

SKRIPSI

**STUDI KARAKTERISTIK BETON DENGAN PENGGUNAAN
VARIASI *GLASS POWDER* SUBSTITUSI PASIR**

Disusun dan diajukan oleh:

**RAHMA MARDIANA
D011 19 1134**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI KARAKTERISTIK BETON DENGAN PENGGUNAAN VARIASI *GLASS POWDER* SUBSTITUSI PASIR

Disusun dan diajukan oleh

Rahma Mardiana
D011 19 1134

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 : Rahma Mardiana
NIM : D011 19 1134
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ STUDI KARAKTERISTIK BETON DENGAN PENGGUNAAN VARIASI
GLASS POWDER SUBSTITUSI PASIR }

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, Mei 2023

Menyatakan



Rahma Mardiana

ABSTRAK

RAHMA MARDIANA. *Studi Karakteristik Beton Dengan Penggunaan Variasi Glass Powder Substitusi Pasir* (dibimbing oleh Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng dan Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.)

Kebutuhan terhadap beton pada dunia konstruksi semakin meningkat seiring dengan hal tersebut tentunya permintaan terhadap material unsur-unsur penyusun beton yang berasal dari alam juga semakin meningkat. Situasi tersebut tentunya menjadi kekhawatiran yang sudah tentu membutuhkan solusi yang berkelanjutan terhadapnya. Salah satu solusi yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan material yang sudah tidak terpakai yang bisa dikategorikan sebagai limbah. Selain itu, banyaknya limbah yang terus bertambah setiap harinya dan tidak dikelola dengan baik justru menjadi masalah bagi lingkungan. Salah satu limbah yang paling banyak dihasilkan adalah kaca. Berdasarkan permasalahan tersebut, limbah kaca diharapkan mampu menjadi material substitusi agregat halus guna mengurangi penggunaan material dari alam. *Glass Powder* merupakan material dari limbah kaca yang telah mengalami proses penghalusan sebelumnya. Untuk itu, diperlukan penelitian terhadap karakteristik beton yang dibuat dari substitusi agregat halus dengan *Glass Powder*. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian karakteristik dan pengamatan terhadap pola retak pada beton yang menggunakan *Glass Powder* sebagai pengganti parsial agregat halus. Pengujian karakteristik yang dimaksud untuk mengetahui perilaku mekanik yang mencakup pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik belah dan modulus elastisitas. Metode pengujian karakteristik pada beton dilakukan berdasarkan standar ASTM dan SNI. Jumlah sampel terdiri atas 24 benda uji beton variasi dengan variasi *Glass Powder* sebanyak 0%, 15%, 20% dan 25%. Hasil dari pengujian yang dilakukan untuk beton variasi yang menggunakan *Glass Powder* diperoleh nilai kekuatan tekan tertinggi pada variasi 15% sebesar 20.44 MPa dan mampu memenuhi nilai kekuatan tekan rencana. Nilai kekuatan tarik belah optimum yang didapatkan sebesar 1.55 MPa. Nilai modulus elastisitas optimum sebesar 22583.22 MPa. Serta, hasil pengamatan pola retak yang menunjukkan berkurangnya ketahanan geser pada beton seiring dengan bertambahnya jumlah *Glass Powder* yang digunakan.

Kata Kunci: Beton, Limbah, *Glass Powder*, Karakteristik, Agregat Halus, Substitusi

ABSTRACT

RAHMA MARDIANA. *Study of Concrete Characteristics Using Variations of Glass Powder Sand Subtitution* (supervised by Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng and Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.)

The need for concrete in the construction world is increasing along with the demand for concrete constituent materials derived from nature is also increasing. This situation is certainly a concern that certainly requires a sustainable solution to it. One solution that can be used is to utilize unused materials that can be categorized as waste. In addition, the amount of waste that continues to grow every day and is not managed properly becomes a problem for the environment. One of the most widely produced wastes is glass. Based on these problems, glass waste is expected to be a substitute material for fine aggregate to reduce the use of natural materials. Glass Powder is a material from glass waste that has undergone a previous pulverization process. For this reason, research is needed on the characteristics of concrete made from the substitution of fine aggregate with Glass Powder. In this study, characteristic testing and observation of crack patterns in concrete using Glass Powder as a partial replacement for fine aggregate were carried out. Characteristic testing is intended to determine the mechanical behavior which includes testing compressive strength, split tensile strength and modulus of elasticity. The method of testing the characteristics of concrete is based on ASTM and SNI standards. The number of samples consisted of 24 concrete test specimens with Glass Powder variations of 0%, 15%, 20% and 25%. The results of the tests carried out for concrete variations using Glass Powder obtained the highest compressive strength value at 15% variation of 20.44 MPa and was able to meet the planned compressive strength value. The optimum split tensile strength value obtained was 1.55 MPa. The optimum modulus of elasticity value is 22583.22 MPa. Also, the observation of the crack pattern shows a reduction in shear resistance in concrete as the amount of Glass Powder used increases.

