

SKRIPSI

KARAKTERISTIK BETON DENGAN VARIASI *GLASS POWDER* (LIMBAH BOHLAM) TANPA PERENDAMAN TERHADAP SUBSTITUSI SEMEN

Disusun dan diajukan oleh:

**NURHIKMA ARIS
D011 19 1110**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

KARAKTERISTIK BETON DENGAN VARIASI GLASS POWDER (LIMBAH BOHLAM) TANPA PERENDAMAN TERHADAP SUBSTITUSI SEMEN

Disusun dan diajukan oleh

Nurhikma Aris
D011 19 1110

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 dibawah ini ;

Nama : Nurhikma Aris
NIM : D011 19 1110
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Karakteristik Beton Dengan Variasi *Glass Powder* (Limbah Bohlam) Tanpa Perendaman Terhadap Substitusi Semen

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



Nurhikma Aris

ABSTRAK

NURHIKMA ARIS. KARAKTERISITIK BETON DENGAN VARIASI GLASS POWDER (LIMBAH BOHLAM) TANPA PERENDAMAN TERHADAP SUBSTITUSI SEMEN (dibimbing oleh Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST, MT dan Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng)

Beton adalah kombinasi berbagai bahan, agregat (halus dan kasar), semen & air. Masing-masing dicampur dalam jumlah yang berbeda guna mewujudkan kekuatan tertentu. Beton merupakan pilihan utama yang sangat banyak digunakan sebagai bahan dasar konstruksi bangunan sebab dianggap mempunyai keawetan serta kekuatan dalam pembangunan infrastruktur. Hal ini mengakibatkan permintaan akan beton juga hendak terus menjadi bertambah yang akan mengganggu keseimbangan lingkungan serta merusak sumber daya alam. Oleh karena itu, dicari solusi yang efisien untuk mereduksi dampak negatif dari penggunaan beton yang kelewatan. Salah satu solusinya adalah beton ramah lingkungan (*green concrete*). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik beton dengan variasi substitusi *glass powder* 15%, 20%, dan 25% sebagai pengganti semen dan pengaruh variasi *glass powder* sebagai substitusi semen terhadap karakteristik beton. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin. Dalam pengujian ini digunakan limbah kaca dari bohlam yang dihancurkan menjadi *glass powder* yang lolos saringan 200 mm. Pada benda uji tersebut dicetak menggunakan silinder dengan ukuran 100 x 200 mm yang telah di *curing* selama 28 hari. Pengujian menggunakan alat *Universal Testing Machine* kapasitas 100 kN dengan mutu rencana 20 MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai tertinggi didapatkan pada beton normal (variasi 0%) dengan kekuatan tekan sebesar 23.99 MPa, kekuatan tarik belah sebesar 1.51 MPa dan modulus elastisitas sebesar 23015.15 MPa. Pada beton variasi nilai tertinggi didapatkan pada beton substitusi semen terhadap *glass powder* variasi 20% dengan kekuatan tekan sebesar 17.93 MPa, kekuatan tarik belah sebesar 1.48 MPa, dan modulus elastisitas sebesar 19268.24 MPa.

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

ABSTRACT

NURHIKMA ARIS. *CHARACTERISTICS OF CONCRETE WITH VARIATIONS OF GLASS POWDER (BULB WASTE) WITHOUT SOAKING AGAINST CEMENT SUBSTITUTION* (supervised by Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST, MT and Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng)

Concrete is a combination of various materials, aggregate (fine and coarse), cement & water. Each is mixed in different amounts to create a certain strength. Concrete is the main choice that is very widely used as a basic material for building construction because it is considered to have durability and strength in infrastructure development. This results in the demand for concrete will also continue to increase which will disrupt the balance of the environment and damage natural resources. Therefore, an efficient solution is sought to reduce the negative impact of the use of overdue concrete. One solution is environmentally friendly concrete (green concrete). The purpose of this study is to determine the characteristics of concrete with variations in glass powder substitution of 15%, 20%, and 25% as a substitute for cement and the influence of *variations in glass powder* as cement substitution on concrete characteristics. This research was conducted at the Laboratory of Structures and Materials, Department of Civil Engineering, Hasanuddin University. In this test, glass waste from the bulb is crushed into glass powder that passes the 200 mm sieve. The specimen is printed using a cylinder with a size of 100 x 200 mm which has been curing for 28 days. Testing using *Universal Testing Machine* with a capacity of 100 kN with a plan quality of 20 MPa. The results of this study show that the highest value is obtained in normal concrete (0% variation) with compressive strength of 23.99 MPa, tensile strength of 1.51 MPa and modulus of elasticity of 23015.15 MPa. In concrete, the highest value variation is obtained in cement substitution concrete for *glass powder* variations of 20% with compressive strength of 17.93 MPa, tensile strength of 1.48 MPa, and modulus elasticity of 19268.24 MPa.

Keywords: Concrete, *Glass Powder*, Cement Substitution

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Beton	7
2.3 Material Penyusun Beton	10
2.3.1 Semen Portland	11
2.3.2 Agregat Kasar	12
2.3.3 Agregat Halus	13
2.3.4 Air	16
2.3.5 Kaca	17
2.4 Pengujian Karakteristik Beton	22
2.4.1 Kekuatan Tekan Beton	22
2.4.2 Kekuatan Tarik Belah Beton	24
2.4.3 Modulus Elastisitas	25
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	28
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data	29
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	29
3.4.1 Peralatan Penelitian	29
3.4.2 Material Penelitian	29
3.5. Persiapan Material	30
3.6. Pemeriksaan Karakteristik Material	30
3.6.1. Agregat Kasar	30
3.6.2. Agregat Halus	31
3.6.3. Glass Powder	31
3.7. Pemeriksaan Karakteristik <i>Glass Powder</i>	31
3.8. Pembuatan Benda Uji	32
3.9. Perawatan Benda Uji	35
3.10. Pengujian Kekuatan Tekan	35
3.11. Pengujian Kekuatan Tarik Belah	36

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Material.....	37
4.1.1 Agregat Kasar	37
4.1.2 Agregat Halus	38
4.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik <i>Glass Powder</i>	38
4.2.1 Berat Jenis <i>Glass Powder</i>	38
4.2.2 XRF (X-Ray Fluorescence) <i>Glass Powder</i>	38
4.3. Rancangan Campuran	39
4.4. Hasil Pengujian Karakteristik Benda Uji	40
4.4.1 Kekuatan Tekan Beton.....	40
4.4.2 Kekuatan Tarik Belah	45
4.4.3 Modulus Elastisitas	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
LAMPIRAN	52
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Limbah Kaca yang Digunakan.....	17
Gambar 2. Pengemasan <i>Glass Powder</i>	18
Gambar 3. Sketsa Pengujian Kekuatan Tekan Beton Silinder.....	24
Gambar 4. Sketsa Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton Silinder	25
Gambar 5. Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 6. Lokasi Penelitian.....	28
Gambar 7. Bahan Penelitian	30
Gambar 8. Persiapan <i>mould</i>	33
Gambar 9. Persiapan Material.....	33
Gambar 10. Proses Pencampuran <i>Glass Powder</i> Sebagai Substitusi Semen.....	33
Gambar 11. Proses Pengecoran.....	34
Gambar 12. Proses Pengujian Slump	34
Gambar 13. Proses <i>Curing</i> Benda Uji	35
Gambar 14. <i>Set-up</i> Alat Pengujian Kekuatan Tekan.....	36
Gambar 15. <i>Set-up</i> Alat Pengujian Kekuatan Tarik Belah	36
Gambar 16. Histogram Kekuatan Tekan Beton	42
Gambar 17. Grafik Beban-Displacement Variasi 0%	43
Gambar 18. Grafik Beban-Displacement Variasi 15%	43
Gambar 19. Grafik Beban-Displacement Variasi 20%	44
Gambar 20. Grafik Beban-Displacement Variasi 25%	44
Gambar 21. Histogram Kekuatan Tarik Belah Beton	46
Gambar 22. Perbandingan Modulus Elastisitas Limbah Bohlam	49

