

SKRIPSI

**STUDI KEKUATAN TEKAN BETON SUBSTITUSI SEMEN
DENGAN VARIASI LIMBAH *GLASS POWDER* (CERMIN)**

Disusun dan diajukan oleh:

**CINDY ANGELINE TOLY
D011 19 1028**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI KEKUATAN TEKAN BETON SUBSTITUSI SEMEN DENGAN VARIASI LIMBAH *GLASS POWDER* (CERMIN)

Disusun dan diajukan oleh

Cindy Angeline Toly
D011 19 1028

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 : Cindy Angeline Toly
NIM : D011 19 1028
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Kekuatan Tekan Beton Substitusi Semen dengan Variasi Limbah *Glass Powder* (Cermin)}

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



Cindy Angeline Toly

ABSTRAK

CINDY ANGELINE TOLY. STUDI KEKUATAN TEKAN BETON SUBSTITUSI SEMEN DENGAN VARIASI LIMBAH GLASS POWDER (CERMIN) (dibimbing oleh Dr.Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST, MT dan Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng)

Beton merupakan suatu elemen yang sangat penting dalam sebuah konstruksi karena pembuatannya yang mudah dan biaya relatif murah dibandingkan dengan bahan konstruksi lainnya. Keadaan tersebut yang menyebabkan permintaan akan beton semakin meningkat yang dapat mengganggu keseimbangan lingkungan. Oleh karena itu, dicari solusi yang dapat mengatasi hal tersebut yaitu dengan cara penggunaan beton ramah lingkungan (*green concrete*). Pemanfaatan limbah kaca sebagai salah satu material pembuat beton yang ramah lingkungan menjadi penting dalam membantu mereduksi jumlah limbah kaca. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah *glass powder* (cermin) dengan persentase substitusi 0%, 15%, 20% dan 25% sebagai pengganti sebagian semen terhadap kekuatan tekan beton, kekuatan tarik belah dan modulus elastisitas. Limbah kaca ini dihaluskan untuk mendapatkan *glass powder* yang ukuran butirannya lolos saringan no.200. Benda uji pada penelitian ini menggunakan silinder 100 × 200 mm kemudian dilakukan pengujian pada benda uji yang telah melalui proses *curing* selama 28 hari dengan kekuatan tekan rencana $f'c = 20$ MPa. Dari hasil penelitian diperoleh nilai tertinggi terdapat pada beton normal substitusi *glass powder* 0%, dengan kekuatan tekan sebesar 23,99 MPa, kekuatan tarik belah sebesar 1,51 MPa dan modulus elastisitas sebesar 23015,15 MPa. Namun untuk beton variasi nilai tertinggi diperoleh pada substitusi *glass powder* 20% dengan kekuatan tekan sebesar 15,48 MPa, kekuatan tarik belah sebesar 1,44 MPa dan modulus elastisitas sebesar 18492,49 MPa.

Kata Kunci: Beton, *Glass powder*, Substitusi semen, Kekuatan tekan

ABSTRACT

CINDY ANGELINE TOLY. STUDY OF COMPRESSIVE STRENGTH OF CEMENT SUBSTITUTED CONCRETE WITH VARIATION OF WASTE GLASS POWDER (MIRROR) (supervised by Dr.Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST, MT and Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng)

Concrete is an important element in construction because it is easy to manufacture and relatively inexpensive compared to other construction materials. This situation causes the demand for concrete to increase, which can disrupt the environmental balance. Therefore, a solution that can overcome this problem by using environmentally friendly concrete (green concrete) is sought. The use of glass waste as an environmentally friendly material for making concrete is important for reducing the amount of glass waste. The purpose of this study was to determine the effect of substituting glass powder waste (mirror) with substitution proportions of 0%, 15%, 20%, and 25% as a partial replacement for cement on the compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity. This glass waste was crushed to obtain a glass powder whose grain size passed through sieve no.200. The specimens in this study used a 100 × 200 mm cylinder and then tested on specimens that had been cured for 28 days with a design compressive strength of $f'_c = 20$ MPa. The research results found the highest value in normal concrete with 0% glass powder substitution, with a compressive strength of 23.99 MPa, split tensile strength of 1.51 MPa and a modulus of elasticity of 23015.15 MPa. However, the highest value variation for concrete was obtained at 20% glass powder substitution with a compressive strength of 15.48 MPa, split tensile strength of 1.44 MPa and a modulus of elasticity of 18492.49MPa.

Keywords: Concrete, Glass powder, Cement substitution, Compressive strength

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
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	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Beton.....	9
2.2.1 Keunggulan Beton.....	10
2.2.2 Kekurangan Beton.....	10
2.3 Material Penyusun Beton.....	11
2.3.1 Semen Portland	11
2.3.2. Agregat.....	12
2.3.2.1 Agregat Kasar.....	12
2.3.2.2 Agregat Halus.....	15
2.3.3 Air	15
2.3.4 Kaca.....	16
2.4 Pengujian Karakteristik Beton	20
2.4.1 Kekuatan Tekan Beton	20
2.4.2. Kekuatan Tarik Belah	23
2.4.3 Modulus Elastisitas	24
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Prosedur Penelitian	26
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	27
3.3 Jenis Penelitian dan Sumber Data.....	28
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material.....	29
3.5.1 Agregat Kasar.....	29
3.5.2 Agregat Halus.....	30
3.5.3 <i>Glass Powder</i>	30
3.6 Pembuatan Benda Uji.....	31
3.7 Perawatan Benda Uji.....	35