Keywords: Concrete, Waste, Glass Powder, Characteristics, Fine Aggregate, Subtitution

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
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.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Kaca.....	6
2.3 Beton.....	9
2.4 Bahan Penyusun Beton.....	11
2.4.1 Agregat.....	11
2.4.2 Semen.....	14
2.4.3 Air.....	15
2.4 Kekuatan Tekan.....	16
2.5 Kekuatan Tarik Belah.....	17
2.6 Modulus Elastisitas.....	17
2.7 Pola Retak.....	19
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Tahapan Penelitian.....	21
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	23
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	23
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material.....	25
3.5.1 Pemeriksaan Karakteristik <i>Glass Powder</i> Dan Agregat Halus.....	26
3.5.2 Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar.....	26
3.6 Pembuatan Benda Uji.....	27
3.7 Pemeriksaan Uji <i>Slump</i> Beton.....	28
3.8 Perawatan Benda Uji.....	29
3.9 Pengujian Benda Uji.....	29
3.9.1 Uji Kekuatan Tekan.....	29
3.9.2 Uji Kekuatan Tarik Belah.....	37
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Karakteristik Agregat.....	33
4.1.1 Grafik Gradasi Pasir.....	35

4.2 Rancangan Campuran Beton.....	37
4.3 Beban Puncak.....	37
4.3.1 Perbandingan Beban Puncak Dengan Jenis Semen Berbeda.....	39
4.4 Kekuatan Tarik Belah	40
4.4.1 Perbandingan Kekuatan Tarik Belah Dengan Jenis Semen Berbeda	41
4.5 Modulus Elastisitas	42
4.5.1 Perbandingan Modulus Elastisitas Dengan Jenis Semen Berbeda	42
4.6 Hubungan Beban Terhadap <i>Displacement</i>	44
4.7 Hubungan Tegangan Terhadap Regangan	46
4.8 Pola Retak	48
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Limbah Kaca	8
Gambar 2. Pengolahan limbah kaca (a. Proses sortir limbah kaca; b. Proses pembersihan limbah kaca; c. Proses penghalusan limbah kaca; d. Limbah kaca yang telah dihaluskan	9
Gambar 3. Unsur – unsur Penyusun Beton	10
Gambar 4. Agregat Kasar	13
Gambar 5. Agregat Halus	14
Gambar 6. Diagram Tegangan-Regangan	19
Gambar 7. Sketsa gambar tipe/ bentuk kehancuran benda uji	20
Gambar 8. Bagan Alir Penelitian	22
Gambar 9. Material Beton (a. <i>Glass Powder</i> (Cermin); b. <i>Glass Powder</i> (Bohlam); c. <i>Glass Powder</i> (Botol); d. Pasir; e. Kerikil; f. Semen; g. Air Tawar Bersih)	25
Gambar 10. Pemeriksaan Uji <i>Slump</i> Beton	29
Gambar 11. Perawatan (<i>curing</i>) benda uji beton silinder	29
Gambar 12. Alat akusisi data	32
Gambar 13. Detail alat pengujian kuat tekan	32
Gambar 14. Detail alat pengujian kuat tarik belah	32
Gambar 15. Grafik Gradasi Pasir Alam	35
Gambar 16. Grafik Gradasi <i>Glass Powder</i> (Bohlam dan Botol)	35
Gambar 17. Grafik Gradasi <i>Glass Powder</i> (Cermin)	36
Gambar 18. Grafik Gradasi Pasir Alam dan <i>Glass Powder</i>	36
Gambar 19. Hasil Analisa Kekuatan Tekan	38
Gambar 20. Hasil Analisa Kekuatan Tekan	38
Gambar 21. Hasil Analisa Kekuatan Tekan Berdasarkan Jenis Semen	39
Gambar 22. Hasil Analisa Kekuatan Tarik Belah	40
Gambar 23. Hasil Analisa Kekuatan Tarik Belah Berdasarkan Jenis Semen	41
Gambar 24. Hasil Analisa Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Semen	44
Gambar 25. Hubungan Beban dan <i>Displacement</i> Sampel Beton Normal B-0% ($f'c = 20$ MPa) Umur 28 Hari	44
Gambar 26. Hubungan Beban dan <i>Displacement</i> Sampel Beton Normal B-15% ($f'c = 20$ MPa) Umur 28 Hari	45
Gambar 27. Hubungan Beban dan <i>Displacement</i> Sampel Beton Normal B-20% ($f'c = 20$ MPa) Umur 28 Hari	45
Gambar 28. Hubungan Beban dan <i>Displacement</i> Sampel Beton Normal B-25% ($f'c = 20$ MPa) Umur 28 Hari	46
Gambar 29. Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Normal B-0% ($f'c = 20$ MPa) Umur 28 Hari	47
Gambar 30. Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Normal B-15% ($f'c = 20$ MPa) Umur 28 Hari	47
Gambar 31. Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Normal B-20% ($f'c = 20$ MPa) Umur 28 Hari	47
Gambar 32. Hubungan Tegangan dan Regangan Sampel Beton Normal B-25% ($f'c = 20$ MPa) Umur 28 Hari	48