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Susunan Butiran Agregat Kasar	13
Tabel 2. Tabel Distribusi Butiran.....	14
Tabel 3. Kandungan Kimia Serbuk Kaca	21
Tabel 4. Pemeriksaan Karakteristik Pasir.....	31
Tabel 5. Pemeriksaan Karakteristik Kerikil	31
Tabel 6. Pemeriksaan Karakteristik Glass Powder	31
Tabel 7. Variasi Benda Uji	32
Tabel 8. Hasil Penguian Karakteristik Agregat Kasar	37
Tabel 9. Hasil Penguian Karakteristik Agregat Halus	38
Tabel 10. Hasil Pengujian Beras Jenis <i>Glass Powder</i>	38
Tabel 11. Hasil pengujian XRF	39
Tabel 12. Komposisi Mix Design Beton Normal dan Beton Variasi.....	40
Tabel 13. Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton.....	41
Tabel 14. Hasil Uji Kekuatan Tarik Belah Beton.....	45
Tabel 15. Nilai Modulus Elastisitas Beton Variasi 0%	47
Tabel 16. Nilai Modulus Elastisitas Beton Variasi 15%	47
Tabel 17. Nilai Modulus Elastisitas Beton Variasi 20%	48
Tabel 18. Nilai Modulus Elastisitas Beton Variasi 25%	48

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
MPa	<i>Megapascal</i>
UTM	<i>Universal Testing Mechine</i>
$f'c$	Kekuatan tekan
CO ₂	Karbon Dioksida
SiO ₂	Silikon dioksida
Na ₂ O	Natrium oksida
CaO	Kalsium oksida
Kg	Kilogram
cm	Sentimeter
WG	Limbah kaca
mm	Milimeter
SNI	Standar Nasional Indonesia
ASTM	<i>American Standart Testing and Material</i>
PCC	<i>Portland Composite Semen</i>
N	Newton
FAS	Faktor Air Semen
P	Beban benda uji
L	Panjang benda uji
D	Diameter benda uji
Ec	Modulus elastisitas beton
S1	Tegangan pada regangan S1
S2	40% tegangan max
ϵ_2	Regangan longitudinal pada saat tegangan S2
XRF	<i>X-Ray Flourensence</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Persiapan Glass Powder dan Agregat	52
Lampiran 2. Pengujian Berat Jenis Glass Powder	52
Lampiran 3. Proses Pengecoran.....	52
Lampiran 4. Pengujian Kekuatan Tekan.....	53
Lampiran 5. Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton	53
Lampiran 6. Garfik Hubungan Perpindahan Dan Beban Variasi 15%	54
Lampiran 7. Garfik Hubungan Perpindahan Dan Beban Variasi 20%	55
Lampiran 8. Garfik Hubungan Perpindahan Dan Beban Variasi 25%	56
Lampiran 9. Modulus Elastisitas Beton Normal	57
Lampiran 10. Modulus Elastisitas Variasi 15%	58
Lampiran 11. Modulus Elastisitas Variasi 20%	59
Lampiran 12. Modulus Elastisitas Variasi 25%	60

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim, Pertama dan yang paling utama, puji syukur yang tidak putus-putusnya saya panjatkan kehadirat Allah Subhanahuwata'ala yang telah melimpahkan segala rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga Tugas Akhir dengan judul “**KARAKTERISTIK BETON DENGAN VARIASI GLASS POWDER (LIMBAH BOHLAM) TANPA PERENDAMAN TERHADAP SUBSTITUSI SEMEN**” ini dapat saya selesaikan guna memenuhi salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi sarjana pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam melakukan penyusunan Tugas Akhir ini, saya menyadari bahwa terdapat banyak kendala dan hambatan yang dihadapi, namun saya mendapat banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan hati izinkan saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. M. Isran Ramli, ST., MT., IPM., ASEAN.Eng.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Dr. Eng. Bambang Bakri, ST., MT.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Bapak Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng.** selaku Kepala Laboratorium Riset Gempa dan Rekayasa Struktur sekaligus dosen pembimbing II.
5. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan sekaligus dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga pada penyusunan tugas akhir ini.
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 istimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, **Bapak Muh. Aris** dan **Ibu Nurdiati, S.Pd.** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan selama ini, baik spiritual, moral, dan materil selama saya menempuh pendidikan sarjana ini. Serta seluruh keluarga besar atas dorongan yang telah diberikan.
2. Begitu juga untuk adik tercinta saya **Mulia Yuliani Aris** yang telah memberi semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Anggota team kaca khususnya kepada kakak S2 yang telah banyak memberikan masukan serta berjuang bersama selama penelitian.
4. Seluruh teman-teman S1 Laboratoium Rekayasa Gempa, **Cindy Angelina Toly, Lanrianna Likulangi Toban Tambing, Lisa Bunga Pagalla, Rahma Mardiana, Riskiadin, Muhammad Didik Ramadhani, Ricky Tiranda**, dan

Rivaldo Dwi Putra yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

5. Sahabat-sahabat tercinta **Nur Ainun Mawaddah, Nur Afifah Tri Ramdhani,** dan **Andi Khaerunnisa** yang telah menjadi teman yang baik dan atas segala bantuan yang telah diberikan serta memotivasi saya dari awal kuliah hingga terselesainya tugas akhir ini.
6. Saudara-saudara **PORTLAND 2019** yang telah memberikan banyak cerita, kenangan, waktu, semangat dan dukungan yang tiada henti, semoga tetap solid, terima kasih telah banyak memberi dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaruan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, Mei 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah kombinasi berbagai bahan, agregat (halus dan kasar), semen & air. Masing- masing dicampur dalam jumlah yang berbeda guna mewujudkan kekuatan tertentu. Beton merupakan pilihan utama yang sangat banyak digunakan sebagai bahan dasar konstruksi bangunan sebab dianggap mempunyai keawetan serta kekuatan dalam pembangunan infrastruktur Hal ini mengakibatkan permintaan akan beton juga hendak terus menjadi bertambah yang akan mengganggu keseimbangan lingkungan serta merusak sumber daya alam. Oleh karena itu, dicari solusi yang efisien untuk mereduksi dampak negatif dari penggunaan beton yang kelewatan. Salah satu solusinya adalah beton ramah lingkungan (green concrete). Beton ramah lingkungan memakai lebih sedikit energi dalam produksinya dan menghasilkan lebih sedikit CO₂ daripada beton normal sehingga dapat menunjang pembangunan berkelanjutan. Oleh karena itu, ciri dari beton ramah lingkungan adalah pemanfaatan bahan yang bisa didaur ulang ataupun pemanfaatan limbah sisa industri sebagai bahan pembuatan beton. Beberapa penelitian terdahulu telah melakukan eksperimen yang menggantikan bahan penyusun beton dengan material substitusi tertentu yang terbukti mampu memperbaiki kinerja beton (Karwur et al., 2013). Salah satu material substitusi yang telah banyak dicobakan dalam pembuatan beton sebagai solusi pemanfaatan limbah dengan penggunaan kembali (re-use) yaitu serbuk kaca (*glass powder*) (Herbudiman & Januar, 2011)