3.8 Pengujian Benda Uji	35
3.8.1 Kekuatan Tekan Beton	35
3.8.2 Kekuatan Tarik Belah	36
3.8.3 Modulus Elastisitas	37
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Pemeriksaan Karakteristik Agregat	38
4.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik <i>Glass Powder</i>	38
4.2.1 XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>) <i>Glass Powder</i>	38
4.2.2 Berat Jenis <i>Glass Powder</i>	39
4.2.3 Kadar Air <i>Glass Powder</i>	40
4.3 Rancangan Campuran	40
4.4 Hasil Pengujian Karakteristik Benda Uji	41
4.4.1 Kekuatan Tekan Beton.....	41
4.4.2 Kekuatan Tarik Belah	46
4.4.3 Modulus Elastisitas	48
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses Pemisahan Limbah Kaca.....	17
Gambar 2. Limbah Kaca Cermin.....	17
Gambar 3. Penggilingan Limbah Kaca.....	18
Gambar 4. <i>Glass Powder</i> Setelah di Saring	18
Gambar 5. Pengemasan <i>Glass Powder</i>	19
Gambar 6. Benda Uji Kekuatan Tekan Beton	21
Gambar 7. Hubungan Antara Faktor Air/Semen terhadap Kekuatan Tekan.....	21
Gambar 8. Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 9. Material yang Digunakan	29
Gambar 10. Persiapan Material	32
Gambar 11. Pencampuran Semen dan <i>Glass Powder</i>	32
Gambar 12. Memasukan Agregat ke dalam <i>Mixer</i>	33
Gambar 13. Proses Pengujian <i>Slump</i>	33
Gambar 14. Hasil Pengujian <i>Slump</i>	34
Gambar 15. Proses Perataan Permukaan Campuran	34
Gambar 16. Perawatan Benda Uji	35
Gambar 17. <i>Set-Up</i> Pengujian Kekuatan Tekan	36
Gambar 18. <i>Set-Up</i> Pengujian Kekuatan Tarik Belah.....	37
Gambar 19. Histogram Pengujian Kekuatan Tekan Beton.....	43
Gambar 20. Hubungan Beban dan Perpindahan Substitusi 0%.....	43
Gambar 21. Hubungan Beban dan Perpindahan Substitusi 15%.....	44
Gambar 22. Hubungan Beban dan Perpindahan Substitusi 20%.....	45
Gambar 23. Hubungan Beban dan Perpindahan Substitusi 25%.....	45
Gambar 24. Pengujian Kekuatan Tekan Beton	46
Gambar 25. Histogram Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton.....	48
Gambar 26. Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton	48
Gambar 27. Perbandingan Modulus Elastisitas Limbah Cermin	49

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Batas-batas Tertentu Gradasi Agregat Kasar (SNI 7656:2012)	14
Tabel 2. Gradasi Agregat Halus (ASTM C33/C33M-13)	15
Tabel 3. Kandungan Kaca dalam Persen	20
Tabel 4. Faktor Luas Permukaan	22
Tabel 5. Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar	30
Tabel 6. Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus	30
Tabel 7. Pemeriksaan Karakteristik <i>Glass Powder</i>	30
Tabel 8. Jumlah Benda Uji	31
Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat	38
Tabel 10. Hasil Pengujian XRF	39
Tabel 11. Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Glass powder</i>	40
Tabel 12. Komposisi <i>Mix Design</i>	41
Tabel 13. Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton	42
Tabel 14. Hasil Uji Kekuatan Tarik Belah	47
Tabel 15. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas	49

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
MPa	<i>Megapascal</i>
UTM	<i>Universal Testing Machine</i>
FAS	Faktor Air Semen
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
SNI	Standar Nasional Indonesia
ASTM	<i>American Standart Testing and Material</i>
f'_c	Kekuatan tekan beton
N	Newton
mm	Milimeter
CO_2	Karbon dioksida
μm	Mikrometer
cm	Sentimeter
m	Meter
kg	Kilogram
A	Luas Penampang benda uji
P	Beban Tekan
L	Panjang benda uji
D	Diameter benda uji
PCC	<i>Portland Composite Cement</i>
SSD	<i>Saturated Surface Dry</i>
LVDT	<i>Linier Variable Displacement Tranducer</i>
XRF	<i>X-ray fluorescence</i>
E_c	Modulus elastisitas beton
S_1	Tegangan pada regangan S1
S_2	40% tegangan max
ϵ_2	Regangan longitudinal pada saat tegangan S2
W_c	Berat satuan beton
Ca	Kalsium

<i>Si</i>	Silika
<i>Al</i>	Aluminium
<i>Fe</i>	Besi
<i>f_{ct}</i>	Kekuatan tarik belah
<i>NaOH</i>	Natrium hidroksida
<i>Cl</i>	Klorin
<i>SiO₂</i>	Silikon dioksida
<i>Na₂O</i>	Natrium oksida
<i>CaO</i>	Kalsium oksida
kN	Kilonewton
<i>X_i</i>	Kekuatan Tekan Beton Sampel ke-i
<i>Y_i</i>	Kekuatan Tarik Belah Beton Sampel ke-i
a	Faktor Korelasi antara Kekuatan Tekan beton dan Kekuatan Tarik Belah Beton

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Persiapan <i>Glass Powder</i> dan Agregat.....	55
Lampiran 2. Pengujian Berat Jenis <i>Glass Powder</i>	55
Lampiran 3. Proses Pengecoran	55
Lampiran 4. Pengujian Kekuatan Tekan Beton.....	56
Lampiran 5. Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton.....	56
Lampiran 6. Grafik Hubungan Perpindahan dan Beban Variasi 15%	57
Lampiran 7. Grafik Hubungan Perpindahan dan Beban Variasi 20%	58
Lampiran 8. Grafik Hubungan Perpindahan dan Beban Variasi 25%	59
Lampiran 9. Modulus Elastisitas Beton Normal	60
Lampiran 10. Modulus Elastisitas Variasi 15%	61
Lampiran 11. Modulus Elastisitas Variasi 20%	62
Lampiran 12. Modulus Elastisitas Variasi 25%	63

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis persembahkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas Akhir yang berjudul “**Studi Kekuatan Tekan Beton Substitusi Semen Dengan Variasi Limbah *Glass Powder* (Cermin)**”, ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan kepada pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami pengaruh *glass powder* terhadap kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah beton.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari beberapa pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST, MT, IPM, ASEAN.Eng** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Dr.Eng. Bambang Bakri, ST, MT**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Dr.Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST, MT**, selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini dan selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
5. Bapak **Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng**, selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
6. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil serta staf Laboratorium dan asisten Lab Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu dan mendukung penulisan tugas akhir ini.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Yan Budi Sarwono Toly** dan ibunda **Ching Poku** atas doa, kasih sayang dan segala dukungan dan kebaikan selama ini, baik spiritual maupun materil yang telah diberikan.
2. Saudara **Nadya Machapagal Toly** atas doa dan kasih sayang, segala dukungan dan kebaikan.
3. Teman-teman **Tim Kaca** selaku rekan TA yang senantiasa memberi masukan, bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Teman seperjuangan di Laboratorium Riset Gempa **Lanrianna, Lisa, Hikma, Yana, Riskiadin, Ricky, Valdo** dan **Didik** yang telah memberikan banyak bantuan dan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

5. Teman-teman seperjuangan **Lanrianna** dan **Jois Wansa** yang telah memberikan bantuan dan dukungan dari awal sampai saat ini.
6. Keluarga **KMKO SIPIL**, terkhusus angkatan 2019 yang senantiasa memberikan dukungan dan doa dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Teman-teman **PORTLAND 2020** Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2019 yang senantiasa memberikan dukungan dan doa dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan dan dukungan hingga penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan. Oleh karena itu, dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. 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, Juni 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan suatu elemen yang sangat penting dalam sebuah konstruksi. Beton dibentuk oleh campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar yang berupa batu pecah atau kerikil, serta bahan campuran lainnya. Beton merupakan struktur bangunan yang paling banyak digunakan selain struktur baja dan kayu. Beton sebagai struktur bangunan yang paling banyak digunakan karena pembuatannya yang mudah dan biaya relatif murah dibandingkan dengan bahan konstruksi lainnya. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk. Beton yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama, kedap air, tahan aus, dan kembang susutnya kecil (Tjokrodimulyo, 1996).

