar tidak melebihi nilai pada:

Tabel 3. Diameter Maksimum Permukaan Tekan

Diameter Benda Uji (mm)	Diameter Maksimum Permukaan Tekan (mm)
50	105
75	130
100	165
150	255
200	280

Sumber: SNI 03-1974-2011

2.4.2 Kekuatan Tarik Belah

Saat berbicara tentang pengujian kekuatan tarik, maka uji ini merupakan salah satu pengujian yang dilakukan pada material untuk mengetahui karakteristik

dan sifat mekanik dari material. Terutama pada kekuatan dan ketahanan terhadap beban tarik.



Gambar 8. Ilustrasi Pengujian Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik belah benda uji silinder ialah nilai kekuatan tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan berdasarkan SNI 2491:2014.

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan tarik beton ialah:

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

Dimana:

- f_{ct} = kekuatan tarik (MPa)
- P = beban uji maksimum (N)
- L = panjang benda uji (mm)
- D = diameter benda uji (mm)

Pada pengujian kekukatan tarik ini ada beberapa persyaratan berdasarkan SNI 2491:2014 yang harus di patuhi yaitu:

1. Mesin uji tekan. Mesin yang digunakan untuk pengujian kekuatan tarik belah beton harus memenuhi ketentuan yang berlaku pada pengujian untuk benda uji beton, selain itu juga harus memenuhi persyaratan kecepatan pembebanan yang diatur.
2. Plat atau batang penekan tambahan. Hal ini diperlukan jika diameter ataupun panjang terhadap benda uji lebih besar dibandingkan ukuran

permukaan tekan dari mesin uji yang digunakan. Untuk itu pelat atau batang penekan tambahan tersebut harus dipasangkan pada bagian bawah dan bagian atas dari mesin uji tekan dan harus pula terbuat dari pelat baja yang memiliki kerataan $\pm 0,025$ mm bila diukur terhadap setiap titik pada garis singgung bidang tekan. Pelat atau batang penekan tambahan tersebut harus berukuran minimal 50 mm dan tebalnya minimal sama dengan jarak antara tepi bidang tekan bagian bawah dari mesin uji sehingga ujung dari benda uji. Adapun pelat atau batang penekan tambahan tersebut harus digunakan sedemikian rupa hingga beban tekan diberikan pada seluruh panjang benda uji.

3. Bantalan bantu pembebanan. Untuk setiap benda uji harus disediakan dua buah bantalan bantu pembebanan yang terbuat dari kayu lapis tanpa cacat setebal 3 mm dengan lebar 25 mm dan sedikit lebih panjang dari panjang benda uji.
4. Benda uji. Untuk benda uji harus memenuhi persyaratan ukuran, pencetakan, dan perawatan. Benda uji yang dipelihara haruslah dalam kondisi yang lembab, pada tenggang waktu untuk menunggu pengujian harus tetap dalam kondisi yang lembab dengan cara perendaman maupun menyelimuti dengan kain atau karung basah dan harus segera di uji dalam keadaan yang lembab.

2.4.3 Modulus Elastisitas

Beton merupakan suatu bahan bangunan yang digunakan dalam membangun sebuah konstruksi seperti rumah, bangunan tinggi, dan jembatan. Setiap beton memiliki sifat elastis yang merupakan kemampuan untuk berdeformasi, sementara saat diberikan beban tanpa perubahan yang permanen. Sifat elastisitas pada suatu beton dapat dianalisis menggunakan parameter modulus elastisitas yang didefinisikan sebagai kemiringan kurva tegangan dan regangan pada wilayah deformasi elastis yang dapat diketahui ketika diberikan suatu beban (Purwanto & Ro'uf, 2018).

Modulus elastisitas beton adalah kemiringan kurva tegangan regangan beton pada kondisi linier ataupun mendekati linier. Berbeda halnya dengan baja,

modulus elastisitas beton adalah berubah ubah menurut dengan kekuatan. Untuk menghitung menghitung modulus elastisitas secara eksperimental berdasarkan ASTM C 469 yaitu:

$$E_c = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0,00050)} \quad (3)$$

Dimana:

E_c = Modulus elastisitas beton (Mpa)

S_1 = Tegangan pada regangan $S_1=0,00005$ (Mpa)

S_2 = 40% tegangan max (Mpa)

ε_2 = Regangan longitudinal pada saat tegangan S_2

Nilai modulus elastisitas dapat sejalan dengan nilai kekuatan tekan beton, maka dari itu jika kekuatan tekan beton tinggi maka modulus elastisitas yang dihasilkan juga menghasilkan nilai yang tinggi dan begitu pula sebaliknya. Maka dari itu modulus elastisitas (E_c) juga dapat dihitung secara analisis menggunakan rumus dari SNI 2847:2019 sebagai berikut:

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

Dimana:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = Berat volume beton (kg/m^3)

f'_c = Kekuatan tekan beton (MPa)