

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH PERENDAMAN VARIASI GLASS
POWDER (LIMBAH BOTOL) SUBSTITUSI SEMEN
TERHADAP KARAKTERISTIK BETON**

Disusun dan diajukan oleh:

**LISA BUNGA PAGALLA
D011 19 1120**



**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN 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

Lisa Bunga Pagalla
D011 19 1120

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

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



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

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Lisa Bunga Pagalla
NIM : D011 19 1120
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Pengaruh Perendaman Variasi *Glass Powder* (Limbah Botol) Substitusi Semen Terhadap Karakteristik Beton}

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

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

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

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

Gowa, 26 Juni 2023

Yang Menyatakan



Lisa Bunga Pagalla

ABSTRAK

LISA BUNGA PAGALLA. *STUDI PENGARUH PERENDAMAN VARIASI GLASS POWDER (LIMBAH BOTOL) SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK BETON* (dibimbing oleh Herman Parung dan A. Arwin Amiruddin)

Produksi semen adalah proses yang sangat intensif energi dan mencemari lingkungan. Namun, terlepas dari efek yang merugikan, tingkat permintaan semen terus meningkat. Oleh karena itu, sangat penting untuk mencari bahan yang dapat digunakan sebagai pengganti semen dalam pembangunan infrastruktur yang ramah lingkungan. Di sisi lain, kaca pasca konsumsi, hanya menjadi limbah yang semakin menumpuk di TPA tanpa di daur ulang. Limbah kaca di analisis memiliki potensi untuk digunakan dalam produksi beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu perendaman *glass powder* (GP) dalam air sebelum dicampur dengan bahan beton lainnya. Pada penelitian ini hanya dilakukan satu jenis perendaman yaitu selama 6 jam dengan jumlah GP yang bervariasi sebagai pengganti semen (0%, 15%, 20%, 25%). Penelitian ini dilakukan di Lab. Struktur dan Bahan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan bahan penyusun beton berupa agregat kasar, agregat halus, *glass powder*, semen dan air. Sampel beton berbentuk silinder ukuran 100 x 200 mm dengan umur beton 28 hari untuk rancangan campuran beton baik beton normal maupun beton variasi. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik belah dan modulus elastisitas. Hasil menunjukkan bahwa semua campuran yang dibuat dengan GP memiliki kekuatan tekan lebih rendah sebesar 14,68 MPa, 19,64 MPa dan 13,14 MPa, dibandingkan kekuatan tekan beton kontrol sebesar 23,99 MPa. Adapun kekuatan tekan, kekuatan tarik belah dan modulus elastisitas optimum diperoleh pada campuran variasi GP 20% dengan nilai secara berturut-turut yaitu 19,64 MPa, 1,50 MPa dan 19037,15 MPa. Kekuatan tekan yang lebih tinggi ini berasal dari efek pengembangan reaksi pozzolanic karena pelepasan ion bebas dalam air sebelum pencampuran dengan beton dan efek pengisian serbuk kaca.

Keywords: *Glass Powder*, Beton, Perendaman, Kekuatan

ABSTRACT

LISA BUNGA PAGALLA. *THE IMMERSION EFFECT STUDY OF VARIATION GLASS POWDER (WASTE BOTTLE) CEMENT SUBSTITUTION OF CONCRETE CHARACTERISTICS* (supervised by Herman Parung and A. Arwin Amiruddin)

The production of cement is a very energy-intensive and environmentally polluting process. However, despite the adverse effects, the level of demand for cement continues to increase. Therefore, it is very important to find materials that can be used as a substitute for cement in infrastructure development that are environmentally friendly. On the other hand, post-consumption glass only becomes waste that is increasingly piling up in landfills without being recycled. The glass waste analyzed has the potential to be used in concrete production. This study aimed to determine the effect of the soaking time of glass powder (GP) in water before mixing with other concrete ingredients. In this study, only one type of immersion was carried out, namely for 6 hours with varying amounts of GP as a substitute for cement (0%, 15%, 20%, 25%). This research was conducted at the Laboratory of Structures and Materials, Faculty of Engineering, Hasanuddin University with concrete constituents in the form of coarse aggregate, fine aggregate, glass powder, cement, and water. Cylindrical concrete samples measuring 100 x 200 mm with a concrete age of 28 days for mixed concrete designs, both standard and variable concrete. Tests were carried out in the form of testing compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity. The results showed that all mixtures prepared with GP had lower compressive strengths of 14,68 MPa, 19,64 MPa, and 13,14 MPa, compared to the control concrete's compressive strength of 23,99 MPa. The optimum compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity were obtained in a mixture of 20% GP variations with values each of 19,64 MPa, 1,50 MPa, and 19037,15 MPa respectively. This higher compressive strength comes from the expanding effect of the pozzolanic reaction due to the release of free ions in the water before mixing with the concrete and the effect of filling the glass powder.

Keywords: *glass powder*, Concrete, Immersion, Strength

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Beton	9
2.3 Glass Powder.....	11
2.4 Material Penyusun Beton	13
2.4.1 Semen.....	14
2.4.2 Agregat.....	15
2.4.2.1 Agregat Kasar	16
2.4.2.2 Agregat Halus	18
2.4.3 Air	20
2.5 Pengujian Karakteristik Beton	21
2.5.1 Kekuatan Tekan Beton.....	21
2.5.2 Kekuatan Tarik Belah Beton.....	22
2.5.3 Modulus Elastisitas Beton.....	23
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	26
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	27
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	27
3.5 Pembuatan dan Pemeriksaan XRF <i>Glass Powder</i>	28
3.6 Pemeriksaan Karakteristik Agregat	29
3.7 Pembuatan Benda Uji.....	30
3.8 Perawatan Benda Uji.....	33
3.9 Set-Up Pengujian Karakteristik	33
3.9.1 Kekuatan Tekan	33
3.9.2 Kekuatan Tarik Belah	34
3.9.3 Modulus Elastisitas Beton.....	35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Pemeriksaan Karakteristik Agregat	36