Hal lain yang mendasari pemilihan dan penggunaan beton sebagai bahan konstruksi adalah faktor efektifitas dan tingkat efisiensinya. Secara umum bahan pengisi beton terbuat dari bahan-bahan yang mudah diperoleh, mudah diolah (*workability*) dan mempunyai keawetan (*durability*) serta kekuatan (*strength*) yang sangat diperlukan dalam suatu konstruksi. Dari sifat yang dimiliki beton itulah menjadikan beton sebagai bahan alternatif untuk dikembangkan baik bentuk fisik maupun metode pelaksanaannya (Riski, 2020).

Keadaan tersebut yang menyebabkan permintaan akan beton semakin meningkat yang dapat mengganggu keseimbangan lingkungan sehingga dapat merusak sumber daya alam karena dalam proses pembuatan semen yang menghasilkan gas karbon dioksida. Oleh karena itu, dicari solusi dari masalah tersebut yang efektif sehingga dapat mereduksi dampak negatif dari penggunaan beton secara berlebihan. Salah satu solusinya yang dapat dilakukan adalah dengan penggunaan beton ramah lingkungan (*green concrete*). 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).

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk menghasilkan beton dengan kualitas yang lebih tinggi dari beton konvensional biasa dengan material substitusi yang dapat meningkatkan kinerja beton yang tentunya dengan biaya yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah-limbah disekitar kita. Dengan banyaknya limbah kaca yang dapat ditemukan baik yang berasal dari industri, sisa pembongkaran bangunan, rumah tangga dan sampah yang berserakan dalam jumlah yang banyak, yang berkemungkinan dapat membahayakan dan mencemari lingkungan, menjadikan limbah kaca sebagai salah satu bahan yang dapat dimanfaatkan untuk beton ramah lingkungan.

Oleh karena itu, pemanfaatan limbah kaca sebagai salah satu material pembuat beton yang ramah lingkungan menjadi penting dalam membantu mereduksi jumlah limbah kaca di Indonesia. Limbah kaca juga merupakan limbah yang sangat sulit diurai oleh tanah dalam waktu ratusan atau ribuan tahun karena sifat kaca yang sangat keras dan tahan terhadap korosi maka dengan memanfaatkannya sebagai alternatif dapat menjadikannya sebagai solusi dari permasalahan lingkungan yang diakibatkan oleh limbah kaca.

Salah satu material substitusi yang telah banyak dicobakan dalam pembuatan beton sebagai solusi pemanfaatan limbah dengan penggunaan kembali (*reuse*) yaitu serbuk kaca (Herbudiman & Januar, 2011). Dalam hal ini, pemanfaatan limbah kaca digunakan sebagai substitusi parsial semen pada campuran beton, diharapkan dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen karena unsur kimia yang terkandung dalam serbuk kaca hampir sama dengan unsur kimia yang terdapat dalam semen. Maka dari itu, limbah kaca merupakan alternatif yang paling sesuai sebagai pengganti sebagian semen, karena komposisi kimia dan sifat fisiknya. Penelitian mengenai penggunaan *glass powder* sebagai substitusi sebagian semen telah banyak dilakukan salah satunya oleh (Rajendran, et al., 2021) yang menggunakan persentase substitusi 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dengan melakukan pengujian kekuatan tekan pada umur beton 7 hari dan 28 hari menghasilkan kekuatan tekan tertinggi untuk umur beton 7 dan 28 hari yaitu pada persentase 20%, yang artinya dengan melakukan substitusi *glass powder* sebagai pengganti sebagian semen dapat meningkatkan kekuatan tekan beton.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis melakukan penelitian untuk mengetahui kekuatan tekan beton substitusi semen dengan persentase *glass powder* 0%, 15%, 20% dan 25% menggunakan satu jenis limbah yaitu limbah kaca cermin. Penelitian ini dimanifestasikan dalam sebuah Tugas Akhir (Skripsi) dengan judul:

**“STUDI KEKUATAN TEKAN BETON SUBSTITUSI SEMEN DENGAN
VARIASI LIMBAH *GLASS POWDER* (CERMIN)”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh substitusi limbah *glass powder* (cermin) dengan persentase 0%, 15%, 20% dan 25% sebagai pengganti sebagian semen terhadap kekuatan tekan beton ?
2. Bagaimana kekuatan tarik beton terhadap penggunaan variasi *glass powder* sebagai pengganti sebagian semen ?
3. Bagaimana modulus elastisitas beton substitusi semen dengan variasi *glass powder*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh substitusi limbah *glass powder* (cermin) dengan persentase 0%, 15%, 20% dan 25% sebagai pengganti sebagian semen terhadap kekuatan tekan beton.
2. Menganalisis kekuatan tarik beton terhadap penggunaan variasi *glass powder* sebagai pengganti sebagian semen.
3. Menganalisis modulus elastisitas beton substitusi semen dengan variasi *glass powder*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat sebagai berikut :

1. Mengetahui perbandingan kekuatan tekan, kekuatan tarik dan modulus elastisitas beton dengan penggunaan limbah *glass powder* (cermin) sebagai pengganti sebagian semen dengan persentase 0%, 15%, 20% dan 25%
2. Memberikan informasi bagi akademisi maupun praktisi mengenai pengaruh dari substitusi semen dengan variasi limbah *glass powder* (cermin) terhadap karakteristik beton, sehingga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.
3. Mengingat harga semen yang semakin mahal sebagai salah satu campuran dalam pembuatan beton, dapat menjadikan *glass powder* sebagai material substitusi pengganti semen karna unsur kimia yang hampir sama dengan unsur kimia yang terdapat dalam semen. Maka dari itu *glass powder* dapat dijadikan sebagai material yang potensial karena relatif murah sekaligus dapat menjadi solusi dari permasalahan lingkungan yang disebabkan oleh limbah kaca.

1.5 Ruang Lingkup

Untuk mencapai maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini serta menguraikan pokok bahasan di atas, ditetapkan batasan-batasan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Percobaan dilakukan dengan menggunakan persentase substitusi *glass powder* 0%, 15%, 20% dan 25%.
2. Semen yang digunakan adalah semen Bosowa.
3. Limbah kaca yang digunakan adalah limbah kaca cermin.
4. Kekuatan tekan rencana adalah 20 MPa.
5. Menggunakan *glass powder* yang lolos saringan no. 200.
6. Pengambilan 24 sampel, 12 sampel untuk pengujian kekuatan tekan beton dan modulus elastisitas masing-masing 3 sampel setiap variasi termasuk beton kontrol dan 12 sampel untuk pengujian kekuatan tarik dengan 3 sampel setiap variasi termasuk beton kontrol.