Gambar 29. Hasil Pola Retak Beton Normal (B-0%) Umur 28 hari.....	48
Gambar 30. Hasil Pola Retak Beton Normal (B-15%) Umur 28 hari.....	48
Gambar 31. Hasil Pola Retak Beton Normal (B-20%) Umur 28 hari.....	49
Gambar 32. Hasil Pola Retak Beton Normal (B-25%) Umur 28 hari.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi kimia semen dan limbah kaca.....	8
Tabel 2. Susunan Butiran Agregat Kasar	12
Tabel 3. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus	13
Tabel 4. Metode standar pengujian karakteristik <i>Glass Powder</i> dan agregat halus	26
Tabel 5. Metode standar pengujian karakteristik <i>Glass Powder</i> dan agregat kasar	26
Tabel 6. Tabel identifikasi pembuatan benda uji	28
Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	33
Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	33
Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik <i>Glass Powder</i> (Botol)	34
Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik <i>Glass Powder</i> (Bohlam)	34
Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik <i>Glass Powder</i> (Cermin)	34
Tabel 12. Rancangan campuran beton (<i>Mix Design</i>).....	35
Tabel 13. Modulus Elastisitas Beton.....	40
Tabel 14. Modulus Elastisitas Beton Dengan Jenis Semen Berbeda.....	41

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_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)
ft	Kekuatan Tarik Belah (MPa atau N/mm^2)
L	Panjang Benda Uji (mm)
d	Diameter Benda Uji (mm)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Analisa Data Modulus Elastisitas	50
Lampiran 2 Proses Penyiapan Material.....	53
Lampiran 3 Proses Pembuatan Benda Uji.....	54
Lampiran 4 Pengujian Benda Uji	55

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil‘aalamin, puji syukur kehadiran Illahi Rabbi atas rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan-Nya, maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari dalam menyusun tugas akhir ini tidak terlepas dari banyaknya bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan sebagaimana mestinya. Dengan demikian, sudah selayaknya dalam kesempatan ini penulis menghaturkan ucapan terima kasih dengan segala kerendahan hati, 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 Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng** , selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing pendamping 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.
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 Sahrul Gunawan dan Ibunda Intan Biduri, atas kasih sayang, pengorbanan serta segala dukungan selama ini baik secara moril dan materi.
2. Saudari tercinta Ulfah Awaliatul Jannah, Tita Noviana Puspa dan Rahmi Mardiani yang selalu memberikan dorongan dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Haslinda, Dwi Nurul, Muh. Sadikin, Muhammad Atar selaku partner penelitian *Glass Powder* yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
4. Teman-teman Lab. Riset Gempa 2019 Valdo, Ricky, Riskiadin, Didik, Cindy, Angi, Hikma, Lisa yang saling membantu dalam proses penyelesaian penelitian.
5. Rekan-rekan Laboran dan Asisten di Lab. Struktur dan Bahan Hasan, Hamrul, Ricky, Juna dan Wanda yang selalu menjadi teman diskusi, bertanya dan berbagi banyak ilmu.
6. Sahabat-sahabat terbaik Nita, Ice, Muthia, Nurul, Yaya dan Debby yang telah membersamai dalam pahit manisnya dunia perkuliahan dan memberi warna yang indah.
7. Saudara-saudariku seangkatan Teknik Sipil dan Lingkungan 2019 yang terhimpun dalam keluarga besar **PORTLAND 2020**. Terima kasih atas segala pengalaman, cerita suka dukanya serta memberi makna pada Arti Sahabat.

Parepare, 23 April 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan infrastruktur di Indonesia meningkat pesat, seiring dengan permintaan kebutuhan pada sektor konstruksi, terutama kebutuhan beton. Beton dengan material penyusun yang berasal dari alam, lambat laun akan semakin berkurang dan menyebabkan kerusakan lingkungan jika eksploitasi sumber daya alam dilakukan secara terus-menerus. Beton akan mempunyai kuat tekan yang tinggi, jika tersusun dari material yang berkualitas baik. Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mengisi sekitar 70% volume beton (Naville, 2010). Untuk itu, tentunya kebutuhan akan agregat akan semakin banyak dan lambat laun tidak akan bisa terpenuhi kebutuhannya. Maka, dibutuhkan bahan pengganti yang dapat memiliki fungsi yang sama dengan agregat. Hal tersebut menjadi landasan untuk melakukan penelitian terhadap agregat yang digunakan agar sedikit banyaknya dapat mengurangi penggunaan agregat yang berasal dari alam yang pada hakikatnya memiliki sifat yang tidak dapat diperbaharui, utamanya pada material yang merupakan limbah dari kehidupan sehari-hari.