Limbah kaca dapat membahayakan lingkungan karena limbah tersebut biasanya dibuang ke tanah ataupun sungai dalam kuantitas yang besar. Fenomena ini menjadi urgensi dalam mencari alternatif solusi pemanfaatan limbah ini agar tidak mencemari lingkungan. Limbah kaca selama ini dikenal sebagai hal yang beresiko karena tajam dan cenderung runcing sehingga ditakutkan membuat terluka. Limbah kaca juga merupakan jenis limbah padat yang tidak bisa terurai oleh alam. Penggunaan kaca sendiri yang sangat banyak diberbagai keperluan manusia menuntut produksi bahan ini dalam jumlah yang sangat besar. Jumlah produksi

yang besar tersebut menimbulkan dampak pada lingkungan sebab kaca tidak bersifat korosif. Kaca-kaca bekas yang sudah tidak terpakai lagi merupakan limbah yang tidak akan terurai secara alami oleh zat organik, dengan demikian diperlukan berbagai penanganan alternatif untuk menjadikan limbah kaca dalam pemanfaatan bahan campuran penyusun beton.

Pemanfaatan limbah serbuk kaca sebagai material pembuatan beton dapat menjadi solusi yang tepat mengingat serbuk kaca mengandung unsur kimia yang ada pada kaca sebagian diantaranya sama seperti yang ada pada semen, sehingga apabila kaca dihancurkan menjadi serbuk berkemungkinan berfungsi sebagai filler karena persentase kandungan silika (SiO_2), Na_2O dan CaO pada kaca yang cukup besar yaitu lebih dari 70%. (R. Tenda, 2013). Karakteristik butiran *glass powder* yang sangat kecil menjadi potensi untuk *glass powder* dalam mengisi lubang pori pada beton yang diharapkan mampu meningkatkan kekuatan tekan pada beton.

. *Glass powder* memiliki keunggulan dibanding bahan lainnya yaitu: mempunyai sifat tidak menyerap air (zero water absorption), kekerasan dari gelas menjadikan beton tahan terhadap abrasi yang hanya dapat dicapai oleh sedikit agregat alami, *glass powder* memperbaiki kandungan dari beton segar sehingga kekuatan yang tinggi dapat dicapai tanpa penggunaan superplasticizer, dan *glass powder* mempunyai sifat pozzoland sehingga dapat berfungsi sebagai pengganti semen dan filler. Penggunaan kembali limbah kaca sebagai pengganti pengikat dalam sistem semen Portland telah dipelajari secara luas, karena butiran halus kaca yang diperkaya silika amorf dapat menunjukkan karakteristik pozzolan yang serupa dengan bahan semen pelengkap umum lainnya (SCM) seperti abu terbang, terak, metakaolin, dan asap silika. Bahan-bahan tersebut terkenal dapat memodifikasi kinerja makro beton dan mengurangi konsumsi semen. (Yuliang Yuan, 2020).

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis melakukan penelitian dengan judul **“KARAKTERISTIK BETON DENGAN VARIASI GLASS POWDER (LIMBAH BOHLAM) TANPA RENDAMAN TERHADAP SUBSTITUSI SEMEN”**.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana kekuatan tekan beton terhadap variasi *glass powder* pada persentase 0%, 15%, 20%, dan 25% sebagai substitusi semen?
2. Bagaimana pengaruh variasi *glass powder* sebagai substitusi semen terhadap kekuatan tarik beton?
3. Bagaimana modulus elastisitas beton terhadap variasi *glass powder* sebagai substitusi semen?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis kekuatan tekan beton terhadap variasi *glass powder* pada persentase 0%, 15%, 20%, dan 25% sebagai substitusi semen.
2. Menganalisis pengaruh variasi *glass powder* sebagai substitusi semen terhadap kekuatan tarik beton.
3. Menganalisis modulus elastisitas beton terhadap variasi *glass powder* sebagai substitusi semen?

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi tentang pemanfaatan/penggunaan *glass powder* sebagai substitusi semen dalam pembuatan beton.
2. Mengurangi dampak buruk limbah serbuk kaca terhadap lingkungan.
3. Dapat memanfaatkan limbah-limbah yang tidak termanfaatkan dengan baik terutama pemanfaatan limbah kaca sehingga dapat memberi nilai tambah tersendiri.

1.5 Ruang Lingkup

Mengingat luasnya cakupan permasalahan penelitian ini, maka perlu dilakukan pembatasan agar fokus pada penyelesaian yang akan dibahas dalam penelitian ini :

1. Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil berdasarkan standar pengujian yang berlaku.
2. Limbah kaca yang digunakan adalah limbah kaca Bohlam.
3. *Glass powder* yang digunakan terbuat dari limbah pecahan kaca yang sudah di haluskan menjadi serbuk kaca yang lolos saringan No. 200.
4. Penelitian menggunakan benda uji yang berupa silinder dengan ukuran 100 x 200 mm.
5. Pengujian beton dilakukan pada umur 28 hari.
6. Semen yang digunakan adalah semen Portland Bosowa
7. Penelitian ini menggunakan *glass powder* dengan variasi 0%, 15%, 20%, dan 25% sebagai substitusi semen.
8. Kekuatan tekan rencana adalah 20 MPa.
9. Agregat halus yang digunakan yaitu pasir Jeneberang, Gowa.
10. Benda uji diberi beban aksial dengan beban merata seukuran penampang silinder menggunakan alat uji Universal Testing Machine (UTM) dengan kapasitas 1000 kN.
11. Pembebanan dilakukan hingga benda uji mengalami hancur pada beban maksimum.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

R. Rajendran, et al., (2021) melakukan penelitian mengenai “*An Experiment on Concrete Replacing Binding Material as Waste Glass Powder*” dengan kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan serbuk kaca hingga penggantian semen 20% memberikan kekuatan tekan, kekuatan tarik dan kekuatan lentur yang besar. Setelah mencapai 20% penggantian kaca, kekuatannya akan menurun. Menambahkan kaca lebih dari 20% menurunkan workability dan kekuatan beton.
2. Kekuatan tekan maksimum pada persentase optimum adalah 28,22 N/mm², Tegangan tarik adalah 2,44 N/mm² dan kekuatan lentur adalah 3,23 N/mm².

GM Sadiqul Islam (2016) meneliti tentang “*Waste Glass Powder as Partial Replacement of Cement for Sustainable Concrete Practice*” dengan hasil sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan variasi limbah kaca 0%, 10%, 15%, 20% dan 25% sebagai substitusi semen yang dilakukan pada beton setelah umur 7, 14, 28 dan 56 hari.
2. Pada tahap penggantian semen 10%, 15% dan 25% ini memberikan kekuatan tekan yang lebih tinggi daripada beton kontrol sedangkan kekuatan tekan dengan penggantian semen 20% ditemukan paling besar dimana kekuatan tekannya 2% lebih tinggi dari beton normal.