7. Pengujian dilakukan pada beton umur 28 hari.
8. Benda uji dibuat dengan cetakan silinder 100 x 200 mm
9. Agregat halus yang digunakan yaitu pasir Jeneberang.
10. Benda uji diberi beban aksial dengan beban merata seukuran penampang silinder menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* (UTM) dengan kapasitas 1000 kN.
11. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil berdasarkan standar pengujian yang berlaku.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Maheshwaram & Damera (2017), melakukan penelitian tentang “*Effect of Glass Powder On Mechanical Properties Of Concrete*”, pada penelitian ini serbuk kaca digunakan sebagai pengganti sebagian semen. Penggunaan bubuk kaca yang dihaluskan sebagai bahan pengganti semen telah membuahkan hasil yang positif. Limbah kaca ketika digiling menjadi bubuk yang sangat halus, SiO_2 bereaksi secara kimiawi dengan alkali dalam semen dan membentuk produk semen yang membantu meningkatkan kekuatan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sifat mekanik beton bertenaga kaca untuk berbagai *grade* beton seperti M20, M30 dan M40. Pada setiap *grade* beton sebagian semen diganti dengan serbuk kaca dengan berbagai persentase penggantian seperti 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa kekuatan tekan meningkat dengan peningkatan dosis serbuk kaca dengan dosis optimal bubuk kaca ditemukan pada 20%, kekuatan tarik belah meningkat dengan meningkatnya dosis bubuk kaca dengan dosis optimal bubuk kaca ditemukan pada 20% dan kekuatan lentur meningkat dengan meningkatnya dosis bubuk kaca dengan dosis optimal bubuk kaca ditemukan pada 20%. Dapat disimpulkan, pada setiap *grade* beton M20, M30 dan M40 untuk dosis optimal pada setiap jenis pengujian didapatkan pada 20%.

Gokila & Parameshwari (2017), meneliti tentang “*Study and Experimental Investigation of Partial Replacement of Waste Glass Powder as Cement in Concrete*”, penelitian ini menggunakan variasi campuran serbuk kaca sebagai bahan campuran dengan perbandingan 0%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen. Serbuk kaca tersebut digunakan untuk mengganti sebagian semen. Sampel diuji pada umur 7, 14 dan 28 hari, dari pengujian kekuatan tekan tersebut diperoleh hasil pada beton umur 7 hari kekuatan tekan rata-rata beton 0% mendapat nilai 3,46 N/mm^2 , sedangkan 10% didapat nilai hasil rata-rata 2,78 N/mm^2 , 15% didapat nilai hasil rata-rata 2,85 N/mm^2 , 20% didapat nilai hasil rata-rata 3,05 N/mm^2 . Untuk beton umur 14 hari kekuatan tekan rata-rata beton 0% mendapat nilai 4,28 N/mm^2 , sedangkan 10% didapat nilai hasil rata-rata 3,29 N/mm^2 , 15% didapat

nilai hasil rata-rata 4,32 N/mm², 20% didapat nilai hasil rata-rata 4,52 N/mm² dan untuk beton umur 28 hari kekuatan tekan rata-rata beton 0% mendapat nilai 5,86 N/mm², sedangkan 10% didapat nilai hasil rata-rata 5,61 N/mm², 15% didapat nilai hasil rata-rata 6,53 N/mm², 20% didapat nilai hasil rata-rata 6,81 N/mm². Dari hasil penelitian ini untuk kekuatan tekan tertinggi pada beton umur 7 hari didapat pada persentase substitusi 0% sebesar 3,05 N/mm². Sedangkan pada penelitian untuk beton umur 14 dan 28 hari nilai kekuatan tertinggi didapat pada persentase 20% memiliki kekuatan tekan tertinggi berturut-turut yaitu, 4,52 N/mm² dan 6,81 N/mm².

Veena V. Bhat (2014), melakukan penelitian dengan judul *“Influence of Glass Powder on the Properties of Concrete”*, pada penelitian ini menggunakan variasi substitusi serbuk kaca 5%, 10%, 15%, 20% pengganti semen portland biasa. Uji tekan dilakukan pada beton setelah umur beton 7 dan 28 hari. Penelitian ini menggunakan mutu beton M25. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar persentase serbuk kaca maka semakin tinggi kekuatan tekannya. Dari pengujian kekuatan tekan tersebut diperoleh hasil pada beton umur 7 hari kekuatan tekan rata-rata beton 0% mendapat nilai 22,37 MPa, sedangkan 5% didapat nilai hasil rata-rata 23,40 MPa, 10% didapat nilai hasil rata-rata 24,80 MPa, 15% didapat nilai hasil rata-rata 26,66 MPa dan 20% didapat nilai hasil rata-rata 29,92 MPa. Untuk pengujian kekuatan tekan beton umur 28 hari kekuatan tekan rata-rata beton 0% mendapat nilai 28,37 MPa, 5% didapat nilai hasil rata-rata 29,70 MPa, 10% didapat nilai hasil rata-rata 31,30 MPa, 15% didapat nilai hasil rata-rata 33,36 MPa dan 20% didapat nilai hasil rata-rata 36,12 MPa. Dapat disimpulkan semakin besar persentase substitusinya maka nilai kekuatan tekan beton semakin bertambah dan pada penelitian ini untuk persentase 20% memiliki kekuatan tekan tertinggi yaitu 29,92 MPa pada umur beton 7 hari dan 36,12 MPa pada umur beton 28 hari.

Pillay S. (2013), melakukan penelitian mengenai *“Performance of Using Waste Glass Powder in Concrete as Replacement of Cement”*, penelitian ini menggunakan *glass powder* sebagai substitusi pengganti sebagian semen dengan membuat sampel dengan variasi persentase 0% (beton kontrol), 10%, 15% dan 20%. Pengujian dilakukan pada saat umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Jumlah benda uji pada setiap variasi dengan umur beton masing-masing 3 benda uji. Dari