Sejalan dengan kemajuan industri, permintaan terhadap penggunaan kaca juga semakin meningkat. Kaca sendiri memiliki peran yang sangat fungsional dalam mencapai tujuan estetika dan kemudahan dalam penggunaannya, bukan hanya pada bangunan tapi juga pada industri bidang lainnya. Dalam beberapa tahun terakhir, telah terjadi peningkatan bertahap dalam jumlah limbah kaca yang dihasilkan karena meningkatnya penggunaan produk kaca. Hal ini menyebabkan limbah kaca yang sangat besar dibuang ke tempat pembuangan akhir (Rashad, 2014). Dikutip Dari CNN Indonesia, rabu, (25/04/2018) sebanyak 24% sampah di indonesia masih tidak terkelola, artinya dari 65 juta ton sampah yang dihasilkan di indonesia setiap harinya, ada sekitar 15 juta ton yang mengotori ekosistem dan lingkungan yang tidak dapat tertangani. Dari kutipan CNN Indonesia tahun 2018 diketahui jenis sampah yang paling banyak dihasilkan adalah jenis sampah organik, sebanyak 60%,

sampah plastik 40%, diikuti sampah kertas 9%, kaca dan kayu dll sebanyak 12,7%.

Dengan banyaknya jumlah limbah yang ada apabila tidak dikelola dengan baik tentunya hanya akan menjadi limbah tidak termanfaatkan. Sifat kaca yang merupakan material yang secara alamiah tidak dapat terurai dengan sendirinya tentu saja akan menimbulkan masalah baru yang berkaitan dengan lingkungan.

Keterkaitan antara banyaknya kebutuhan terhadap agregat dan melimpahnya limbah kaca yang ada dapat menjadi landasan untuk menggunakan serbuk kaca (*glass powder*) menjadi material substitusi parsial dari agregat halus dalam pembuatan beton. Sehingga diharapkan dapat menghasilkan beton dengan mutu yang baik bersamaan dengan pemanfaatan limbah kaca. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian seperti (Ogundairo, 2019); (Meddah, 2019); (Malek, 2020) terkait pemanfaatan limbah kaca sebagai pengganti agregat halus dan melaporkan bahwa limbah kaca cukup baik digunakan dalam mengganti sebagian agregat halus dan menambah kekuatan tekan beton dengan variasi tertentu.

Berdasarkan hal tersebut, untuk melihat karakteristik beton dengan substitusi kaca pada agregat halus maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul **“Studi Karakteristik Beton Dengan Penggunaan Variasi *Glass Powder* Substitusi Pasir “**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka dapat dirumuskan masalah yakni bagaimana pengaruh substitusi parsial agregat halus dengan serbuk kaca pada beton terhadap karakteristik beton.

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis pengaruh substitusi agregat halus dengan serbuk kaca pada beton terhadap nilai kekuatan tekan.

2. Menganalisis pengaruh substitusi agregat halus dengan serbuk kaca pada beton terhadap nilai kekuatan tarik belah.
3. Untuk menganalisis pengaruh substitusi agregat halus dengan serbuk kaca pada beton terhadap nilai modulus elastisitas.
4. Untuk menganalisis pengaruh substitusi agregat halus dengan serbuk kaca pada beton terhadap pola retak.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi sehubungan dengan pengaruh substitusi serbuk kaca pada beton terhadap perilaku mekanik beton yang ditinjau dari kekuatan tekan beton, kekuatan tarik belah beton dan nilai modulus elastisitas beton.
2. Sebagai referensi untuk penelitian lanjutan mengenai pengaruh substitusi agregat halus dengan serbuk kaca pada kekuatan beton.
3. Menjadi dasar rekomendasi dalam penggunaan bahan serbuk kaca sebagai bahan substitusi agregat halus pada beton.

1.5 Ruang Lingkup

Untuk mencapai tujuan penelitian dan menghindari pembahasan diluar dari konsep penelitian, maka pada penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Pengujian dilakukan terhadap serbuk kaca sebagai substitusi pasir dengan variasi 0%, 15%, 20%, dan 25%.
2. Kaca yang digunakan adalah limbah kaca yang sudah digiling menjadi serbuk kaca lolos saringan 4,75 mm atau No.4.
3. Semen yang digunakan adalah Portland Composite Cement.
4. Pengujian kekuatan tarik belah beton dengan ukuran silinder 100 x 200 mm pada umur 28 hari sebanyak tiga sampel.
5. Pengujian kekuatan tekan dan modulus elastisitas dengan ukuran silinder 100 x 200 mm pada umur 28 hari sebanyak tiga 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. Pembebanan dilakukan hingga benda uji mengalami hancur pada beban maksimum.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian daur ulang limbah gelas sebagai pasir dalam memperkuat Dconcrete, dimana menggunakan limbah kaca untuk menggantikan sebagian agregat halus dalam beton dengan mutu rencana 25 MPa. Limbah kaca disubstitusikan pada agregat halus dengan presentasi limbah kaca 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 80%. Serta dikombinasikan penambahan *Silica Fume* dalam campuran beton sebagai pengganti sebagian berat semen sebesar 10% dan penambahan serat kaca dengan perbandingan 1% dari berat semen. Setelah dilakukan pengujian pada kekuatan tekan diketahui bahwa nilai kuat tekan mengalami peningkatan dan melebihi nilai kuat tekan dari beton normal tanpa limbah kaca pada variasi 10%, 20% dan 30%, masing-masing 29,08 MPa, 30,29 MPa dan 31,8 MPa. Namun, dapat diketahui juga bahwa terjadi penurunan nilai kuat tekan pada persentase 40%, 50%, 60%, 80% (Ibrahim, 2020).