4.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik <i>Glass Powder</i>	36
4.2.1 Pemeriksaan Sifat Fisis GP	37
4.2.2 Pemeriksaan XRF <i>Glass Powder</i>	37
4.3 Rancangan Campuran Beton.....	37
4.4 Hasil Pengujian Karakteristik	38
4.4.1 Kekuatan Tekan Beton.....	39
4.4.2 Kekuatan Tarik Belah Beton.....	44
4.4.3 Modulus Elastisitas.....	46
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 2. Lokasi Penelitian	26
Gambar 3. Material Campuran Beton	28
Gambar 4. Rencana Benda Uji.....	30
Gambar 5. Persiapan Mould Benda Uji.	30
Gambar 6. Persiapan Material Beton yang Telah Ditimbang	30
Gambar 7. Proses Pengecoran.....	31
Gambar 8. Proses Pengujian Slump.....	31
Gambar 9. Hasil Pengujian Slump	32
Gambar 10. Proses Penumbukan Beton.....	32
Gambar 11. Proses Vibrator Beton	32
Gambar 12. Perawatan Benda Uji.....	33
Gambar 13. Set-Up Pengujian Kekuatan Tekan	34
Gambar 14. Set-Up Pengujian Kekuatan Tarik Belah	34
Gambar 15. Hubungan Kuat Tekan Beton Terhadap Persentase Pemakaian Serbuk Kaca Pada Umur 28 Hari	40
Gambar 16. Perbandingan Kekuatan Tekan Beton <i>Glass Powder</i> dengan Perendaman dan Tanpa Perendaman.....	41
Gambar 17. Hubungan antara Beban dan Displacement Variasi 0%	41
Gambar 18. Hubungan antara Beban dan Displacement Variasi 15%.....	42
Gambar 19. Hubungan antara Beban dan Displacement Variasi 20%.....	42
Gambar 20. Hubungan antara Beban dan Displacement Variasi 25%.....	43
Gambar 21. Pengujian Kekuatan Tekan Beton	44
Gambar 22. Perbandingan Kekuatan Tarik Belah <i>Glass Powder</i> dengan Perendaman dan Tanpa Perendaman.....	45
Gambar 23. Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton	46
Gambar 24. Perbandingan Modulus Elaastisitas <i>Glass Powder</i>	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Ketentuan Gradasi Agregat Kasar (SNI 2843:2000)	17
Tabel 2. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus (SNI 2834:2002).....	19
Tabel 3. Hasil Pengujian XRF Penelitian Terdahulu	29
Tabel 4. Standar Pengujian Karakteristik	29
Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat	36
Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik <i>Glass Powder</i>	37
Tabel 7. Hasil Pemeriksaan XRF <i>Glass Powder</i>	37
Tabel 8. Komposisi <i>Mix Design</i> Beton Kontrol.....	38
Tabel 9. Komposisi <i>Mix Design</i> Beton Variasi <i>Glass Powder</i>	38
Tabel 10. Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton	39
Tabel 11. Hasil Uji Kekuatan Tarik Belah.....	44
Tabel 12. Modulus Elastisitas Beton.....	46

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$f'c$	Kekuatan tekan beton (MPa atau N/mm ²).
P	Gaya tekan aksial (N).
A	Luas penampang melintang benda uji (mm ²).
ε	Regangan
ΔL	Perubahan Panjang
L	Panjang Silinder (mm)
D	Diameter Silinder (mm)
f_{ct}	Kuat Tarik Belah (MPa)
L ₀	Panjang Awal
E	Modulus Elastisitas
S ₂	Tegangan pada 40% tegangan runtuh (N/mm ²)
S ₁	Tegangan pada saat regangan 0,000050 (N/mm ²)
W _c	Berat Volume (Kg/m ³)
GP	<i>Glass Powder</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran. 1 Dokumentasi Persiapan Material.....	53
Lampiran. 2 Dokumentasi Pengujian Karakteristik Agregat dan Glass Powder ..	53
Lampiran. 3 Dokumentasi Pembuatan Benda Uji.....	54
Lampiran. 4 Dokumentasi Pengujian Kekuatan Tekan dan Tarik Belah Beton ...	55
Lampiran. 5 Dokumentasi Perawatan Benda Uji.....	55
Lampiran. 6 Grafik Hubungan Perpindahan dan Displacement variasi 0%	56
Lampiran. 7 Grafik Hubungan Perpindahan dan Displacement variasi 15%	57
Lampiran. 8 Grafik Hubungan Perpindahan dan Displacement variasi 20%	58
Lampiran. 9 Grafik Hubungan Perpindahan dan Displacement variasi 25%	59
Lampiran. 10 Modulus Elastisitas Beton Normal	60
Lampiran. 11 Modulus Elastisitas Beton Variasi 15%	61
Lampiran. 12 Modulus Elastisitas Beton Variasi 20%	62
Lampiran. 13 Modulus Elastisitas Beton Variasi 25%	63

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil‘aalamin, atas rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wata’ala, maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “**Studi Pengaruh Perendaman Variasi *Glass Powder* (Limbah Botol) Substitusi Semen terhadap Karakteristik Beton**”, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam proses penulisan Tugas Akhir ini tentunya penulis mendapat bantuan dari banyak pihak yang sudah mendukung serta membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih banyak kepada :

1. **Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT**, 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. 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 dan selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. **Bapak Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M.Eng.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu ayahanda **Alim Bunga Pagalla**, dan ibu **Nurhaeni**, serta Paman tercinta **Zayid Penedongan**, atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik sprititual maupun materi.
2. Saudara-saudari tercinta **Sofyan Pagalla, Devi Bunga Pagalla, Dian Bunga Pagalla**, dan **Ummi Kalsum** yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Teman-teman **Tim *glass powder***, Laboratorium Riset Gempa **Cindy, Lanrianna, Hikma, Yana, Ricky, Riskiadin, Valdo** dan **Didik**, yang selalu senantiasa meluangkan waktu untuk penulis, selama proses penelitian hingga penyelesaian tugas akhir.
4. Seluruh rekan-rekan di Laboratorium Riset Gempa, yang senantiasa berbagi ilmu dan memberikan semangat kebersamaan di Lab.

5. Teman-teman **The Magnetic, Marwa dan Feny** yang selalu ada memberikan semangat hingga saat ini, terima kasih.
6. Teman-teman **Posko 10 KKNT108 Palangga**, terima kasih atas pengalaman, ilmu dan canda tawanya.
7. Saudara-saudariku seangkatan 2019 Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Hasanuddin, PORTLAND 2020, terkhusus **Wahida, Mutiara, Siti Husnianti Husain dan Andi Khaerunnisa**. *We are the Champion Keep on Fighting Till the End.*

Saya berharap semoga Tuhan Yang Maha Esa mengaruniakan rahmat dan hidayah-Nya kepada semua pihak. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, Aamiin.

Gowa, 2023

Lisa Bunga Pagalla

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan salah satu pembentuk struktur yang umum digunakan. Banyak pembangunan konstruksi di Indonesia menggunakan beton. Dari pembangunan yang paling sederhana hingga proyek dengan teknologi rumit, menyebabkan beton menjadi kebutuhan yang tidak terelakkan. Hal ini sejalan dengan semakin meningkatnya pembangunan infrastruktur di Indonesia sehingga menyebabkan tingginya permintaan kebutuhan beton. Menurut SNI 2847:2019, bahan penyusun beton meliputi campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*), di mana setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda.

Pentingnya peranan konstruksi beton menuntut suatu kualitas beton yang memadai. Salah satu yang mempengaruhi kualitas beton adalah kualitas dan kuantitas semennya. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10-20%, namun semen sebagai bahan pengikat berperan penting dalam proses pengerasan beton (Ranti, 2022). Pada umumnya penggunaan bahan *pozolanik* atau bahan tambahan kimia akan mempengaruhi sifat-sifat dari beton baik beton segar maupun beton yang telah mengeras.