hasil pengujian diperoleh nilai rata-rata kekuatan tekan pada umur beton 7 hari dimana dengan menggunakan 20% serbuk kaca pada spesimen memberikan nilai tertinggi yaitu 20 N/mm^2 dibandingkan dengan beton kontrol dan 10% hanya memberikan 19 N/mm^2 dan campuran beton yang mengandung 15% serbuk kaca juga memberikan nilai perbandingan beton campuran 20% yang hampir sama dengan beton campuran standar. Untuk nilai rata-rata kekuatan tekan pada umur beton 14 hari menunjukkan bahwa dengan menggunakan 20% limbah serbuk kaca ke dalam benda uji beton menunjukkan bahwa peningkatan yang tinggi adalah sekitar 29 N/mm^2 dibandingkan dengan beton kontrol yang hanya memberikan 26 N/mm^2 . Untuk beton umur 28 hari, menunjukkan bahwa 20% limbah serbuk kaca memberikan nilai lebih dari nilai beton target yaitu 30 N/mm^2 tetapi nilainya masih rendah sekitar 32 N/mm^2 dibandingkan untuk campuran beton normal yang memberikan 33 N/mm^2 . Untuk campuran serbuk kaca 10% dan 15% yang menunjukkan peningkatan yang tidak banyak dibandingkan pada umur beton 14 hari serta tidak mencapai kekuatan beton yang dibutuhkan. Dapat disimpulkan bahwa kekuatan tekan tertinggi pada umur beton 7 dan 14 hari didapat pada persentase 20% yaitu sebesar 20 N/mm^2 dan 29 N/mm^2 yang melebihi sampel kontrol 0% tetapi tidak melebihi nilai beton target 30 N/mm^2 . Sedangkan pada umur beton 28 hari nilai kekuatan tertinggi pada didapat pada beton kontrol yaitu 33 N/mm^2 , untuk beton substitusi 20% sebesar 32 N/mm^2 yang melebihi beton target 30 N/mm^2 .

R. Rajendran, et al., (2021), melakukan penelitian tentang dengan judul “*An Experiment on Concrete Replacing Binding Material as Waste Glass Powder*”, pada penelitian ini serbuk kaca digunakan sebagai pengganti sebagian semen. Beton merupakan material penting dalam bidang konstruksi. Dalam hal ini, menggunakan campuran semen yang homogen sebagai bahan pengikat, pasir sebagai agregat halus dan batu pecah sebagai agregat kasar. Semen memberikan kekuatan tinggi pada beton. Selama produksi semen, emisi *Corban-dioxide* tinggi. Dalam pandangan mengurangi CO_2 , muncul ide untuk menggunakan limbah kaca dalam semen sebagai penggantinya. Persentase substitusi serbuk kaca yang digunakan adalah 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Serbuk kaca yang digunakan dihaluskan dalam ukuran partikel $600 \mu\text{m}$ sampai $75 \mu\text{m}$ dan memberikan aksi pozzolan untuk

hidrasi semen. Setelah 24 jam cetakan dibuka dan proses curing dimulai. Pengujian dilakukan pada saat umur benda uji 7 hari dan 28 hari. Pada pengujian, hasil yang didapat dengan penambahan serbuk kaca secara persentase sebesar 20% diperoleh kekuatan tekan tertinggi 18,44 N/mm² selama 7 hari. Pada 28 hari mencapai kekuatan tekan tertinggi pada persentase 20%. Dari pengujian kubus ini terlihat jelas penggantian 20% memberikan kekuatan tekan yang baik pada umur 7 hari dan 28 hari. Uji kekuatan tarik belah juga dilakukan dengan menerapkan beban pada sumbu horizontal silinder. Retakan terjadi di tengah silinder, beban yang diterapkan dicatat dan hasilnya ditabulasikan, hasil pengujian menunjukkan pada persentase 20% memiliki kekuatan tarik tertinggi untuk beton umur 7 hari nilai kekuatan tarik sebesar 2,40 N/mm² dan 28 hari nilai kekuatan tarik adalah 4,22 N/mm². Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian semen 20% memberikan kekuatan tekan dan kekuatan tarik yang besar. Setelah mencapai 20% substitusi serbuk kaca, kekuatannya akan menurun. Menambahkan serbuk kaca lebih dari 20% menurunkan workability dan kekuatan beton.

2.2 Beton

Beton adalah bahan gabungan yang terdiri dari agregat kasar dan halus yang di campur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan halus, sering kali di tambahkan *admixture* atau *additive* bila di perlukan. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras, dan akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) pada usia 28 hari. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton ini sangat dipengaruhi oleh faktor air semen dan suhu selama perawatan. Sebagai materi komposit, keberhasilan penggunaan beton tergantung pada perencanaan yang baik, pemilihan dan pengadaan masing masing material yang baik, proses penanganan dan proses produksinya (Antoni & Nugraha, 2007)

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 pergerjaan 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 (Puja & Rachmat, 2010). Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton (Nawy, 1985) adalah:

- Kualitas semen,
- Proporsi semen terhadap campuran,
- Kekuatan dan kebersihan agregat,
- Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat,
- Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton,
- Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton,
- Perawatan beton,
- Kandungan klorida tidak melebihi 0,15 % dalam beton yang diekspos dan 1 % bagi beton yang tidak diekspos.

2.2.1 Keunggulan Beton

Beton memiliki keunggulan menurut (Tjokrodimulyo, 1996) antara lain sebagai berikut:

1. Harganya relatif murah.
2. Mampu memikul beban yang berat.
3. Mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, sehingga pekerjaan lebih ekonomis karena beton dapat dicetak di lokasi konstruksi.
4. Biaya pemeliharaan atau perawatannya relatif kecil, dimana perawatannya sendiri terbilang mudah.
5. Material campuran pembentuk beton mudah didapatkan dipasaran.

2.2.2 Kekurangan Beton

Beton memiliki kekurangan menurut (Tjokrodimulyo, 1996) antara lain sebagai berikut:

1. Beton mempunyai kekuatan tarik yang rendah, sehingga mudah retak. oleh karena itu perlu diberi baja tulangan.
2. Beton kerap menyusut dan mengembang karena adanya faktor perubahan suhu.

3. Beton sulit untuk dapat kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki air dan air yang membawa kandungan garam dapat merusak beton.
4. Bentuk yang telah dibuat sulit untuk diubah, karena beton yang sudah kering bersifat kaku dan proses pelaksanaan pekerjaannya membutuhkan ketelitian yang tinggi.

2.3 Material Penyusun Beton

Pada dasarnya bahan utama penyusun beton adalah semen, agregat dan air. Akan tetapi banyak juga bahan-bahan tambahan yang dapat kita jumpai seperti bahan tambahan kimia dan yang lainnya. Pada penelitian ini, komposisi beton yang dibuat terdiri dari dua jenis, yang pertama beton normal yang terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus dan air. Sedangkan untuk jenis kedua adalah beton variasi yang terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air dan *glass powder* sebagai material substitusi pengganti sebagian semen.

2.3.1 Semen Portland

Pengertian Semen Portland menurut (SNI 2049:2015) adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan alin. Bahan umum yang digunakan dalam pembuatan semen adalah batu kapur, kerangm dan marl yang dikombinasikan dengan serpih, tanah liat, terak tanur tinggi (*slag*), pasir silika, dan bijih besi (*iron ore*).

Fungsi semen yaitu untuk bereaksi dengan air menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat. Selain itu pasta semen juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat. Volume semen hanya kira-kira sebanyak 10% saja dari volume beton. Dalam campuran beton, semen bersama air sebagai kelompok aktif sedangkan pasir dan kerikil sebagai kelompok pasif berfungsi sebagai pengisi (Tjokrodimuljo, 2007).