Penelitian menggunakan limbah kaca untuk menggantikan sebagian agregat halus dalam beton. Agregat halus diganti dengan bubuk kaca limbah sebanyak 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% berat untuk campuran 25 MPa. Hasil penelitian yaitu pergantian 20% agregat halus dengan limbah kaca menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar 15% pada hari ke-7 dan peningkatan kuat tekan sebesar 25% pada hari ke-28. Hasil penelitian juga menunjukkan dengan meningkatnya kadar limbah kaca, persentase penyerapan air menurun, kemampuan kerja campuran beton meningkat dengan peningkatan kandungan kaca limbah serta kekuatan tarik belah menurun dengan bertambahnya kandungan kaca limbah (Malik, 2013).

Penelitian pemanfaatan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus pada beton dengan mutu rencana 24,95 MPa. Variasi limbah kaca yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus pada campuran beton yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Pengujian terhadap kekuatan tekan beton dilakukan pada 3, 7, 14, 21 dan 28 hari dan dibandingkan dengan

beton yang dibuat dengan beton normal tanpa campuran limbah kaca. Dari hasil pengujian dapat dibuktikan bahwa kekuatan tertinggi yang diberikan oleh limbah kaca setelah 28 hari. Kuat tekan benda uji variasi limbah kaca 20% dan 40% memiliki kuat tekan melebihi dari kuat tekan rencana, masing-masing 26,290 MPa dan 25,602 MPa atau melebihi 5,4% dan 2,6%. Namun, jika dibandingkan dengan beton normal yang dijadikan sebagai beton kontrol, semua variasi limbah kaca mengalami penurunan (Olii, 2021).

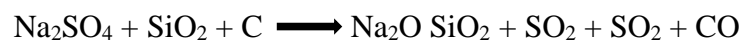
Penelitian untuk mengetahui kekuatan dari *eco-concrete* yang diproduksi menggunakan limbah kaca sebagai pengganti dan substitusi agregat halus. Dalam penelitian ini, ada dua jenis campuran beton yang disiapkan. Campuran pertama merupakan campuran control yang tersusun atas kerikil, pasir, semen Portland dan air yang digabung dengan factor air semen 0.5. Kemudian, untuk campuran kedua merupakan campuran beton variasi dengan menggunakan pasir kaca sebagai material pengganti dan substitusi sebanyak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Adapun kuat tekan beton yang direncanakan sebesar 20 MPa pada 28 hari. Hasil yang diperoleh dengan jelas menunjukkan bahwa pasir kaca tidak dapat digunakan untuk menghasilkan beton ramah lingkungan jika menggunakan lebih dari 50% pasir kaca sebagai bahan substitusi agregat halus karena kekuatan tekan beton secara signifikan menurun. Selain itu, untuk campuran yang optimal dalam menentukan karakteristik kuat tekan dan kuat tarik terbaik dan juga memperhatikan daya tahan beton dengan membatasi jumlah kadar kaca kurang dari 25% dalam campuran beton. Hasil optimum ditunjukkan pada variasi 20% pasir kaca yang memberikan kuat tekan 22.87 MPa dan kuat Tarik belah sebesar 3.25 MPa setelah 28 hari (Olofinnade, 2018).

2.2 Kaca

Kaca adalah salah satu produk industri kimia yang paling akrab dengan kehidupan kita sehari-hari. Dipandang dari segi fisika kaca merupakan zat cair yang sangat dingin. Disebut demikian karena struktur partikel-partikel penyusunnya yang saling berjauhan seperti dalam zat cair, namun kaca sendiri berwujud padat. Ini terjadi akibat proses pendinginan (*cooling*) yang sangat

cepat, sehingga partikel-partikel silika tidak sempat menyusun diri secara teratur. Dari segi kimia, kaca adalah gabungan dari berbagai oksida anorganik yang tidak mudah menguap, yang dihasilkan dari dekomposisi dan peleburan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir serta berbagai penyusun lainnya.