Shanmuguanathan, et al., (2017) meneliti tentang “*Study and Experimental Investigation of Partial Replacement of Waste Glass Powder as Cement In Concrete*” dengan hasil sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini serbuk kaca yang digunakan sebagai penggantian sebagian material semen pada beton sebesar 0%, 10%, 15%, 20%.
2. Hasil pengujian kekuatan tekan diperoleh nilai tertinggi pada umur beton 7 hari terdapat pada beton dengan persentase substitusi 0% sebesar 3.05 N/mm². Namun pada umur 14 dan 28 hari nilai kekuatan tekan tertinggi terdapat pada

beton dengan persentase 20% dengan nilai secara berturut-turut sebesar 4.52 N/mm² dan 6.81 N/mm².

Hossam A.Elaqra (2019) melakukan penelitian mengenai “*Effect of New Mixing Method of Glass Powder as Cement Replacement on Mechanical Behavior of Concrete*” dengan kesimpulan sebagai berikut :

1. Kemerossotan meningkat karena penggantian serbuk kaca meningkat pada beton karena adanya lebih banyak air bebas dalam struktur, yang menyebabkan kepadatan lebih rendah dan penyerapan air lebih tinggi. Akibatnya, kekuatan tekan metode campuran konvensional menurun seiring bertambahnya serbuk kaca pada usia dini. Kekuatan tekan tertinggi diperoleh untuk 20% *glass powder* (GP).
2. Metode pencampuran baru menunjukkan kekuatan tekan yang lebih tinggi daripada metode pencampuran konvensional. Menggunakan 10% GP dalam metode pencampuran baru memberikan peningkatan yang signifikan, sekitar 130% dari kekuatan tekan campuran kontrol. Peningkatan ini dapat dikaitkan dengan hidrolisis serbuk kaca menjadi ion bebas SiO₂, CaO dan Na₂O dalam air yang membentuk lebih banyak CSH. Indeks relatif membuktikan peningkatan reaktivitas serbuk kaca dengan meningkatnya jumlah serbuk kaca.

Indah Handayasari (2016) melakukan penelitian dengan judul “**STUDI PENGGUNAAN LIMBAH SERBUK KACA SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN PADA PEMBUATAN BATA BETON PEJAL.**”

Adapun hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil uji kekuatan tekan dari variasi perbandingan serbuk kaca 0% diperoleh kekuatan tekan 67,29 Kg/cm², variasi serbuk kaca 20% diperoleh kekuatan tekan 66,25 Kg/cm² serta serbuk kaca 30% dengan nilai kekuatan tekan 64,17 Kg/cm² terhadap semen termasuk dalam tingkat mutu III.
2. Nilai kekuatan tekan optimum terdapat pada variasi perbandingan serbuk kaca 10% terhadap semen yang diperoleh nilai kekuatan tekan sebesar 73,33 Kg/cm² yang termasuk kedalam tingkat mutu II. Hal ini menunjukkan serbuk kaca dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada pembuatan bata beton

pejal sehingga dapat dijadikan sebagai alternatif bahan konstruksi yang ramah lingkungan.

J Andilolo (2019) melakukan penelitian dengan judul “**Karakterisasi Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Sifat Fisis-Mekanis Campuran Beton**” dengan hasil berikut :

1. Penelitian ini menggunakan variasi komposisi serbuk kaca 0%, 10%, 15% dan 20%. Limbah kaca dari berbagai jenis botol minuman bekas dihancurkan untuk mendapatkan serbuk kaca yang ukuran butirannya halus. Benda uji dibuat berbentuk kubus. Pengujian sifat fisis-mekanis benda uji dilakukan setelah masa perawatan 7 hari, 14 hari dan 28 hari, dengan benda uji harus dalam keadaan kering.
2. Hasil pengujian kekuatan tekan campuran beton pada umur 28 hari diperoleh nilai kekuatan tekan beton normal sebesar 175.2 kg/cm², penambahan serbuk kaca sebesar 10% adalah 147.2 kg/cm², penambahan serbuk sebesar 15% adalah 116.3 kg/cm², dan penambahan serbuk sebesar 20% adalah 108.7 kg/cm². Nilai kekuatan tekan maksimum terdapat pada beton normal.

Jawad Ahmad (2022) melakukan penelitian mengenai “**Karakteristik Beton Lestari dengan Substitusi Sebagian Limbah Kaca sebagai Bahan Pengikat**” dengan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada kekuatan 7 hari (tekanan, lentur, tarik belah dan kekuatan tarik) berkurang dengan penggabungan limbah kaca. Hal ini disebabkan aktivitas pozolanik limbah kaca. Namun, seiring bertambahnya hari perawatan (28 dan 56 hari), kekuatan beton meningkat hingga 20% penggantian semen oleh WG dan kemudian menurun.
2. Pada dosis yang lebih tinggi (pada substitusi 30%), kekuatan (tekan, lentur, tarik belah dan tarik keluar) berkurang karena efek pengenceran yang menyebabkan reaksi alkali.

2.2 Beton

Beton merupakan ikatan dari material pembentuk, yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus), semen dan air. Bahan air dan semen

disatukan akan membentuk pasta semen, dan berfungsi sebagai bahan pengikat, sedangkan agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan pengisi. Agregat halus berfungsi sebagai pengisi rongga antara agregat kasar. Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi namun kekuatan tarik yang lemah. Untuk kekuatan tekan, di Indonesia sering digunakan satuan kg/cm^2 dengan simbol K_{ub} untuk benda uji kubus dan f_c untuk benda uji silinder.

Beton segar merupakan beton yang masih dalam kondisi cair setelah pengecoran berakhir. Sifat-sifat dari beton segar antara lain:

- a. Mudah dalam proses pencampuran dan pengadukan (mixing)
- b. Mudah dalam proses pengangkutan (handling)
- c. Mudah dalam hal pengecoran (pouring) dan penempatan (placed)
- d. Mudah untuk mencapai kepadatan yang cukup dan tidak berpori.

Dalam pengerjaan beton segar, tiga sifat penting yang harus selalu diperhatikan adalah *Workability* (kemudahan pengerjaan), segregasi (pemisahan kerikil) dan bleeding (naiknya air ke permukaan).

1. *Workability* (Kemudahan Pengerjaan)

Workability adalah sifat atau perihalan mudah/tidaknya beton segar dikerjakan, diangkut, homogenitas, stabil, sifat pemadatan serta memperkecil pori udara beton. Untuk mengukur *workability* maka digunakan istilah slump sebagai tolak ukur, dengan alat untuk mengukur slump disebut Slump Test. Unsur-unsur yang memengaruhi *workability* antara lain:

- ✓ Jumlah air pencampur. Semakin banyak air pencampur semakin mudah pengerjaan beton.
- ✓ Kandungan semen. Jika faktor air semen (FAS) tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga sifat plastisnya menjadi lebih tinggi.
- ✓ Gradasi campuran pasir-kerikil. Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mempermudah pengerjaan.
- ✓ Bentuk butiran agregat kasar. Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah dikerjakan.
- ✓ Butiran maksimum
- ✓ Cara pemadatan dan alat pemadatan

2. Segregasi (Pemisahan Kerikil)

Segregasi merupakan pemisahan unsur-unsur pokok dari campuran heterogen sehingga distribusi atau proses penyebarannya tidak lagi merata. Pada adukan beton perbedaan dalam ukuran partikel-partikel dan berat jenis masing-masing campuran merupakan penyebab utama segregasi, tapi hal ini dapat diantisipasi dengan pemilihan gradasi yang sesuai dan pengerjaan yang baik.