Berdasarkan (SNI 2049:2015) jenis dan penggunaan semen *portland* terbagi menjadi 5 jenis yaitu:

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 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

Menurut (Tjokrodimulyo, 1996) Agregat adalah butiran mineral alami dengan ukuran tertentu yang berfungsi untuk bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat menempati 70% ruang dalam volume beton. Pemilihan agregat merupakan bagian terpenting dalam pembuatan beton karena karakteristik agregat sangat mempengaruhi sifat-sifat dari beton. Distribusi ukuran agregat dalam campuran beton juga menjadi faktor penentu kekuatan dari beton. Ukuran butiran agregat dengan variasi yang seragam akan menghasilkan banyak pori-pori dalam beton, sedangkan pemilihan ukuran agregat yang berbeda-beda maka pori-pori antara agregat butiran besar akan ditutup oleh agregat dengan ukuran kecil, sehingga kemampuan dari beton akan tinggi.

2.3.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material yang berukuran besar dan keras, seperti batu pecah atau kerikil, yang berfungsi sebagai bahan pengisi atau pengisi ruang kosong dalam campuran beton. Agregat kasar juga membantu meningkatkan kekuatan beton dan memberikan struktur pada campuran beton. Agregat kasar dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang dipecah. Sesuai dengan (SNI 1969:2016), kerikil sebagai hasil disintegrasi alami

dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm sampai 40 mm.

Menurut (Tjokrodimulyo, 1996), beberapa faktor yang harus diperhatikan pada saat pemilihan untuk pekerjaan campuran beton, yaitu:

1. Bentuk agregat, bentuk agregat dipengaruhi oleh dua sifat, yaitu kebulatan dan sferikal. Bentuk butiran agregat lebih berpengaruh pada beton segar dari pada setelah beton mengeras. Berdasarkan bentuk butiran agregat dapat dibedakan menjadi: bulat, tidak beraturan, bersudut, memanjang, pipih, panjang dan pipih.
2. Tekstur permukaan, adalah suatu sifat permukaan yang tergantung pada ukuran, halus atau kasar, mengkilap atau kusam. Pada dasarnya tekstur permukaan butir dapat dibedakan menjadi: sangat halus (*glassy*), halus, granuler, kasar, berkilat, berpori, dan berlubang-lubang.
3. Berat jenis agregat, adalah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama pada suhu yang sama. Karena butiran agregat umumnya mengandung butiran pori-pori yang ada dalam butiran tertutup atau tidak berhubungan, maka berat jenis agregat dibedakan menjadi dua istilah, yaitu berat jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori dan berat jenis semu, jika volume benda padatnya termasukpori-pori tertutupnya.
4. Berat jenis agregat, adalah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama pada suhu yang sama. Karena butiran agregat umumnya mengandung butiran pori-pori yang ada dalam butiran tertutup atau tidak berhubungan, maka berat jenis agregat dibedakan menjadi dua istilah, yaitu berat jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori dan berat jenis semu, jika volume benda padatnya termasukpori-pori tertutupnya.
5. Ukuran maksimum agregt yang biasa dipakai adalah 10 mm, 20 mm, atau 40 mm.
6. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), maka volume pori akan besar sebaliknya bila butirannya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit.

Tabel 1. Batas-batas Tertentu Gradasi Agregat Kasar (SNI 7656:2012)

Ukuran ayakan (mm)	Pemisah Ukuran			
	Persen (%) berat yang lewat masing-masing ayakan			
	4,75 - 19 mm	19 - 37,5 mm	37,5 - 75 mm	75 - 150 mm
177				100
150				90 - 100
100			100	20 - 55
75			90 - 100	0 - 10
50		100	20 - 55	0 - 5
37,5		90 - 100	0 - 10	
25	100	20 - 55	0 - 5	
19	90 - 100	0 - 10		
9,5	20 - 55	0 - 5		
4,75	0 - 10			
2,36	0 - 5			

7. Kandungan didalam agregat dibagi menjadi beberapa tingkat, yaitu:
- Kering tungku, dimana agregat benar-benar tidak berair atau dalam kondisi yang benar-benar dapat secara penuh menyerap air.
 - Kering udara, dimana permukaan agregatnya kering namun mengandung sedikit air di dalam porinya.
 - Jenuh kering muka, yaitu tidak ada air dipermukaan tetapi butir-butirnya berisi air sejumlah yang dapat diserap.
 - Basah, dimana butir-butir mengandung banyak air baik dipermukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai dalam campuran akan menambah air.

Keadaan kering jenuh muka (*Saturated Surface Dry*) lebih dipakai sebagai standar, karena merupakan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah dan mengurangi air dari pastinya, dan kadar air di lapangan lebih banyak mendekati keadaan SSD dari pada kering tungku.

8. Kekuatan dan kuletan agregat, kekerasan agregat tergantung dari kekerasan bahan penyusunnya. Butiran agregat dapat bersifat kurang kuat disebabkan dua hal yaitu, karena terdiri dari bahan yang lemah atau terdiri dari partikel-

partikel yang kuat tapi tidak terikat dengan kuat dan pada umumnya kekuatan dan elastisitas agregat tergantung dari jenis batuan, tekstur dan struktur butirannya, karena agregat merupakan bagian terbesar dari beton sehingga kekuatan agregat akan mempengaruhi kekuatan beton.

2.3.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm yang lolos saringan No.4 (SNI 1969:2016). Fungsi agregat halus dalam campuran beton adalah membentuk mortar yang mengikat agregat kasar. Keruntuhan beton akibat beban tekan terjadi pada mortar. Dengan demikian maka agregat halus dalam campuran beton berfungsi selain sebagai bahan pengisi yang membentuk mortar yang mengikat agregat kasar juga berfungsi membentuk kekuatan beton.

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang besar, sehingga pori-porinya sedikit, dengan kata lain kemampatannya tinggi.

Tabel 2. Gradasi Agregat Halus (ASTM C33/C33M-13)

Sieve (Specification E11)	Percent Passing
9.5-mm (3/8-in.)	100
4.75-mm (No. 4)	95 to 100
2.36-mm (No. 8)	80 to 100
1.18-mm (No. 16)	50 to 85
600- μ m (No. 30)	25 to 60
300- μ m (No. 50)	5 to 30
150- μ m (No. 100)	0 to 10
75- μ m (No. 200)	0 to 3.0 ^{A,B}

2.3.3 Air

Air merupakan bahan dasar yang sangat penting dalam pembuatan beton. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat sehingga mudah dipadatkan. Air dalam campuran beton menyebabkan terjadinya proses hidrasi dengan semen. Jumlah air yang berlebihan akan

menurunkan kekuatan beton. Namun air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi yang tidak merata.