Berdasarkan SNI 7656:2012 kebutuhan semen dalam beton adalah sama dengan perkiraan kadar air pencampur dibagi rasio air-semen. Namun demikian, bila persyaratannya terdapat pembatasan pemakaian semen minimum secara terpisah selain dari persyaratan kekuatan dan keawetan, campuran haruslah didasarkan pada kriteria apapun yang mengarah pada pemakaian semen yang lebih banyak. Hal ini mengharuskan industri konstruksi memproduksi material semen dalam jumlah besar. Pembuatan semen merupakan proses intensif energi dan menghasilkan polusi sekitar 5-8% emisi karbondioksida (CO₂) secara keseluruhan. Pengaruh yang tinggi ini dikarenakan setiap ton pabrik semen melepaskan satu ton CO₂ ke udara dari pembakaran bahan bakar dan bahan baku semen. Dampak lingkungan yang negatif dan semakin tingginya permintaan masyarakat akan beton menjadi alasan upaya penelitian untuk menemukan

substitusi semen yang efisien dalam produksi beton. Berdasarkan pengamatan praktik pembuangan limbah yang tidak efektif di Indonesia, limbah kaca di analisis memiliki potensi untuk digunakan dalam produksi beton. Pemanfaatan limbah kaca dapat membantu menciptakan lingkungan berkelanjutan dan bebas polusi.

Limbah kaca merupakan salah satu penyebab masalah lingkungan yang kronis karena sangat sulit terurai dalam tanah. Kaca banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari melalui produk manufaktur salah satunya yaitu kaca botol. Sifat kaca botol berpotensi besar untuk dapat didaur ulang sehingga membantu dalam penghematan energi dan perbaikan lingkungan. Pentingnya peningkatan kesadaran masyarakat akan daur ulang kaca dapat mempercepat perubahan penggunaan limbah kaca dengan bentuk berbeda di berbagai bidang. Salah satu kontribusinya yang signifikan adalah pada bidang konstruksi dimana limbah kaca digunakan kembali untuk produksi beton. Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai serbuk kaca atau glass powder (GP) sebagai substitusi semen pada pembuatan beton. (Rajendran dkk, 2021) mengatakan bahwa dengan menggunakan limbah kaca dalam beton sebagai bahan pengikat maka limbah kaca dapat berkurang di lingkungan. Kaca menyebabkan masalah reaksi silika alkali yang merusak. Jika kaca digiling halus, GP mencapai sifat pozzolan semen yang membutuhkan hidrasi. Dengan mengganti semen dalam beton dengan GP, kekuatan dapat dicapai secara proporsional. Oleh karena itu perlu penelitian lanjutan untuk mengetahui efektifitas penggunaan GP sebagai substitusi semen dalam pembuatan beton.

Meningkatnya permintaan semen dapat dipenuhi dengan substitusi semen dari limbah kaca. Penggunaan produk limbah kaca dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan untuk mengikat beton. Pengaruh GP sebagai pengganti semen dalam beton dikendalikan oleh komposisi kimianya yang berhubungan dengan jenis kaca, ukurannya, suhu pengerasan dan ion bebas dalam larutan pori. Parameter ini berperan penting dalam pembentukan kondisi untuk mengembangkan reaksi pozzolan dan alkali-silika. Peningkatan kuat tekan beton dapat terjadi karena salah satu atau kedua efek tersebut yaitu reaksi *pozzolanik*. Reaktivitas *pozzolanik* kaca diidentifikasi melalui pengamatan *X-Ray*

Fluoresence (XRF) dimana butiran kaca yang lebih halus menunjukkan reaktivitas yang lebih tinggi daripada butiran kaca yang lebih besar.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis melakukan penelitian secara eksperimental mengenai pengujian kuat tekan dan kuat tarik untuk mengetahui nilai kekuatan tekan beton dan kekuatan tarik belah beton akibat pengaruh variasi GP dengan perlakuan perendaman dalam penelitian ini menggunakan limbah botol sebagai substitusi semen. Penelitian ini dimanifestasikan dalam sebuah Tugas Akhir (Skripsi) dengan judul:

**“STUDI PENGARUH PERENDAMAN VARIASI GLASS POWDER
(LIMBAH BOTOL) SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP
KARAKTERISTIK BETON”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *glass powder* sebagai substitusi semen terhadap nilai kekuatan tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh *glass powder* sebagai substitusi semen terhadap nilai kekuatan tarik belah beton?
3. Bagaimana pengaruh *glass powder* sebagai substitusi semen terhadap nilai modulus elastisitas beton?
4. Bagaimana pengaruh perendaman *glass powder* substitusi semen terhadap kekuatan tekan, kekuatan tarik belah dan modulus elastisitas beton?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis pengaruh *glass powder* sebagai substitusi semen terhadap nilai kekuatan tekan beton.
2. Menganalisis pengaruh *glass powder* sebagai substitusi semen terhadap nilai kekuatan tarik belah beton

3. Menganalisis pengaruh *glass powder* sebagai substitusi semen terhadap nilai modulus elastisitas beton.
4. Menganalisis pengaruh perendaman *glass powder* substitusi semen terhadap kekuatan tekan, kekuatan tarik belah dan modulus elastisitas beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan inovasi bagi industri konstruksi untuk memproduksi beton yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya terkait dengan studi pengaruh perendaman *glass powder* sebagai substitusi semen terhadap pembuatan beton.

1.5 Ruang Lingkup

Untuk mencapai tujuan penelitian dan menghindari pembahasan diluar dari konsep penelitian, maka pada penelitian ini perlu dibuat ruang lingkup atau asumsi perancangan sebagai berikut:

1. Limbah kaca yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah kaca botol yang sudah digiling menjadi serbuk kaca dan lolos saringan No 200.
2. Pengujian dilakukan terhadap serbuk kaca substitusi semen dengan variasi 15%, 20%, dan 25%.
3. Semen yang digunakan adalah Portland Cement BSW
4. Melakukan perendaman *glass Powder* sebelum pencampuran dengan bahan beton lainnya.
5. Pengujian kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah beton dengan ukuran silinder 10 x 20 cm pada umur 28 hari sebanyak masing-masing 3 sampel.
6. Benda uji diberi beban aksial dengan beban merata seukuran penampang silinder menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* (UTM) dengan kapasitas 1000 kN.
7. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil berdasarkan standar pegujian yang berlaku.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Hossam A. Elaqla dkk (2019), melakukan penelitian terhadap pengaruh waktu perendaman *glass powder* (GP) terhadap sifat mekanik beton yang mengandung GP sebagai substitusi semen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu perendaman GP dalam air sebelum dicampur dengan bahan beton lainnya terhadap sifat beton segar dan keras. Variasi perendaman dilakukan sebanyak enam kali (0, 1, 2, 6, dan 12 jam) dan diselidiki dengan jumlah GP yang berbeda yaitu (0, 2.5, 10, dan 20%).

Metode pencampuran beton pada penelitian ini diawali dengan pencampuran semen dan agregat kering selama 2 menit sesuai dengan ASTM C192/C192. Untuk Menyelidiki pengaruh waktu perendaman GP dalam air, GP pertama kali dicampur dengan jumlah air yang ditentukan pada $w/c = 0.67$ selama 0, 1, 2, 6, dan 12 jam. Setelah itu air yang mengandung GP ditambahkan ke semen dan agregat kemudian dicampur perlahan selama 2 menit dan semua bahan dicampur kemudian dihentikan selama 4 menit. lalu memasukkan campuran beton kedalam kubus beton berukuran 10x10x10 cm dicor untuk uji kuat tekan.