Ada dua bentuk segregasi, yang pertama terjadi jika partikel-partikel yang lebih besar cenderung bergerak lebih jauh sepanjang kemiringan atau turn lebih dalam dibanding partikel-partikel yang lebih halus. Bentuk segregasi yang kedua terjadi pada campuran-campuran yang basah (mengandung air yang banyak) dan dipengaruhi oleh pemisahan mortar dari campuran. Segregasi dapat disebabkan oleh beberapa hal:

- ✓ Campuran kurus atau kurang semen
- ✓ Terlalu banyak air
- ✓ Besar ukuran agregat maksimum lebih besar dari 40 mm
- ✓ Permukaan butir agregat kasar. Semakin kasar permukaan agregat semakin mudah terjadi segregasi.

3. Bleeding (Naiknya Air ke Permukaan)

Kecenderungan air untuk naik ke permukaan beton yang baru dipadatkan disebut *bleeding*. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput. Hal ini disebabkan karena ketidakmampuan unsur-unsur padat campuran untuk menahan seluruh air campuran pada saat unsur-unsur tersebut turn ke bawah. Berdasarkan jumlahnya, *bleeding* dapat dinyatakan sebagai penurunan total tertinggi satuan beton.

Bleeding dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut:

- ✓ Susunan butir agregat. Jika komposisinya sesuai, kemungkinan untuk terjadinya *bleeding* kecil.
- ✓ Banyaknya air. Semakin banyak air berarti semakin besar pula kemungkinan terjadinya *bleeding*
- ✓ Kecepatan hidrasi. Semakin cepat beton mengeras, semakin kecil kemungkinan terjadinya *bleeding*

- ✓ Proses pemadatan. Pemadatan yang berlebihan bukan penyebab terjadinya *bleeding*.

Bleeding ini dapat dikurangi dengan cara :

- ✓ Memberi lebih banyak semen
- ✓ Menggunakan air paling minimum
- ✓ Menggunakan agregat dengan butiran halus lebih banyak
- ✓ Memasukkan sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus

Sebagai bahan konstruksi, beton mempunyai kelebihan dan kekurangannya dibandingkan dengan bahan lainnya. Kelebihan beton menurut Kardiyono Tjokrodinuljo (1995) adalah sebagai berikut:

- 1) Harganya relatif murah karena bahan bahannya dari bahan lokal.
- 2) Kekuatan Tekan tinggi
- 3) Beton segar mudah diangkat maupun dicetak dalam bentuk yang bervariasi
- 4) Di kombinasikan dengan tulangan baja dapat menahan gaya Tarik
- 5) Beton segar dapat disemprotkan kepermukaan beton lama.
- 6) Beton segar dapat dipompa sehingga memungkinkan untuk dituangkan pada tempat yang sulit dijangkau.
- 7) Tahan aus dan kebakaran sehingga perawatan mudah.

Adapun kekurangan dari beton antara lain:

- 1) Mempunyai kekuatan lentur yang rendah sehingga mudah retak
- 2) Beton segar mengerut saat pengeringan dan beton keras mengembang saat basah.
- 3) Beton keras mengembang karena pengaruh suhu.
- 4) Beton sulit untuk kedap air secara sempurna

2.3 Material Penyusun Beton

Bahan penyusun beton meliputi air, semen portland, agregat kasar dan halus serta bahan tambah, dimana setiap bahan penyusun memiliki kegunaan serta pengaruh yang berbeda-beda.

2.3.1 Semen Portland

Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional nomor 2049:2015, Semen portland adalah hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (clinker) Portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama - sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Fungsi utama semen adalah untuk merekatkan butiran-butiran agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat. Walaupun semen hanya mengisi 10% saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan yang aktif maka perlu dipelajari maupun dikontrol secara ilmiah (Tjokrodimuljo,1996).

Semen yang digunakan untuk bahan beton pada penelitian ini adalah semen Portland, berupa semen hidrolik yang berfungsi sebagai bahan perekat bahan susun beton. Dengan jenis semen tersebut diperlukan air guna berlangsungnya reaksi kimiawi pada proses hidrasi. Pada proses hidrasi semen mengeras dan mengikat bahan susun beton membentuk masa padat.

Sifat-sifat semen portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sifat fisika dan sifat kimia.

1. Sifat-sifat fisika semen portland meliputi kehalusan butir (fineses), kepadatan (density), konsistensi, waktu pengikatan, panas hidrasi dan perubahan volume (kekalan).
2. Sifat-sifat kimia meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut dan panas hidrasi semen.

Adapun jenis-jenis semen Portland berdasarkan SNI 2049:2015 adalah :

1. Jenis I, 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 semen 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.

2.3.2 Agregat Kasar

Menurut SNI-03-2847-2012 agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. agregat kasar dapat dibedakan menjadi dua yaitu agregat kasar tak dipecahkan dan agregat kasar dipecahkan, Agregat kasar tak dipecahkan merupakan agregat alami berupa batu kerikil alami yang banyak ditemukan di daerah pegunungan, endapan aliran sungai dan juga pesisir pantai. Bentuk agregat kasar ini dipengaruhi oleh proses geologi batuan. Agregat kasar dipecahkan artinya agregat yang diperoleh dengan cara menggunakan mesin pemecah batu (*stone crusher*) melalui hasil residu terak tanur tinggi, pecahan beton, extended shale, expanded slag, dan lain sebagainya.

Agregat kasar mempunyai pengaruh yang besar terhadap kekuatan serta sifat-sifat struktural beton. Akibatnya, agregat kasar yang digunakan sebaiknya memiliki butiran yang cukup keras, bebas dari retakan ataupun bidang-bidang yang lemah, bersih serta permukaannya tidak tertutupi oleh lapisan. Tidak hanya itu, sifat-sifat agregat kasar juga mempengaruhi lekatan antara agregat-mortar dan kebutuhan air pencampur.

Yang dimaksud dengan agregat kasar adalah agregat yang berukuran lebih besar dari 5 mm, sifat yang paling penting dari suatu agregat kasar adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia. Serta ketahanan terhadap penyusutan.

Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan (PBI 1971, NI-2) sebagai berikut :

1. Susunan butiran (gradasi)

Agregat harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri dari butiran yang beragam besarnya, sehingga dapat mengisi rongga-rongga akibat ukuran yang besar, sehingga akan mengurangi penggunaan semen atau penggunaan

semen yang minimal. Agregat kasar harus mempunyai susunan butiran dalam batas-batas seperti yang terlihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Susunan Butiran Agregat Kasar

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	38-4,76	19,0-4,76	9,6-4,76
38,1	95-100	100	
19,0	37-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

Sumber : SNI 03-2834 : 2000

2. Agregat kasar yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang akan berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton.
3. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori atau tidak akan pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan.
4. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no.200), tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat harus dicuci.
5. Kekerasan butiran agregat kasar jika diperiksa dengan mesin Los Angeles dimana tingkat kehilangan berat lebih kecil dari 50%.