Pasir adalah salah satu dari sekian banyak bahan penyusun kaca material kaca itu. Pasir kuarsa merupakan pasir yang digunakan, karena tidak sembarang pasir bisa digunakan. Hal tersebut dikarenakan pasir kuarsa yang digunakan harus murni dengan kandungan besi yang terkandung dalam pasir tersebut tidak boleh lebih dari 0.015% dalam pembuatan kaca optik atau 0.45% untuk barang gelas. Komposisi yang terkandung dalam pasir yang digunakan, turut menentukan memberikan efek terhadap produk kaca yang dihasilkan. Kaca memiliki sifat-sifat yang khas dibanding dengan golongan keramik lainnya. Kekhasan sifat-sifat kaca ini terutama dipengaruhi oleh keunikan silika (SiO_2) dan proses pembentukannya. Reaksi yang terjadi dalam pembuatan kaca secara ringkas pada persamaan dibawah ini (Dian, 2011) :



Karakteristik dari serbuk kaca dalam pembuatan beton adalah:

1. Kaca merupakan bahan yang tidak menyerap air atau *zero water absorption*.
2. Sifat kaca yang tidak menyerap air dapat mengisi rongga-rongga 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.

Dalam literatur oleh (Olofinnade, 2018) menunjukkan perbandingan komposisi kimia bahan semen Portland dengan limbah kaca setelah dilakukan uji xrf, dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Komposisi kimia semen dan limbah kaca

Komposisi Kimia (%)	Semen Portland	Limbah Kaca
SiO ₂	19.38	64.31
Al ₂ O ₃	4.14	19.98
Fe ₂ O ₃	3.19	6.25
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02
CaO	56.92	10.61
MgO	2.44	0.63
SO ₃	1.59	0.25
Na ₂ O	0.04	12.52
K ₂ O	0.21	0.74
TiO ₂	0.21	0.61

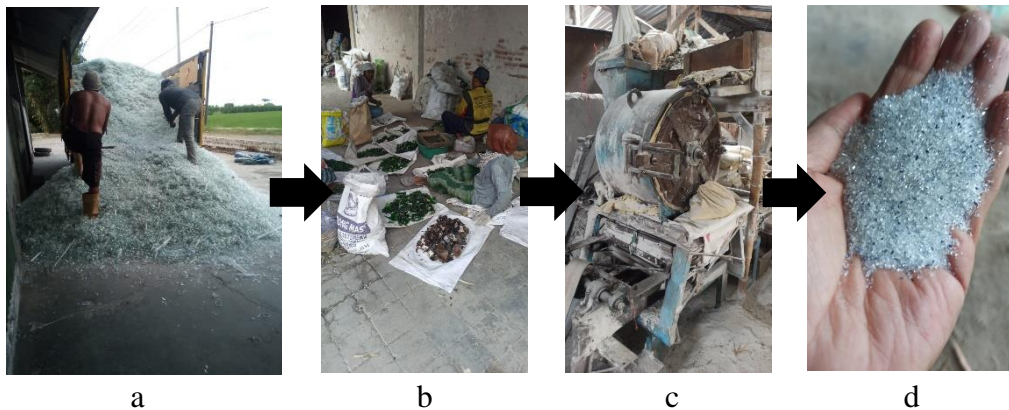
Sumber : Olofinnade, dkk (2018).



Gambar 1. Limbah Kaca

Sebelum menggunakan kaca sebagai bahan substitusi pasir tentunya ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan sebelumnya. Adapun beberapa tahapan tersebut diantaranya dengan melakukan sortir terhadap jenis limbah kaca,

kemudian membersihkan limbah yang akan digunakan dan proses akhirnya menghaluskan limbah kaca dengan mesin grinding sesuai dengan ukuran gradasi yang diinginkan. Tahapan pengolahan yang dilakukan di pabrik pengolahan limbah kaca di Surabaya dapat dilihat pada gambar dibawah :



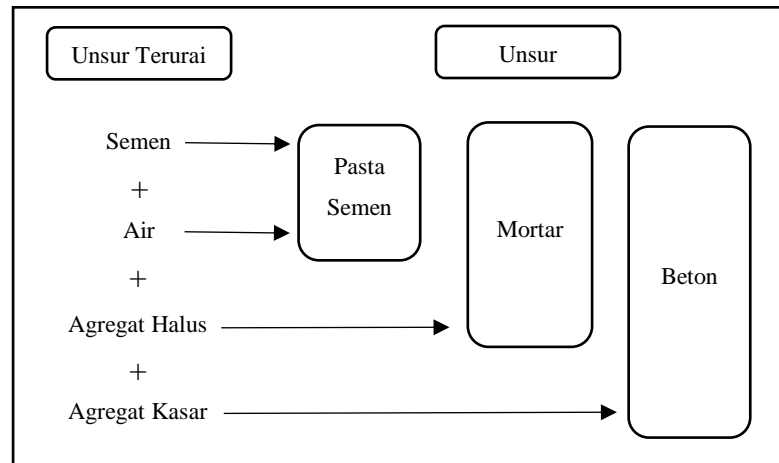
Gambar 2. Pengolahan limbah kaca (a. Proses sortir limbah kaca; b. Proses pembersihan limbah kaca; c. Proses penghalusan limbah kaca; d. Limbah kaca yang telah dihaluskan)