Berdasarkan hasil metode pencampuran GP dalam air menunjukkan konsentrasi Na dalam air sebagai fungsi waktu perendaman dan jumlah GP. Perendaman GP dalam air menyebabkan pembentukan ion Na lebih banyak daripada ion Ca, karena ion Na memiliki mobilitas yang lebih rendah daripada ion Ca. Konsentrasi Na menurun seiring dengan penambahan waktu perendaman karena berikatan dengan SiO_2 pada permukaan partikel GP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tekan optimum diperoleh pada campuran 2,5 dan 5% GP dan pada waktu perendaman 3 jam dan 6 jam. Pada usia dini, kuat tekan yang tinggi berasal dari efek ganda dari pengembangan reaksi *pozzolanik* karena peningkatan ion bebas dalam air sebelum pencampuran dengan beton dan efek pengisian GP. Kemudian, pada waktu curing yang lama, peningkatan kuat tekan berkorelasi dengan kemajuan reaksi *pozzolan* dari GP.

Hossam A. Elaqla dkk (2019), juga melakukan studi penyelidikan terhadap pengaruh penggunaan limbah local GP sebagai pengganti semen pada beton segar dan beton keras. Empat presentase GP digunakan: 0%, 10%, 20%, dan 30%. Terdapat dua metode pencampuran yang digunakan dalam penelitian ini. Pertama, metode pencampuran konvensional, dimana GP ditambahkan dengan semen dan agregat selama 2 menit, kemudian *mixer* dihentikan selama 4 menit. Setelah itu melakukan uji slump pada kubus beton dengan ukuran (10x10x10 cm) dan prisma beton (10x10x50 cm) disiapkan untuk kompresi. Kedua, GP dilarutkan dalam air selama 8 jam sebelum ditambahkan ke semen dan agregat. Kemerostan meningkat karena penggantian GP, meningkat pada beton karena adanya lebih banyak air bebas dalam struktur, yang menyebabkan kepadatan lebih rendah dan penyerapan air lebih tinggi. Akibatnya, kuat tekan metode campuran konvensional menurun seiring bertambahnya GP pada usia dini. Kemudian, setelah 90 hari, kuat tekan tertinggi diperoleh untuk 20% GP. Metode pencampuran baru menunjukkan kekuatan tekan yang lebih tinggi daripada metode campuran konvensional. Menggunakan 10% GP dalam metode pencampuran baru memberikan peningkatan yang signifikan, sekitar 130% dari kuat tekan campuran control. Peningkatan ini dapat dikaitkan dengan hidrolisis GP menjadi ion bebas SiO_2 , CaO dan Na_2O dalam air yang membentuk lebih banyak CSH. Indeks relative membuktikan peningkatan reaktivitas GP dengan meningkatnya jumlah GP.

Gerges dkk (2018) dengan judul “*Recycled Glass Concrete : Coarse and Fine Aggregates*”. Penelitian ini menggunakan Limbah kaca (botol hijau, coklat, dan transparan) sebagai agregat halus. Pasir grading, warna kaca, sumber limbah kaca (botol dan non-botol), dan kekuatan campuran desain digunakan sebagai parameter. Selain itu limbah kaca botol hijau juga digunakan untuk agregat kasar. Parameter yang digunakan adalah limbah botol kaca yang lolos uji *L.A. Abrasion*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Penggabungan pasir kaca terlepas dari rasio penggantian tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan pada sifat segar atau mekanik beton kecuali untuk kasus botol transparan. Li

Agboola Shamsudeen Abdulazeez dkk (2020), melakukan penelitian terhadap pengaruh limbah GP sebagai *pozzolanik* material dalam produksi beton. Pada penelitian ini GP bekas dibersihkan, kemudian digiling dan di komposisi

oksida dari bubuk menunjukkan bahwa ia dapat memiliki dan dapat digunakan sebagai bahan pozolan dengan konstituen penting dari pozollana yang meliputi 71,3% SiO₂ 2,4% Al₂O₃ dan 0,4% Fe₂O₃ konten hingga 74,1%. WGP (*Waste glass powder*) digunakan untuk menggantikan semen dengan rasio 5% - 20%. Workability campuran segar termasuk dalam klasifikasi rendah dan Sedang, sedangkan kekuatan tekan menurun di atas tingkat penggantian semen 10% pada 28 hari perawatan yang menunjukkan bahwa tingkat penggantian 10% dan 15% memenuhi persyaratan BS EN 206-1: 2000 masing-masing untuk kelas C25/30 dan C20/25 untuk beton berat dan LC25/28 dan LC20/22 untuk beton ringan. Kesimpulannya, kekuatan tarik menurun di atas 12,5% dengan tingkat penggantian 10% dengan indeks kekuatan tertinggi.

Studi ini menunjukkan bahwa WGP dapat diganti hingga 15% dengan tingkat penggantian 10% dengan mx terbaik menggunakan rasio W/C 0,5. Nilai terkait kepadatan menunjukkan hasil yang serupa dengan penurunan kepadatan pada 28 hari. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa WGP merupakan material *pozolanik* yang baik untuk beton dan pada tingkat penggantian optimum 10% dapat menghasilkan beton yang sangat kuat namun dapat digunakan hingga 15%.

R. Rajendran dkk (2021), melakukan investigasi dengan gelas limbah yang dihancurkan dan digiling menjadi GP sebagai substitusi bahan pengikat beton. Ukuran serbuk yang dilewatkan pada loyang berukuran 90 mm. Campuran beton konvensional dibuat dan dicor dalam cetakan kubus, silinder dan balok. Masa perawatan dalam 7 hari dan 28 hari masing-masing memiliki 16,5 N/mm² , 25 N/mm² . Pada perancangan ini campuran GP bekas diganti berdasarkan 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Beton dicor pada kubus (150 mm x 150 mm x 150 mm), silinder (150 mm x 300 mm) dan balok (500 mm x 100 mm x 100 mm). Setelah 24 jam cetakan dibongkar dan proses curing dimulai. Pengujian dilakukan sesuai prosedur. Setelah itu dilakukan tes, dan bacaan dicatat. Dengan menggunakan formula yang sesuai, kekuatan tekan, kekuatan lentur dan kekuatan tental dihitung.

Hasil uji kuat tekan dengan penambahan GP dengan persentase 20% diperoleh kekuatan nominal 18,44 N/mm² selama 7 hari. Pada 28 hari mencapai kekuatan nominal pada penggantian 20%. Dari pengujian kubus ini terlihat jelas

penggantian 20% memberikan kuat tekan yang baik pada umur 7 hari dan 28 hari. Sedangkan uji belah dilakukan dengan menerapkan beban pada sumbu horizontal silinder. Retakan terjadi di tengah silinder, beban yang diterapkan dicatat dan hasilnya ditabulasikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan GP hingga penggantian semen 20% memberikan kuat tekan. Setelah mencapai 20% penggantian kaca, kekuatannya akan menurun. Menambahkan kaca lebih dari 20% menurunkan workability dan kekuatan beton. Dengan menggunakan beberapa bahan kimia, workability dan setting time dapat dipertahankan. Kuat tekan maksimum pada prosentase optimum adalah 28,22 N/mm², Tegangan tarik 2,44 N/mm² dan kuat lentur 23 N/mm². Penggunaan gelas limbah dalam semen mengurangi CO₂ selama produksi.