2.3.3 Agregat Halus

Menurut SNI-03-2847-2012 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu (stone crusher) dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Pasir umumnya terdapat disungai-sungai yang besar. Akan tetapi sebaiknya pasir yang digunakan untuk bahan-bahan bangunan dipilih yang memenuhi syarat. Syarat-syarat untuk pasir adalah sebagai berikut :

- a. Butir-butir pasir harus berukuran antara (0, 15 mm dan 5 mm).

- b. Harus keras, berbentuk tajam, dan tidak mudah hancur dengan pengaruh perubahan cuaca atau iklim.
- c. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (persentase berat dalam keadaan kering).
- d. Bila mengandung lumpur lebih dari 5% maka pasirnya harus dicuci.
- e. Tidak boleh mengandung bahan organik, garam, minyak, dan sebagainya.

Agregat halus yang akan digunakan harus memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh ASTM. Jika seluruh spesifikasi yang ada telah terpenuhi maka barulah dapat dikatakan agregat tersebut bermutu baik. Adapun spesifikasi tersebut adalah :

1. Susunan Butiran (Gradasi)

Analisa saringan akan memperlihatkan jenis dari agregat halus tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh angka Fine Modulus. Melalui Fine Modulus ini dapat digolongkan 3 jenis pasir, yaitu:

- Pasir Kasar : $<FM < 3.2$
- Pasir Sedang : $2.6 < FM < 2.9$
- Pasir Halus : $2.2 < FM < 2.6$

SNI 03-2834-2000 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus menjadi empat zona, yaitu: zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus) dan zona VI (halus) sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Tabel Distribusi Butiran

No. saringan	Lubang ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
		Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
3/8"	10	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 : SNI 03-2834 : 2000

2. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no.200), tidak boleh melebihi 5% (terdapat berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat harus dicuci.
3. Agregat halus harus bebas dari pengotoran zat organik yang akan merugikan beton, atau kadar organik jika diuji di laboratorium tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari standart percobaan Abrams - Harder.
4. Agregat halus yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaian yang berlebihan di dalam mortar atau beton dengan semen kadar alkalinnya tidak lebih dari 0,60% atau dengan penambahan yang bahannya dapat mencegah pemualan.
5. Sifat kekal (keawetan) diuji dengan larutan garam sulfat :
 - Jika dipakai Natrium - Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
 - Jika dipakai Magnesium - Sulfat, bagian yang hancur maksimum 15%.

Pemakaian agregat halus yang terlalu sedikit akan mengakibatkan :

1. Terjadi segregasi, karena agregat kasar dengan mudah saling memisahkan diri akibat mortar yang tidak dapat mengisi rongga-rongga antara butiran agregat kasar dengan baik.
2. Campuran akan kekurangan pasir, yang disebut *under sanded*.
3. Adukan beton akan menjadi sulit untuk dikerjakan sehingga dapat menimbulkan sarang kerikil.
4. *Finishing* akan menghasilkan beton dengan permukaan kasar.
5. Beton yang dihasilkan menjadi tidak awet.
6. Jika pemakaian agregat halus terlalu banyak maka akan mengakibatkan :
 - a. Campuran menjadi tidak ekonomis.
 - b. Diperlukan banyak semen untuk mencapai kekuatan yang sama dihasilkan oleh campuran dengan perbandingan optimum antara agregat halus dan agregat kasar.
 - c. Campuran akan kelebihan pasir, yang disebut *over sanded*.
 - d. Beton yang dihasilkan menunjukkan gejala rangkai dan susut yang lebih besar.

2.3.4 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan sebagai pelumas campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan dapat mengubah sifat-sifat semen. Air yang dimaksud disini adalah air yang digunakan sebagai campuran bahan beton, harus berupa air bersih dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat menurunkan kualitas beton.

Menurut PBI 1971, persyaratan dari air yang digunakan sebagai campuran bahan bangunan adalah sebagai berikut :

- 1) Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam-garam, bahan-bahan organik atau bahan lain yang dapat merusak daripada beton.
- 2) Apabila dipandang perlu maka contoh air dapat dibawa ke Laboratorium Penyelidikan Bahan untuk mendapatkan pengujian sebagaimana yang dipersyaratkan.
- 3) Jumlah air yang digunakan adukan beton dapat ditentukan dengan ukuran berat dan harus dilakukan setepat-tepatnya.

Air yang digunakan untuk proses pembuatan beton yang paling baik adalah air bersih yang memenuhi persyaratan air minum. Air yang digunakan dalam proses pembuatan beton jika terlalu sedikit maka akan menyebabkan beton akan sulit untuk dikerjakan, tetapi jika kadar air yang digunakan terlalu banyak maka kekuatan beton akan berkurang dan terjadi penyusutan setelah beton mengeras.

Untuk memperoleh kepadatan beton dengan rasio air semen yang rendah sebaiknya menggunakan alat penggetar adukan (*vibrator*). Menjaga kelembaban dan panas agar dapat konstan sewaktu proses hidrasi berlangsung, misalnya dengan menutupi permukaan dengan karung basah.

2.3.5 Kaca

Kaca merupakan salah satu produk industri kimia yang merupakan gabungan beberapa oksida anorganik yang memiliki tingkat penguapan rendah, yang diproduksi dari penguraian dan pencairan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir dan berbagai bahan lainnya. Dari sudut pandang fisika, kaca adalah cairan yang sangat dingin. Kondisi demikian disebabkan oleh struktur partikel yang menyusunnya saling berjauhan seperti dalam zat cair, tetapi kaca itu sendiri adalah benda padat. Hal ini terjadi karena proses pendinginan yang sangat cepat, sehingga partikel silika tidak sempat mengatur dirinya sendiri secara teratur. Kaca merupakan hasil pengayaan senyawa organik yang telah mendingin tanpa mengkristal. Unsur utama kaca adalah silika. (Pasaribu, 2022)

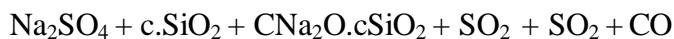
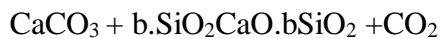


Gambar 1. Limbah Kaca yang Digunakan

Komponen utama dari kaca adalah silika. Dalam kehidupan sehari – hari kaca digunakan sebagai cermin, insulator panas, alat – alat laboratorium, dekorasi, dan pembatas ruang. Kaca merupakan bentuk lain dari gelas (Glass). Oksida – oksida yang digunakan untuk menyusun komposisi kaca dapat digolongkan menjadi :

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

Kaca memiliki ciri-ciri yang khas dibandingkan dengan kelompok keramik lainnya. Kekhususan ciri-ciri kaca ini utamanya disebabkan oleh uniknya silika (SiO_2) serta siklus terbentuknya. Reaksi-reaksi yang terjadi dalam pembentukan kaca secara singkat dapat dipahami sebagai berikut :



Proses pengolahan *glass powder*

1. Pada proses pengolahan kaca pada dasarnya dimulai dari tahap penyortiran dimana limbah kaca terlebih dahulu dikelompokkan berdasarkan warnanya dan jenisnya, tahap ini dilakukan karena bahan kimia yang ada pada kaca berbeda.
2. Setelah tahap penyortiran, tahap selanjutnya membersihkan kaca menggunakan air mengalir agar terbebas dari kotoran. Kandungan air bekas pencucian dapat mempersulit proses penggilingan kaca. Oleh karena itu, sebelum kaca dihaluskan, kaca dikeringkan terlebih dahulu di bawah sinar matahari.
3. Dalam proses daur ulang kaca dilakukan dengan penghancuran limbah kaca menjadi potongan-potongan kecil
4. Potongan-potongan kaca tersebut kemudian dihaluskan dengan menggunakan alat penggilingan kaca untuk menghasilkan serbuk kaca (*glass powder*).
5. Tahap berikutnya adalah proses penyaringan, limbah kaca yang telah dihaluskan menjadi *glass powder* di saring menggunakan ayakan No. 200 dengan tujuan agar partikel-partikel kaca yang digunakan memiliki ukuran yang sama.
6. Setelah tahap pengolahan, *glass powder* yang dihasilkan akan dikemas dan siap untuk di kirim.