2.3 Beton

Beton merupakan pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah atau kerikil). Kadang-kadang ditambahkan pula campuran bahan lain (admixture) untuk memperbaiki kualitas beton. Campuran dari bahan susun (semen, pasir, kerikil, dan air) yang masih plastis ini dicor ke dalam acuan dan dirawat untuk mempercepat reaksi hidrasi campuran semen air, yang menyebabkan pengerasan beton. Bahan yang terbentuk ini mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, tetapi ketahanan terhadap tarik rendah.

Campuran antara semen dan air akan membentuk pasta semen berfungsi sebagai bahan ikat. Sedangkan, pasir dan kerikil merupakan bahan agregat yang berfungsi sebagai bahan pengisi sekaligus bahan yang diikat oleh pasta semen. Ikatan antara pasta semen dengan agregat ini menjadi kesatuan yang kompak dan dengan berjalannya waktu akan menjadi keras serta padat yang disebut beton.

Pada hakikatnya masing-masing bahan penyusun beton memiliki peran yang penting dalam fungsinya sebagai bahan material pengisi beton. Secara umum, ada 3 (tiga) unsur-unsur pembuat beton yaitu pasta semen, mortar dan beton (Nugraha, 2007). Adapun unsur-unsur pembentuk beton tersebut dijelaskan pada Gambar 3.



Sumber : *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan ke Beton Kinerja Tinggi* (Nugraha, 2007)

Gambar 3. Unsur – unsur Penyusun Beton

Beton memiliki beberapa factor keunggulan sehingga pemakaiannya begitu luas. Sifat keunggulan beton antara lain (Nugraha, 2007):

1. Ketersediaan (availability) material dasar Agregat, air dan semen pada umumnya bisa didapat dengan mudah dari lokal setempat dan harga yang relatif murah.
2. Kemudahan untuk digunakan (versatility) Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bisa diangkut secara terpisah. Beton bisa dipakai untuk berbagai struktur, seperti bendungan, landasan udara, fondasi.
3. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal Secara umum ketahanan beton cukup tinggi, lebih tahan karat sehingga tidak perlu dicat, lebih tahan terhadap bahaya kebakaran.
4. Kekuatan tekan tinggi.

Di samping segala keunggulan di atas, beton sebagai struktur juga mempunyai beberapa kelemahan yang perlu dipertimbangkan, yaitu (Nugraha, 2007):

1. Kuat tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar.
2. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
3. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
4. Berat (bobotnya besar).
5. Beton cenderung retak, karena semennya hidraulis.
6. Beton tidak mampu menahan gaya tegangan (tension) yang tinggi, karena elastisitasnya yang rendah.

2.4 Bahan Penyusun Beton

2.4.1 Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, di mana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar. Karena agregat merupakan bahan yang terbanyak di dalam beton, maka semakin banyak persen agregat dalam campuran akan semakin murah harga beton, dengan syarat campurannya masih cukup mudah dikerjakan untuk elemen struktur yang memakai beton tersebut (Edward G. Nawy, 1998)

Menurut SNI 2847-2019, Agregat diartikan sebagai bahan berbutir seperti pasir, kerikil, batu pecah dan slag tanur (blast-furnance slag) yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000 agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industry pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Sifat yang paling penting dari suatu agregat kasar adalah kekuatan hancur

dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia. Serta ketahanan terhadap penyusutan.

Agregat kasar harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri butiran yang ukuran butirnya beragam, sehingga dapat mengisi rongga-rongga yang terdapat didalam beton. Persyaratan batas-batas susunan besar butir agregat kasar (Kerikil atau Koral) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Susunan Butiran Agregat Kasar

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

Sumber: SNI 2834-2000

Adapun kualitas agregat kasar yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi adalah:

1. Agregat kasar harus merupakan butiran keras dan tidak berpori. Agregat kasar tidak boleh hancur karena adanya pengaruh cuaca. Sifat keras diperlukan agar diperoleh beton yang keras pula, sifat tidak berpori untuk menghasilkan beton yang tidak mudah tembus oleh air.
2. Agregat kasar harus bersih dari unsur organik.
3. Agregat tidak mengandung lumpur lebih dari 10% berat kering. Lumpur yang dimaksud adalah agregat yang melalui ayakan diameter 0,063 mm, bila melebihi 1% berat kering maka kerikil harus dicuci terlebih dahulu.
4. Agregat mempunyai bentuk yang tajam. Dengan bentuk yang tajam maka timbul gesekan yang lebih besar pula yang menyebabkan ikatan yang lebih baik, selain itu dengan bentuk tajam akan memerlukan pasta semen sehingga akan mengikat dengan lebih baik.