Z.Kalakada dkk (2020), melakukan penelitian tentang pembuatan beton yang berfokus pada penyelidikan mengenai sifat *pozzolanik* dari GP kasar (150 mm) yang digunakan sebagai pengganti semen; Tingkat substitusi yang digunakan adalah 15% dan 30% berat semen. Selain pengujian kuat tekan dasar, uji ketahanan seperti susut pengeringan, ketahanan terhadap penetrasi ion klorida dan panas hidrasi juga dievaluasi. Penggantian GP dibatasi hingga 30%, karena penelitian sebelumnya telah secara konsisten menunjukkan bahwa, di luar substitusi 30%, hidrasi sekunder berhenti akibat tidak adanya kapur untuk reaksi pozzolan.

Hasil pengujian tekan menunjukkan bahwa pengurangan air yang diterapkan pada campuran GP menghasilkan kinerja kekuatan yang lebih baik pada campuran daripada kontrol, terutama pada rasio w/cm yang lebih rendah yaitu 0,39. Semua campuran menunjukkan peningkatan kekuatan tekan dengan umur pengawetan, menunjukkan reaksi hidrasi progresif. Namun, peningkatan kekuatan pada campuran GP lebih terlihat pada rasio berat/berat yang lebih rendah yaitu 0,39 dibandingkan dengan campuran yang menggunakan rasio berat yang lebih tinggi yaitu 0,5 dan 0,45. Hal ini mungkin karena perbedaan kandungan semen, peningkatan jumlah semen dalam campuran yang dibuat dengan rasio w/cm rendah 0,42 dan 0,39 merangsang hidrasi sekunder partikel kaca sehingga menyebabkan peningkatan kekuatan.

Studi sebelumnya telah menggunakan GP yang lebih halus (<100 mm) dan kebanyakan dari mereka memilih GP dengan distribusi ukuran yang analog dengan semen yang diganti. Beberapa peneliti telah menyelidiki atribut pozzolan dari GP kasar, namun, mengakibatkan nilai SAI dibawah 100%. **Shao dkk (2000)**, menggunakan GP 150 mm pada penggantian sebagian semen 30% dan melaporkan nilai SAI 80% pada usia curing 90 hari. Selanjutnya, **Shayan dan Xu (2002)**, menggunakan dua ukuran GP yang berbeda, GP1 (40–700 mm) dan GP2 (300 mm) dan melaporkan nilai SAI masing-masing 70% dan 90% pada 28 hari periode pengawetan. Namun, penelitian sebelumnya menggunakan GP halus dan kasar secara konsisten menunjukkan bahwa kinerja GP halus jauh lebih baik dibandingkan dengan GP kasar karena peningkatan aktivitas pozzolan karena pengurangan ukuran. Sejumlah besar energi akan digunakan untuk membuat GP dari kasar menjadi halus tergantung pada teknik penggilingan yang digunakan.

2.2 Beton

Proses awal terjadinya beton adalah pasta semen yaitu proses hidrasi antara air dengan semen, jika ditambahkan agregat halus menjadi mortar dan menjadi beton jika ditambahkan dengan agregat kasar dengan atau tidak menggunakan bahan tambah (additif) lainnya yang bersifat kimiawi ataupun fisikal pada perbandingan tertentu, sampai menjadi satu kesatuan yang homogen. Penambahan material lain akan membentuk beton menjadi jenisnya seperti beton bertulang jika ditambahkan dengan tulangan baja. Pencampuran agregat halus dan agregat kasar dengan menambahkan semen secukupnya berfungsi sebagai perekat bahan susun beton, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia maka campuran tersebut yang akan mengalami proses pengerasan seperti batuan. Pengerasan terjadi karena peristiwa reaksi kimia antara semen dengan air. **Tjokrodimuljo (1992)**, mengungkapkan bahwa beton yang sudah keras dapat dianggap sebagai batu tiruan, dengan rongga-rongga antara butiran besar diisi oleh butiran yang lebih kecil, dan pori-pori di antara butiran-butiran agregat halus ini diisi oleh semen dan air.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 2847:2019) beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat

kasar dan air bersih dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Material pembentuk beton tersebut dicampur merata dengan komposisi tertentu menghasilkan campuran yang homogen sehingga dapat dimasukkan dalam cetakan untuk dibentuk sesuai keinginan seperti cetakan silinder, cetakan balok dan lain sebagainya, Campuran tersebut bila dibiarkan akan mengalami pengerasan sebagai akibat reaksi kimia antara semen dan air yang berlangsung selama jangka waktu panjang atau dengan kata lain campuran beton akan bertambah keras sejalan dengan umurnya. Menurut SNI 2847:2019 berat beton normal tipikal memiliki kepadatan (berat jenis) antara 2155 dan 2560 kg/m³ , dan normalnya diambil nilai sebesar 2320 hingga 2400 kg/m³ .

Dalam adukan beton, air dan semen membentuk pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori di antara butiran agregat halus juga bersifat sebagai perekat/pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling merekat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak/padat. Selain itu **Tjokrodimuljo (1996)**, juga mengungkapkan kualitas dan kuantitas air mempengaruhi pengerasan dan kekuatan. Pada saat keras, beton diharapkan mampu memikul beban sehingga sifat utama yang harus dimiliki oleh beton adalah kekuatannya. Adapun faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah perbandingan berat air dan semen, tipe dan gradasi agregat, kualitas semen, dan perawatan (*curing*). Menurut **Nawy (2008)**, adapun parameter-parameter yang paling penting mempengaruhi kekuatan beton, antara lain; kualitas semen, proporsi semen terhadap campuran, kekuatan dan kebersihan agregat, Interaksi atau adesi antara pasta semen dengan agregat, pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton, penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton, perawatan beton, dan kandungan klorida tidak melebihi 0.15% dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos.

Beton memiliki kelebihan serta kelemahan dalam kegunaannya sebagai struktur bangunan. Kelebihan dalam pemakaian bahan beton untuk struktur bangunan dibandingkan dengan bahan bangunan lainnya adalah:

1. Beton dapat mudah dibentuk sesuai dengan keinginan sehingga dapat menghasilkan bentuk yang beragam, mulai dari pelat, balok, kolom.
2. Bahan-bahan penyusun beton mudah didapat.

3. Perawatan beton dapat dilakukan dengan mudah.
4. Beton tahan terhadap tekanan, dan tahan terhadap cuaca.
5. Tahan terhadap temperatur yang tinggi
6. Dibandingkan dengan bahan lain, beton memiliki usia layan yang sangat panjang.
7. Harga relatif rendah.

Kelemahan beton sebagai suatu bahan struktur bangunan :

1. Beton memiliki kuat tarik yang rendah, sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik.
2. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
3. Selama proses pengerasan campuran beton, kelembaban beton harus dipertahankan untuk mendapatkan hasil yang direncanakan. Fungsi dari air adalah untuk mempermudah dalam proses pencampuran beton, tetapi jika kelebihan air akan menimbulkan banyak pori-pori pada beton sehingga hasilnya kekuatan beton akan berkurang.
4. Beton tidak kedap terhadap air (permeabilitas beton relatif tinggi), mudah terdesintegrasi oleh sulfat yang dikandung oleh tanah.