Gambar 2. Pengemasan *Glass Powder*

Beberapa sifat-sifat kaca yaitu :

1. Sifat mekanik : Tension strength atau daya tarik adalah sifat mekanik utama dari kaca. Tensile strength merupakan tegangan maksimum yang dialami oleh

kaca sebelum terpisahnya kaca akibat adanya tarikan (fracture). Sumber fracture ini dapat muncul jika kaca mempunyai cacat di permukaan, sehingga tegangan akan terkonsentrasi pada cacat tersebut. Kekuatan dari kaca akan bertambah jika cacat di permukaan dapat dihilangkan.

2. Densitas dan Viskositas : Densitas adalah perbandingan antara massa suatu bahan dibagi dengan volumenya. Nilai densitas dari kaca adalah sekitar 2,49 g/cm³. Densitas dari kaca akan menurun seiring dengan kenaikan temperatur. Sedangkan, viskositas merupakan sifat kekentalan dari suatu cairan yang diukur pada rentang temperatur tertentu. Viskositas dari kaca sekitar $4,5 \times 10^7$ poise. Harga viskositas dari kaca merupakan fungsi dari suhu dengan kurva eksponensial.
3. Sifat termal : Konduktivitas panas dan panas ekspansi merupakan sifat thermal yang penting dari kaca. Kedua sifat ini digunakan untuk menghitung besarnya perpindahan panas yang diterima oleh cairan kaca tersebut. Nilai dari tahanan kaca sekitar $1020 - 1 \Omega \text{ cm}^3$.
4. Optical properties :
 - Refractive properties : Kaca mempunyai sifat memantulkan cahaya yang jatuh pada permukaan kaca tersebut. Sebagian sinar dari kaca yang jatuh itu akan diserap dan sisanya akan diteruskan. Apabila cahaya dari udara melewati medium padat seperti kaca, maka kecepatan cahaya saat melewati kaca menurun. Perbandingan antara kecepatan cahaya di udara dengan kecepatan cahaya yang lewat gelas ini disebut dengan indeks bias. Nilai indeks bias untuk kaca adalah $\pm 1,52$.
 - Absorptive properties : Intensitas cahaya yang masuk ke dalam akan berkurang karena adanya penyerapan sepanjang tebal kaca tersebut. Jika kaca semakin tebal, maka energi cahaya yang diserap akan semakin banyak sedangkan intensitas cahaya yang masuk melalui kaca akan semakin rendah.
5. Stabilitas kimia : Stabilitas kimia adalah ketahanan suatu bahan terhadap pengaruh zat kimia. Stabilitas kimia banyak dipengaruhi oleh bahan – bahan pembentuk kaca.

Bahan baku kaca yaitu :

1. Pasir silika : Pasir silika merupakan sumber dari SiO_2 . Pasir silika yang digunakan sebagai bahan baku kaca adalah pasir silika yang tidak banyak mengandung pengotor, baik dari bahan organik maupun bahan anorganik. Pasir silika berguna untuk membentuk cairan gelas yang sangat kental yang memiliki ketahanan terhadap perubahan temperatur yang mendadak.
2. Dolomite ($\text{CaO.MgO.H}_2\text{O}$) : Dolomite digunakan sebagai sumber CaO dan MgO . Dolomite ini biasanya berupa mineral tambang berwarna putih. Penggunaan dolomite sangat penting karena dapat mempermudah peleburan (menurunkan temperatur peleburan) serta mempercepat proses pendinginan kaca.
3. Soda Ash (Na_2CO_3) : Soda Ash ini digunakan sebagai sumber Na_2O dan K_2O . Fungsi dari Na_2O adalah menurunkan titik lebur. Secara umum, penggunaan Soda Ash adalah mempercepat pembakaran, menurunkan titik lebur, mempermudah pembersihan gelembung dan mengoksidasi besi.
4. Cullet : Cullet merupakan sisa – sisa dari pecahan kaca yang dapat digunakan sebagai salah satu bahan baku utama dari produksi kaca. Tujuan dari penggunaan cullet ini adalah mengurangi 3 bahan baku utama di atas sehingga biaya produksi dapat semakin kecil. Komposisi kimia dari cullet sama dengan komposisi kimia kaca yang diproduksi. Selain itu, penggunaan cullet ini dapat memperkecil melting point atau titik lebur dari pembuatan kaca, sehingga dapat menghemat penggunaan bahan bakar.

Adapun jenis – jenis kaca yaitu :

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

Kaca merupakan bahan padat yang bening, transparan (tembus cahaya), namun rapuh. Jenis yang paling banyak dipakai selama ratusan tahun adalah untuk jendela dan wadah minum. Kaca terdiri dari 75% silikon dioksida (SiO_2), ditambah Na_2O , CaO dan beberapa zat aditif.

Tabel 3. Kandungan Kimia Serbuk Kaca

Komposisi	Serbuk Kaca Bening (<i>Clear Glass Powder</i>)	Serbuk Kaca Warna (<i>Color Glass Powder</i>)	OPC
SiO_2	68.1	68.7	22.8
Al_2O_3	0.9	1.0	5.9
Fe_2O_3	0.6	0.9	3.5
CaO	14.5	12.0	63.0
MgO	1.8	1.8	1.5
K_2O	0.8	1.0	1.0
Na_2O	12.2	13.3	0.1
SO_3	0.4	0.1	2.0

Sumber : (GM Sadiqul Islam M. R., 2017)

Serbuk kaca mempunyai kelebihan dibandingkan dengan bahan pengisi pori yang lainnya, yaitu:

- Mempunyai sifat tidak menyerap air (zero water absorption),
- Kekerasan dari gelas menjadikan beton tahan terhadap abrasi yang hanya dapat dicapai oleh sedikit agregat alami,
- Bubuk kaca/serbuk kaca memperbaiki kandungan dari beton segar sehingga kekuatan yang tinggi dapat dicapai tanpa penggunaan superplasticizer,
- Bubuk kaca/serbuk kaca yang baik mempunyai sifat pozzoland sehingga dapat berfungsi sebagai pengganti semen dan filler.
- Kandungan dalam Kaca

2.4 Pengujian Karakteristik Beton

2.4.1 Kekuatan Tekan Beton

Kekuatan tekan beton merupakan salah satu kinerja utama yang dibutuhkan oleh beton. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Nilai kekuatan tekan beton dengan kekuatan tariknya tidak berbanding lurus.