Untuk mengetahui air untuk campuran beton memenuhi kriteria standar yang diberikan atau tidak dapat dilakukan dengan cara analisis kimia. Analisis ini meliputi pemeriksaan terhadap sulfat, magnesium, amonium, klorida, pH, karbon dioksida, minyak dan lemak, zat-zat yang menyusut. Menurut (Pandapotan, 2016) air yang dipergunakan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Tidak mengandung lumpur dan benda melayang lainnya yang lebih dari 2 gram / liter.
2. Tidak mengandung garam atau asam yang dapat merusak beton, zat organik dan sebagainya lebih dari 15 gram / liter
3. Tidak mengandung klorida yang lebih dari 1 gram / liter
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram / liter.

2.3.4 Kaca

Kaca merupakan limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri dan rumah tangga yang tidak bisa terurai, apabila jumlahnya terlalu banyak maka akan merusak lingkungan. Namun limbah kaca dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan pengisi pada beton dalam bentuk *glass powder* karena memiliki ketahanan terhadap cuaca dan serangan zat kimia yang baik. Menurut (Karwur, et al., 2013) serbuk kaca diharapkan berfungsi sebagai pengganti semen karena memiliki potensi sebagai material pozzolan dengan kandungan silika (SiO_2), Na_2O dan CaO pada kaca cukup besar yaitu lebih dari 70% sehingga menghasilkan kekuatan yang melebihi rencana dan dapat mengurangi biaya pembuatan beton dilakukan. Namun, dari hasil penelitian yang dilakukan (Karwur, et al., 2013) tentang kekuatan tekan beton dengan bahan tambah serbuk kaca sebagai bahan pengganti semen didapatkan bahwa semakin banyak substitusi serbuk kaca pada semen akan membuat berat volume beton berkurang.

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 1. Proses Pemisahan Limbah Kaca



Gambar 2. Limbah Kaca Cermin

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



Gambar 3. Penggilingan Limbah Kaca

4. Penyaringan: Setelah digiling, *glass powder* disaring sesuai dengan ukuran partikel yang diinginkan. Pada penelitian ini, *glass powder* yang digunakan adalah *glass powder* yang lolos saringan no.200 sebagai substitusi semen.



Gambar 4. *Glass Powder* Setelah di Saring

5. Pengemasan: Setelah melalui tahapan pengolahan di atas, *glass powder* siap untuk dikemas dan dikirim.



Gambar 5. Pengemasan *Glass Powder*

Beberapa karakteristik serbuk kaca yang harus diperhatikan dalam pembuatan beton menurut (Suwignyo, 2015) adalah sebagai berikut:

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 pozzolan yang dapat meningkatkan kuat tekan dari beton,
4. Kaca tidak mengandung bahan yang berbahaya, sehingga pada saat pengerjaan beton aman bagi manusia,
5. Serbuk kaca juga dapat digunakan sebagai bahan pengisi pori atau *filler*, sehingga diharapkan akan diperoleh beton yang lebih padat dengan porositas minimum sehingga kekuatan beton dapat meningkat.

Ada beberapa kandungan kaca berdasarkan jenis-jenis kaca, yaitu: *clear glass*, *amber glass*, *green glass*, *pyrex glass*, dan *fused silica* (Setiawan, 2006). Kandungan di dalam jenis-jenis kaca tersebut akan dijelaskan pada Tabel 3 seperti berikut ini:

Tabel 3. Kandungan Kaca dalam Persen

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	-

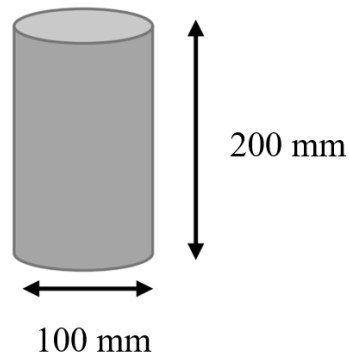
2.4 Pengujian Karakteristik Beton

Agar dapat merancang kekuatan beton dengan baik artinya dapat memenuhi kriteria aspek ekonomi yaitu rendah dalam biaya dan memenuhi aspek teknik yaitu memenuhi kekuatan struktur, maka kita harus mengetahui sifat-sifat beton segar yaitu kemudahan dalam pengerjaan (*workability*), *segregations*, dan *bleeding*. Beberapa sifat dan karakteristik beton antara lain adalah kekuatan tekan beton, kekuatan tarik belah dan modulus elastisitas. Pengujian beton dapat dilakukan untuk tujuan yang berbeda tetapi tujuan utamanya adalah control kualitas dan sesuai standar spesifikasi.

2.4.1 Kekuatan Tekan Beton

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah bangunan, semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Manik, 2008). Kekuatan tekan beton merupakan salah satu parameter penting dalam perancangan struktur beton, karena kekuatan tekan yang cukup diperlukan untuk memastikan bahwa beton mampu menahan beban struktural yang bekerja pada struktur tersebut. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air.

Benda uji yang digunakan berbentuk silinder 100 x 200 mm dapat dilihat pada Gambar 6 berikut:

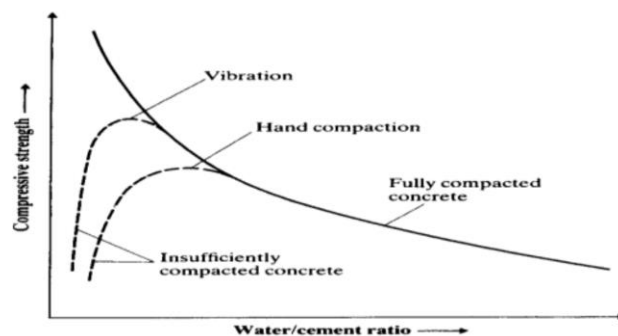


Gambar 6. Benda Uji Kekuatan Tekan Beton

Kekuatan tekan beton banyak dipengaruhi oleh beberapa faktor, parameter-parameter yang paling penting mempengaruhi kekuatan beton menurut Edward G. Nawy (2009) antara lain:

1. Kualitas Semen
2. Proporsi semen terhadap campuran ialah Faktor Air Semen (FAS)

Faktor Air-Semen adalah rasio berat air terhadap berat semen. Adapun hubungan antara Faktor Air/Semen terhadap kekuatan tekan beton ditunjukkan pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Hubungan Antara Faktor Air/Semen terhadap Kekuatan Tekan

(Sumber: A.M Neville, 2010)

Semakin kecil nilai FAS yang dipakai maka akan menghasilkan kekuatan beton yang semakin baik pula. Campuran beton yang menggunakan nilai FAS yang besar, akan lebih sedikit membutuhkan pasta semen,

sebaliknya campuran beton yang menggunakan nilai FAS kecil, akan lebih banyak membutuhkan pasta semen.