Kelemahan dan kelebihan tersebut ditentukan oleh sifat-sifat material pembentuknya, perbandingan campuran, dan cara pelaksanaan pekerjaan. Beton yang digunakan sebagai struktur dalam konstruksi memiliki banyak manfaat dalam ilmu teknik sipil. Pada bidang struktur beton digunakan untuk bangunan pondasi, kolom, balok, pelat atau pelat cangkang. Dalam bidang hidrologi, beton digunakan untuk bangunan air seperti bendung, bendungan, saluran, dan drainase perkotaan. Beton juga digunakan dalam bidang transportasi untuk pekerjaan rigid pavement I (lapis keras permukaan kaku), saluran samping, gorong-gorong, dan lainnya.

2.3 Glass Powder

kaca merupakan limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri dan rumah tangga yang tidak bisa terurai, apabila jumlahnya terlalu banyak maka akan merusak lingkungan. Penggunaan kaca sendiri sangat banyak digunakan

diberbagai keperluan manusia yang menyebabkan tuntutan 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 seperti limbah botol merupakan limbah yang tidak akan terurai secara alami oleh zat organik, dengan demikian diperlukan berbagai penanganan alternatif untuk mendaur ulang limbah botol. Limbah botol dapat didaur ulang menjadi serbuk kaca yang dapat digunakan sebagai material substitusi dalam pemanfaatan bahan campuran penyusun beton.

Pengelolaan limbah botol merupakan salah satu dari sekian banyak cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi timbunan limbah botol di TPA maupun dampak pencemarannya. Limbah kaca botol dapat di daur ulang menjadi bahan dalam campuran beton. **Cut Rahmawati dkk (2022)**, melakukan pengelolaan limbah kaca botol menjadi serbuk kaca dengan metode modifikasi ukuran limbah kaca botol. Kaca botol terlebih dahulu dikelompokkan berdasarkan warnanya. Hal ini karena bahan kimia yang berbeda harus ditambahkan ke sampah kaca yang berbeda warnanya untuk menghasilkan kaca daur ulang dengan warna yang diinginkan. Kemudian limbah botol tersebut dicuci bersih dan dijemur. Selanjutnya botol-botol tersebut dimasukkan ke dalam mesin penghancur berkapasitas 50 Kg/jam dengan motor penggerak dinamo 2 Hp. Serbuk kaca yang dihasilkan disaring dengan saringan 200 mesh. Setelah dihaluskan serbuk kaca diuji index properties meliputi uji densitas dan ukuran rata-rata butiran.

Menurut **Karwur dkk (2013)**, limbah kaca dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan pengisi pada beton karena kaca memiliki ketahanan terhadap cuaca dan serangan zat kimia yang baik. Serbuk kaca diharapkan berfungsi sebagai pengganti semen karena memiliki potensi sebagai material pozzoland dengan kandungan silica (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

Z.Kalakada dkk (2020), melakukan pemeriksaan terhadap kandungan komposisi unsur GP ditentukan dengan menggunakan teknik *X-ray fluorescence* (XRF), karena jumlah dari tiga oksida (SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3) dari GP lebih besar dari 70%, memenuhi syarat sebagai bahan semen untuk digunakan sebagai

pozzolan (Kelas N/F/C) menurut ASTM C618. *Scanning electron microscopy* (SEM) dilakukan pada semen dan GP dengan tingkat pembesaran yang berbeda. Dibandingkan dengan semen, partikel GP tampak lebih bersudut, lebih padat dan jauh lebih besar.

You dkk (2016), melakukan studi yang menunjukkan bahwa partikel kaca halus yang dihancurkan menunjukkan karakteristik pozzolan dan, karenanya, kaca limbah daur ulang digunakan dalam industri konstruksi. Sifat fisik dan kimia kaca tidak berubah bahkan setelah beberapa kali konsumsi; oleh karena itu, material tersebut didaur ulang secara global. Selama tiga dekade terakhir, kaca limbah daur ulang telah digunakan sebagai pengganti agregat halus dalam beton, tetapi hal itu mengarah pada peningkatan risiko reaksi *alkali-silika* (ASR), yang bahkan akhirnya memperburuk beton yang dimodifikasi dengan menurunkan sifat mekanik dan sifat daya tahan. Alasan utama kerusakan ini adalah persentase silika yang tinggi dalam kulet kaca, yang meningkatkan kemungkinan ASR dalam beton. Menurut literatur, ASR adalah ekspansi merusak yang terjadi pada beton dari reaksi antara mineral silika yang terdapat dalam agregat dan larutan pori alkali dalam beton. Belakangan, penyelidikan telah menunjukkan bahwa terjadinya ASR dalam beton bergantung pada ukuran partikel dan distribusi dalam kaca yang digunakan—dengan berkurangnya ukuran partikel, kemungkinan ASR berkurang. Efek supresi serbuk kaca terhadap pemuai ASR pada beton dihasilkan dari karakteristik *pozzolanik* serbuk kaca, yang mirip dengan bahan *pozzolanik* lainnya, seperti abu terbang, asap silika, dan metakaolin. Hasil ini mendorong penggunaan serbuk kaca daur ulang dengan distribusi ukuran partikel mikroskopis sebagai pengganti semen.

2.4 Material Penyusun Beton

Material penyusun beton dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu bahan aktif dan bahan pasif. Kelompok aktif yaitu semen dan air, sedangkan yang pasif yaitu pasir dan kerikil (disebut agregat, agregat halus dan agregat kasar). Kelompok aktif disebut perekat/pengikat sedangkan yang pasif disebut bahan pengisi .

2.4.1 Semen

Semen merupakan material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen dikelompokkan ke dalam dua jenis yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen hidrolis adalah campuran senyawa kimia jika dicampur dalam air dalam jumlah tertentu akan mengikat bahan-bahan lain menjadi satu kesatuan massa yang dapat memadat dan mengeras. Contohnya seperti semen portland, semen putih dan sebagainya, sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air. Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Selain itu juga mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat. Semen hanya kira-kira 10 persen saja dari volume beton sebagai bahan aktif pengikat antar agregat. Umumnya semen yang digunakan sebagai bahan konstruksi pada pekerjaan beton adalah Semen Portland (ASTM C150-1985).

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mencampurkan batu kapur yang mengandung kapur (CaO) dan lempung yang mengandung silika (SiO_2), oksida alumina (Al_2O_3) dan oksida besi (Fe_2O_3) dalam oven dengan suhu kira-kira 145°C sampai menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan, digiling sampai halus disertai penambahan 3-5% gips untuk mengendalikan waktu pengikat semen agar tidak berlangsung terlalu cepat (**Aman Subakti,1994**). Semen portland dibagi menjadi 5 kategori berdasarkan jenis dan penggunaannya sesuai dengan SNI 2049:2004 adalah sebagai berikut.

- a. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
- b. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
- e. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Semen tipe I digunakan untuk bangunan-bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Semen tipe II yang memiliki kadar C3A tidak lebih dari 8% digunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus-menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau untuk pondasi yang tertanam di dalam tanah yang mengandung air agresif (garam-garam sulfat) dan saluran air buangan atau bangunan yang berhubungan langsung dengan rawa. Semen tipe III, memiliki kadar C3A serta C3S yang tinggi dan butirannya digiling sangat halus, sehingga cepat mengalami proses hidrasi. Semen jenis ini dipergunakan pada daerah yang bertemperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin (*winter season*). Semen tipe IV mempunyai panas hidrasi yang rendah, kadar C3S nya dibatasi maksimum sekitar 35% dan kadar C3A nya maksimum 5%. Semen tipe V digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industri, bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia yang agresif serta untuk bangunan yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dalam prosentase yang tinggi total alkali yang terkandung dalam semen dalam campuran beton harus dibatasi sekitar 0,5% - 0,6%

2.4.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Kira-kira 70% volume mortar atau beton diisi oleh agregat. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton.