Kekuatan tekan merupakan kemampuan beton dalam menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun terdapat tegangan tarik yang kecil dalam beton diasumsikan semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut.

Nilai kekuatan tekan beton didapat melalui pengujian standart menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan secara terus menerus pada benda uji silinder beton (diameter 100 mm dan tinggi 200 mm) hingga benda uji tersebut hancur. Pengujian dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Kekuatan tekan beton dihitung dengan rumus (SNI 03- 1974-2011)

Untuk menghitung kekuatan tekan beton dapat digunakan persamaan (1) sebagai berikut :

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

Dimana :

$f'c$ = Kekuatan tekan beton (N/mm^2)

P = Beban (N)

A = Luas penampang (mm^2)

Kekuatan tekan menjadi parameter untuk menentukan mutu dan kualitas beton yang ditentukan oleh agregat, perbandingan semen, dan perbandingan jumlah air. Pembuatan beton akan berhasil jika dalam pencapaian kekuatan tekan beton telah sesuai dengan yang telah direncanakan dalam mix design. Adapun hal-hal yang dapat mempengaruhi kekuatan tekan beton, antara lain :

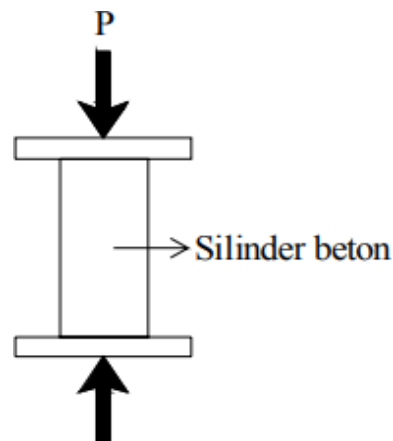
1. Faktor Air Semen (FAS), hubungan faktor air semen dan kekuatan tekan beton secara umum adalah semakin rendah faktor air semen, semakin tinggi kekuatan tekan betonnya. Namun kenyataannya, pada suatu nilai faktor air semen semakin rendah, maka beton semakin sulit dipadatkan. Dengan demikian, ada

suatu faktor air semen yang optimal dan menghasilkan kekuatan tekan yang maksimal.

2. Umur beton, kekuatan beton akan bertambah sesuai dengan umur beton tersebut. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton dipengaruhi oleh fas dan suhu perawatan. Semakin tinggi fas, maka semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya, dan semakin tinggi suhu perawatan maka semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya.
3. Jenis Semen, kualitas pada jenis-jenis semen memiliki laju kenaikan kekuatan yang berbeda.
4. Efisiensi dari perawatan (curing), kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila terjadi pengeringan terjadi sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan dilapangan dan pada pembuatan benda uji.
5. Sifat agregat, dalam hal ini kekerasan permukaan, gradasi, dan ukuran maksimum agregat berpengaruh terhadap kekuatan beton.

Faktor air semen sangat memengaruhi kekuatan tekan beton. Semakin kecil nilai w/c-nya maka jumlah air yang dibutuhkan sedikit dan akan menghasilkan kekuatan tekan beton yang besar. Sifat dan jenis agregat yang digunakan juga berpengaruh terhadap kekuatan tekan beton. Semakin tinggi tingkat kekerasan agregat yang digunakan akan menghasilkan kekuatan tekan beton yang tinggi. Selain itu susunan besar butir agregat yang baik dan tidak seragam dapat memungkinkan terjadinya interaksi antar butir sehingga rongga dalam kondisi optimum yang menghasilkan beton padat dan kekuatan tekan yang tinggi.

Jenis campuran beton akan memengaruhi kekuatan tekan beton. Jumlah pasta semen harus cukup untuk melumasi seluruh permukaan butiran agregat dan mengisi rongga-rongga antara agregat sehingga menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang diinginkan. Untuk memperoleh beton dengan kekuatan seperti yang diinginkan, maka beton yang masih muda perlu dilakukan perawatan dengan tujuan agar proses hidrasi pada semen bekerja dengan sempurna. Pada proses hidrasi semen dibutuhkan kondisi dengan kelembaban tertentu. Apabila beton terlalu cepat mengering, akan timbul retak-retak pada permukaannya. Retak-retak ini akan menyebabkan kekuatan beton menurun, juga akibat kegagalan mencapai reaksi hidrasi kimiawi penuh.



Gambar 3. Sketsa Pengujian Kekuatan Tekan Beton Silinder

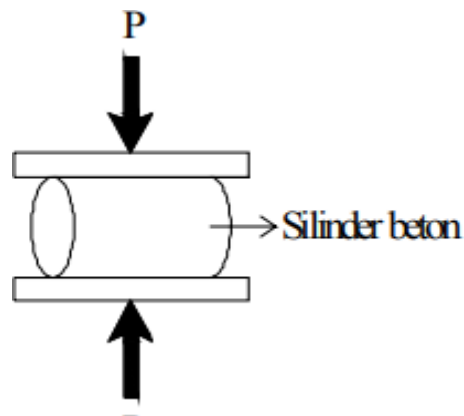
2.4.2 Kekuatan Tarik Belah Beton

Kekuatan tarik belah beton benda uji silinder beton 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. Kekuatan tarik belah seperti inilah yang diperoleh melalui metode pengujian kekuatan tarik belah dengan menggunakan alat Compression Testing Machine (CTM). Pengujian tersebut memakai benda uji silinder beton berdiameter 100 mm serta panjang 200 mm, diletakkan pada arah memanjang di atas perlengkapan pengujian setelah itu beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kekuatan tarik terlewatkan, benda uji terbelah jadi dua bagian dari ujung ke ujung. Kekuatan tarik dengan uji belah silinder dapat ditentukan dengan persamaan (2) sebagai berikut (SNI 03-2491-2002):

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

Dimana :

- f_{ct} = Kekuatan tarik belah beton (N/mm^2)
- P = Benda uji pada waktu belah/hancur (N)
- L = Panjang benda uji silinder (mm)
- D = diameter benda uji silinder (mm)



Gambar 4. Sketsa Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton Silinder

Alasan utama dari kekuatan tarik yang kecil bahwa pada kenyataannya beton dipenuhi retak-retak halus yang tidak dipengaruhi bila beton menerima beban tekan karena beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyaluran tekan, berbeda jika beton menerima beban tarik. Pengujian kekuatan tarik belah digunakan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton (SNI 03-2491-2014).

2.4.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada sebuah benda uji akibat diberi beban. Modulus elastisitas beton tidak pasti dan nilainya tergantung pada kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik serta perbandingan antara semen dan agregat.

Untuk menghitung rumus modulus elastisitas eksperimen (ASTM C 469-02), yaitu :

$$E_c = \frac{(S_2 - S_1)}{(s_2 - 0.000050)} \quad (3)$$

Dimana :

E_c = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

S_1 = Tegangan pada regangan $S_1 = 0.000050$ (MPa)

S_2 = 40 % tegangan max (MPa)

ϵ_2 = Regangan longitudinal pada saat tegangan S_2

Sedangkan secara teoritis, modulus elastisitas beton (E_c) dapat dihitung dengan rumus (SNI 03-2847-2019):

$$E_c = 0.043 \sqrt{f'_c} \times (W_c^{1.5}) \quad (4)$$

Dimana :

E_c = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

f'_c = Kekuatan tekan beton umur 28 hari (MPa)

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