3. Kekuatan agregat ialah nilai abrasi dari agregat kasar dan luas permukaan agregat

Pengaruh abrasi terhadap kekuatan tekan beton ini dapat digambarkan bahwa beton dengan kuat hancur yang besar juga mempunyai daya tahan terhadap kikisan yang besar. Apabila suatu agregat kasar dengan nilai abrasi yang kecil maka semakin besar kekuatan tekan yang dihasilkan, begitu pula sebaliknya (Yuni Damayanti, 2015).

Ketika nilai Faktor Agregat-Semen kecil maka rongga antar agregat terlapisi oleh pasta semen yang membuat beton mudah dicampur, sehingga kemampuan kerja beton meningkat. Tattersall (1991) menjelaskan bahwa luas spesifik permukaan agregat adalah rasio dari total luas permukaan terhadap total massa atau volume, dan diukur dalam m^2/kg .

4. Interaksi atau adesi antara pasta semen dengan agregat berupa rasio agregat semen.

Tabel 4. Faktor Luas Permukaan

Saringan		FLP
No	Bukaan, mm	m^2/kg
> No. 4	> 4,75	0,41
No. 8	2,36	0,82
No. 16	1,18	1,64
No. 30	0,6	2,87
No. 50	0,3	6,14
No. 100	0,15	12,29
No. 200	0,075	32,77

Catatan : - Untuk semua ukuran saringan di atas No. 4 diperhitungkan sebagai 0,41 m^2/kg .

- FLP digunakan jika seluruh urutan saringan digunakan.

Pada penelitian dari Newman dan Teichenne (1954) membuktikan bahwa jika luas permukaan spesifik agregat dalam campuran beton bertambah tetapi Faktor Air Semen (FAS) masih sama, maka kekuatan tekan beton dan kelecakan akan berkurang.

Kekuatan tekan beton didapat melalui pengujian kekuatan tekan dengan memakai alat uji tekan (*compressive strength machine*). Pemberian beban tekan dilakukan bertahap dengan kecepatan beban tertentu atas uji beton. Kekuatan tekan beton diuji dengan menghancurkan sampel beton dalam bentuk silinder atau kubus pada usia tertentu. Hasil uji kekuatan tekan beton dinyatakan dalam satuan tekanan, seperti *megapascal* (MPa). Dalam menentukan nilai kekuatan tekan beton dapat dilihat pada persamaan (1) menurut (SNI 1974:2011) di bawah ini:

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

Keterangan:

$f'c$ = Kekuatan tekan beton (MPa)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

P = Beban Tekan (N)

2.4.2. Kekuatan Tarik Belah

Kekuatan tarik belah beton adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tarik yang diberikan pada arah tegak lurus terhadap permukaan beton. Kekuatan tarik belah beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti rasio air- semen, kualitas bahan baku, perencanaan campuran beton, serta kondisi lingkungan. Semakin tinggi kekuatan tarik belah beton, maka semakin baik beton tersebut dalam menahan tegangan tarik dan meminimalkan risiko retak atau rusak pada struktur yang dibangun dengan beton. Kekuatan tarik belah beton relatif rendah, kira-kira 10-15% dari kekuatan tekannya.

Kekuatan tarik biasanya ditentukan dengan menggunakan percobaan pembebanan silinder (*the split cylinder*) menurut ASTM C496 dimana silinder yang ukurannya sama dengan benda uji dalam percobaan tekan diletakkan pada sisinya diatas mesin uji dan beban tekan P dikerjakan secara merata dalam arah diameter disepanjang benda uji. Benda uji akan terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik.

Gaya P bekerja pada kedua sisi silinder sepanjang L dan gaya ini disebarkan seluas selimut silinder ($\pi \cdot L \cdot D$) secara berangsur-angsur pembebanan dinaikkan sehingga tercapai nilai maksimum dan silinder pecah terbelah oleh gaya tarik horizontal.

Dari pembebanan maksimum yang diberikan, kekuatan tarik belah dihitung berdasarkan persamaan (2) menurut (SNI 2491:2014) berikut:

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

Keterangan:

f_{ct} = Kekuatan tarik belah (MPa)

P = Beban uji maksimum (N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)

2.4.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton, juga dikenal sebagai modulus *Young* atau modulus elastisitas longitudinal, adalah suatu ukuran kekakuan material beton terhadap deformasi elastis atau deformasi yang dapat dipulihkan setelah beban diberikan dan dihilangkan. Modulus elastisitas beton diukur dalam satuan tekanan, seperti N/mm² atau psi, dan merupakan suatu parameter penting dalam desain struktur beton, karena mempengaruhi bagaimana beton merespons terhadap gaya yang diberikan. Semakin tinggi modulus elastisitas beton, semakin kecil deformasi elastis yang terjadi pada beton ketika diberi beban, dan semakin kuat beton tersebut menahan beban.

Beberapa faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas beton antara lain:

1. Umur beton: Modulus elastisitas beton meningkat seiring bertambahnya umur beton. Pada awalnya, beton masih dalam tahap pematangan dan memiliki modulus elastisitas yang relatif rendah.
2. Rasio air-semen: Modulus elastisitas beton juga dipengaruhi oleh rasio air-semen pada campuran beton. Semakin tinggi rasio air-semen, maka semakin rendah modulus elastisitas beton.
3. Jenis dan proporsi agregat: Jenis dan proporsi agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat mempengaruhi modulus elastisitas beton. Agregat yang lebih kaku atau kuat cenderung menghasilkan beton dengan modulus elastisitas yang lebih tinggi.

4. Tekanan dan temperatur: Tekanan dan suhu lingkungan di mana beton berada juga dapat mempengaruhi modulus elastisitas beton. Semakin tinggi suhu atau tekanan, semakin rendah modulus elastisitas beton.
5. Kondisi lingkungan: Kondisi lingkungan seperti kelembaban dan paparan bahan kimia juga dapat mempengaruhi modulus elastisitas beton. Kelembaban yang tinggi atau paparan bahan kimia tertentu dapat merusak struktur beton dan mengurangi modulus elastisitas beton.

Modulus elastisitas beton adalah kemiringan kurva tegangan regangan beton pada kondisi linier atau mendekati linier. Berbeda dengan baja, maka modulus elastisitas beton adalah berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Biasanya modulus sekan pada 25-50% dari kekuatan tekan $f'c$ di ambil sebagai modulus elastisitas. Untuk menghitung rumus modulus elastisitas eksperimen (ASTM C 469-02), yaitu:

$$E_c = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,000050)} \quad (3)$$

Keterangan:

- 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 2847:2019) sebagai berikut:

$$E_c = w_c^{1.5} 0,043 \sqrt{f'c} \quad (4)$$

Keterangan:

- E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)
 $f'c$ = Kekuatan tekan beton umur 28 hari (MPa)
 w_c = Berat satuan beton (kg/mm^2)