Berdasarkan sumbernya agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu, agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*). Contoh agregat yang berasal dari sumber alam adalah pasir alami dan kerikil, sedangkan contoh agregat buatan adalah agregat yang berasal dari *stone crusher*, hasil residu terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pecahan genteng, pecahan beton, *fly ash* dari residu PLTU, *extended shale*, *expanded slag* dan lainnya. Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu, agregat kasar dan agregat halus. Batasan ukuran antara agregat halus dengan

agregat kasar yaitu 4,80 mm (*British Standard*) atau 4,75 mm (Standar ASTM). Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,80 mm (4,75 mm) dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4,80 mm (4,75 mm).

2.4.2.1 Agregat Kasar

Kekuatan dan sifat-sifat structural beton sangat berpengaruh terhadap agregat kasar yang digunakan. Oleh karena itu, agregat kasar yang digunakan sebaiknya memiliki butiran yang cukup keras, bebas dari retakan atau bidang-bidang yang lemah, bersih dan permukaannya tidak tertutupi oleh lapisan. Selain itu, sifat-sifat agregat kasar juga memengaruhi lekatan antara agregat-mortar dan kebutuhan air pencampur. Berikut jenis agregat kasar yang umum digunakan adalah:

1. Batu pecah alami, yaitu agregat kasar yang diperoleh dari batuan cadas atau batu pecah alami yang digali.
2. Kerikil alami, yaitu agregat kasar berupa kerikil yang diperoleh dari proses pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir secara alami.
3. Agregat kasar buatan, yaitu agregat yang diperoleh dari hasil buatan berupa slag atau shale yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan.
4. Agregat yang digunakan untuk pelindung nuklir, yaitu agregat kasar dengan bobot yang berat dan dapat berupa baja pecah, magnetit, limonit, dan barit.

Menurut SNI 2847:2019 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 ini dipakai secara bersama-sama dengan media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan. Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton 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. Adapun ketentuan gradasi agregat kasar yang dapat digunakan pada pembuatan beton dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Ketentuan gradasi agregat kasar (SNI 2843:2000)

Ukuran saringan				% Lolos saringan/ayakan		
(ayakan)				Ukuran	Ukuran	Ukuran
mm	SNI	ASTM	inch	maks. 10 mm	maks. 10 mm	maks. 40 mm
75	76	3 in	3,00			100 - 100
37,5	38,1	1½ in	1,50		100 - 100	95 - 100
19	19,0	¾ in	0,75	100 - 100	95 - 100	35 - 70
9,5	9,6	3/8 in	0,3750	50 - 85	30 - 60	10 - 40
4,75	4,8	no. 4	0,1870	0 - 10	0 - 10	0 - 5

Sementara itu berdasarkan ketentuan SNI agregat kasar dapat dibagi menjadi dua, yaitu agregat kasar tak dipecah dan agregat kasar dipecahkan. Perbedaan kedua agregat kasar tersebut terdapat pada bentuk dan tekstur permukaannya yang mna dapat mempengaruhi keadaan campuran beton. 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.

Adapun persyaratan dan ketentuan penggunaan agregat kasar dalam pembuatan beton yaitu antara lain:

1. Butiran agregat kasar harus bertekstur keras dan tidak berpori, indeks kekerasan < 5%.
2. Agraget kasar harus bersifat kuat, tidak mudah pecah atau hancur. Ketika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur tidak boleh lebih dari 12%-nya, jika diuji dengan garam Magnesium Sulfat bagian yang hancur pada agregat kasar tidak boleh lebih dari 18%.
3. Agregat kasar tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06) lebih dari 1% dalam berat keringnya, jika melampaui 1% maka harus dicuci.

4. Agregat kasar ini tidak boleh mengandung zat relatif alkali yang dapat merusak beton.
5. Butiran agregat kasar yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20% dari berat agregat seluruhnya.
6. Modulus halus butir atau angka kehalusan (*fineness modulus*) pada agregat kasar berkisar antara 6 – 7,1 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
7. Ukuran butir agregat kasar maksimalnya tidak boleh melebihi dari 1/5 jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, 3/4 jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan, dan 1/3 tebal pelat beton.

2.4.2.2 Agregat Halus

Menurut SNI 2847:2019 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 0 mm. Gradasi dan bentuk butiran halus adalah factor-faktor yang penting pada beton yang berkekuatan tinggi. Seperti halnya agregat kasar, bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat halus dapat memengaruhi kebutuhan air dan kuat tekan beton. . **Wang, Chu-Kia dan Charles G. Salmon (1986)** menyatakan bahwa agregat halus bergradasi sama, tetapi kasar porinya berselisih 1% dapat mengakibatkan perbedaan kebutuhan air sebesar kira-kira 5 liter/m³ beton.

Agregat halus dengan modulus kehalusan berkisar antara 2,5 sampai 2 baik digunakan untuk membuat beton yang berkekuatan tinggi. Adukan beton yang dibuat dengan pasir yang memiliki modulus kehalusan kurang dari 2,5 dapat mengalami kelecakan yang buruk. Jika hal ini terjadi maka diperlukan perbaikan dengan menambahkan air dalam jumlah yang lebih banyak ataupun mengkombinasikan pasir dari sumber-sumber yang berbeda untuk memperbaiki gradasi dan meningkatkan kekuatan beton.

Adapun persyaratan dan mutu agregat halus pengisi beton yang ditetapkan oleh ASTM C33 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (dalam % berat) maksimum untuk beton yang mengalami abrasi sebesar 3,0 dan untuk beton jenis lain sebesar 5,0

2. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah dirapikan maksimum sebesar 3,0%
3. Kandungan arang dan lignin untuk permukaan beton yang dianggap penting adalah sebesar maksimum 0,5% dan untuk beton jenis lainnya maksimum sebesar 1,0%
4. Agregat halus harus bebas dari kotoran organik dan bila diuji dengan larutan NaSO_4 harus memenuhi standar warna (tidak lebih tua dari warna standar).
5. Untuk dapat digunakan sebagai campuran beton, persen lolos kumulatif dari agregat halus tidak boleh melebihi 45%, sedangkan modulus kehalusan agregat halus harus berada dalam kisaran 2,3 – 3,1

SNI 2834:2002 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus menjadi empat daerah atau zone yaitu : zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus) dan zona IV (halus), batas-batas gradasi dapat dilihat pada **Tabel 2.** berikut.

Tabel 2. Batas-batas gradasi agregat halus (SNI 2834:2002)

No saringan	Ukuran saringan (mm)	Presentase berat yang lolos saringan (%)			
		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	0-20	8-30	12-40	15-50
No.100	0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Tabel 2. menunjukkan batas-batas gradasi untuk agregat halus yang terbagi dalam beberapa zona yang menunjukkan klasifikasi agregat halus. Gradasi agregat diperoleh dengan metode analisa saringan atau sieve analysis yang dilakukan dengan memasukkan agregat pada satu set saringan. Agregat halus yang dipakai harus mempunyai gradasi yang baik, karena akan mengisi ruang-ruang kosong

yang tidak dapat diisi oleh material lain sehingga menghasilkan beton yang padat dan untuk mengurangi penyusutan. Analisa saringan akan memperlihatkan jenis dari agregat halus tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh angka *Fine Modulus*. Klasifikasi *Fine modulus* dapat di golongkan menjadi tiga jenis pasir yaitu :

1. Pasir Kasar : $2,9 < FM < 3,2$
2. Pasir Sedang: $2,6 < FM < 2,9$
3. Pasir Halus : $2,2 < FM < 2,6$.

2.4.3 Air

Air diperlukan untuk membantu terjadi proses kimiawi dengan semen sehingga dapat membasahi agregat maupun sebagai pelumas campuran agar mudah saat proses pengerjaan atau biasa dikenal dengan workabilitas beton. Air yang digunakan dalam campuran beton haruslah air bersih dan tidak mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya , Air yang mengandung senyawa berbahaya bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Adapun beberapa pengaruh air pada campuran beton yaitu :

1. Sifat workability adukan beton
2. Besar kecilnya nilai susut beton
3. Kelangsungan reaksi dengan semen portland
4. Perawatan terhadap adukan beton sebagai proses yang mendukung pengerasan beton

Menurut SNI 2847:2019, Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi:

1. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
2. Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

Air yang diperlukan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

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

Faktor air semen (water cement ratio) adalah perbandingan berat air bebas dengan berat semen. Faktor air semen fas *atau Water Cement Ratio W.C.R* sangat mempengaruhi kekuatan beton. Agar terjadi proses hidrasi yang sempurna dalam adukan beton, pada umumnya dipakai nilai faktor air semen fas antara 0,40 – 0,60 tergantung mutu beton yang hendak dicapai. Kelebihan air meningkatkan kemampuan pengerjaan, akan tetapi menurunkan kekuatan. Untuk menambah daya tahan *workability* kelecakan, sifat mudah dikerjakan diperlukan nilai fas yang lebih tinggi

2.5 Pengujian Karakteristik Beton

2.5.1 Kekuatan Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Menurut SNI 1974:2011 Kuat tekan beton ($f'c$) adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Menurut SNI 2847:2019, kekuatan tekan beton yang digunakan dalam desain dan dievaluasi sesuai dengan standar ini, dinyatakan dalam megapascal (MPa). Bilamana $f'c$ dalam akar kuadrat, hanya nilai numeriknya yang dipakai, dan hasil akarnya mempunyai satuan megapascal (MPa). Nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata yang ditentukan.

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm²).

P = Gaya tekan aksial (N).

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²).

Kuat tekan beton berhubungan erat dengan waktu hidrasi, nilai fas yang digunakan pada saat mencampur beton dan jenis semen yang digunakan. Pada dasarnya waktu hidrasi berhubungan dengan kekuatan beton dimana semakin bertambah umur beton semakin tinggi kekuatan beton yang dihasilkan walaupun dengan peningkatan kekuatan yang semakin kecil. Hal ini berkaitan dengan proses pengerasan yang terjadi di dalam pasta semen yang mana terkait dengan reaktivitas dari masing-masing senyawa pembentuk semen. Selain itu, hal tersebut juga disebabkan karena proses hidrasi semakin sulit dilaksanakan berkaitan dengan semakin meningkatnya jumlah produk hidrasi dan berkurangnya jumlah air atau akses yang tersedia untuk melangsungkan reaksi.

Menurut **Mehta (1986)**, peningkatan nilai fas menyebabkan penurunan pada kuat tekan beton yang dihasilkan. Diketahui bahwa jumlah air yang digunakan dalam adukan beton berhubungan dengan jumlah dan ukuran pori yang terbentuk dalam beton. Semakin banyak air yang digunakan untuk mengaduk beton (nilai fas meningkat) maka jumlah dan ukuran pori yang terbentuk semakin besar sehingga struktur beton menjadi semakin porous yang mana akhirnya akan menghasilkan beton dengan kuat tekan rendah

2.5.2 Kekuatan Tarik Belah Beton

Beberapa cara penyelesaian telah digunakan untuk mengevaluasi nilai kekuatan tarik beton. Pada tes langsung, benda uji ditahan pada kedua ujung dan ditarik sampai putus, kekuatan tarik adalah beban putus dibagi luas penampang benda uji. Pada tes tarik belah, benda uji silinder direbahkan dan ditekan sehingga terbelah menjadi dua bagian akibat tegangan tarik. Pada tes lentur, suatu balok dengan penampang persegi dibebani ditengah atau pada jarak sepertiga dan hancur akibat momen lentur, dimana tegangan tarik yang dihitung pada saat hancur disebut *modulus of rupture*. Tetapi setiap metode pengujian kekuatannya mempunyai hasil karakteristiknya masing-masing. Diasumsikan bahwa kekuatan tarik langsung beton sebesar 10% dari kekuatan tekan beton. Kekuatan tarik belah

kurang lebih sama. Tes tarik langsung merupakan suatu cara mengukur kekuatan tarik beton yang paling logis. Akan tetapi banyak kesulitan yang menyebabkan tes langsung ini jarang digunakan, sehingga pada penelitian ini yang akan dilakukan adalah uji tarik belah. Kekuatan tarik dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$f_{ct} = \frac{2p}{\pi DL}$$

Keterangan :

f_{ct} = Kuat tarik belah (MPa)

P = Beban maksimum (N)

D = Diameter silinder (mm)

L = Panjang silinder (mm)

2.5.3 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas merupakan sifat beton yang berkaitan dengan mudah atau tidaknya beton mengalami deformasi. Dari modulus elastisitas dapat diketahui seberapa besar kekakuan beton tersebut. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai modulus elastisitas beton adalah jenis bahan penyusunnya, kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, serta karakteristik semen dan agregat. Modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan menahan tegangan yang cukup besar dalam kondisi regangan yang masih kecil, artinya bahwa beton tersebut mempunyai kemampuan menahan tegangan yang cukup besar akibat beban-beban yang terjadi pada suatu regangan (kemungkinan terjadi retak) yang kecil.

Tolak ukur yang umum dari sifat elastisitas suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan. Nilai modulus elastisitas beton dapat dihasilkan pada pengujian dilaboratorium menggunakan alat kompressometer yang dipasang pada benda uji beton silinder . hasil pengujian dapat dihitung dengan menggunakan rumus menurut (ASTM C 469 – 02):

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0,000050)}$$

keterangan,

E = Modulus Elastisitas (N/mm²)

S_2 = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (N/mm^2)

S_1 = Tegangan pada saat regangan 0,000050 (N/mm^2)

ϵ_2 = Regangan pada saat S_2

Modulus Elastisitas beton juga dapat dihitung dengan rumus empiris menurut (SNI 2847:2019), yaitu :

1. Beton Normal

$$E = 4700\sqrt{f'c} \quad (4)$$

2. Beton ($W_c = 1440 - 2560 \text{ Kg/m}^3$)

$$E = W_c^{1,5} \times 0,043\sqrt{f'c} \quad (5)$$

keterangan,

E = Modulus elastisitas (N/mm^2)

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

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