Gambar 4. Agregat Kasar

2. Agregat Halus

Menurut SNI 2834-2000 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasikan alami dari batu atau pasir yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Dijelaskan pula 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 3.

Tabel 3. Batas-Batas Gradasi Agregat Halus

No saringan	Ukuran saringan (mm)	Presentase Berat yang lolos saringan (%)			
		Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
3/8"	9,6	100	100	100	100
No.4	4,8	90-100	90-100	90-100	90-100
No.8	2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
No.16	1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
No.30	0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
No.50	0,3	0-20	8-30	12-40	15-50
No.100	0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 2834-2000

Syarat-syarat untuk pasir adalah sebagai berikut:

1. Butir-butir harus berukuran antara (0,15 mm dan 5 mm)
2. Harus keras, berbentuk tajam, dan tidak mudah hancur dengan pengaruh perubahan cuaca dan iklim.
3. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (persentase berat dalam keadaan kering).
4. Bila mengandung lumpur lebih dari 5% maka pasirnya harus dicuci.

5. Tidak boleh mengandung bahan organik, garam, minyak, dan sebagainya.



Gambar 5. Agregat Halus

2.4.2 Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah selesai pengadukan dan juga dapat memperbaiki keawetan dari beton yang dikerjakan. Beton pada umumnya mengandung rongga udara sekitar 1%-2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25%-40% dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60%-75%.

Semen Portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenisnya berkisar antara 3,12 dan 3,16, dan berat volume satu sak semen adalah 94 lb/ft³. Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silika (SiO₂) – dari lempung,
3. Alumina (Al₂O₃) – dari lempung (dengan sedikit presentasi magnesias, MgO, dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya (Edward G.Nawy, 1998).

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

1. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III 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.

2.4.3 Air

Air yang dapat di minum umumnya dapat di pergunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila di pakai dalam campuran beton akan menyebabkan penurunan kualitas beton yang di hasilkan dan juga akan mengubah sifat-sifat beton yang di buat. Karena karakter pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang di tinjau, tetapi hanya perbandingan antara air dengan semen saja atau biasa di sebut faktor air semen (*water cement ratio*). Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang sedikit akan menyebabkan proses hidrasi seluruhnya tidak akan tercapai, yang pada akhirnya akan mempengaruhi kekuatan mutu beton yang tidak akan tercapai. Air pada campuran beton berpengaruh terhadap:

1. Sifat workability adukan beton.
2. Besar kecilnya nilai susut beton.
3. Kelangsungan reaksi dengan semen portland, sehingga dihasilkan kekuatan selang beberapa waktu.
4. Perawatan terhadap adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Air digunakan sebagai bahan pencampur dan pengaduk beton untuk mempermudah pekerjaan. Pemakaian air untuk beton tersebut sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton seperti asam, zat organik.
4. Tidak mengandung minyak dan alkali.
5. Tidak mengandung senyawa asam.

2.4 Kekuatan Tekan Beton

Kekuatan tekan beton dapat diartikan sebagai besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton disbanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat dan air. Perbandingan dari air dan semen, semakin tinggi kekuatan tekannya. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan akan tetapi menurunkan kekuatan tekan (Wang dan Salmon, 1990).

Pengujian kekuatan tekan mengacu pada SNI 1974 – 2011, pengujian ini dilakukan pada benda uji berbentuk silinder dengan dimensi ukuran adalah 10 cm x 20 cm yang telah melewati tahap perawatan (curing) air selama 28 hari. Nilai kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan persamaan 1, sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P (N)}{A (mm^2)} \quad (1)$$

Dimana :

$f'c$ = Kekuatan tekan beton (N/mm²)

P = Beban (N)

A = Luas penampang (mm²)

2.5 Kekuatan Tarik Belah

Beton merupakan material yang lemah terhadap tegangan tarik. Faktor pembentuk kekuatan tarik sama dengan kuat tarik untuk beton normal pada umumnya adalah antara 9% - 15% dari kuat tekannya. Kuat tarik belah adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan medatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji (SNI 2491-2014)

Menurut (BJBPJ, 2008) kuat tarik belah merupakan alternatif terhadap kuat tarik langsung dengan melakukan uji kuat tarik dengan gaya aksial secara langsung. Benda uji yang digunakan dalam yang pengujian kuat tarik belah adalah berupa silinder atau kubus sebagaimana yang digunakan untuk pengujian kuat tekan, pengujian kuat tarik belah umumnya menggunakan benda uji silinder.

Kekuatan tarik dalam penelitian ini ditentukan dengan menggunakan percobaan belah silinder (the split cylinder) dimana silinder ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm diberikan beban tegak lurus terhadap sumbu longitudinalnya dengan silinder ditempatkan secara horizontal diatas pelat mesin percobaan. Benda uji terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik. Pengujian kekuatan tarik belah dilakukan dengan mengacu pada SNI 2491:2014, dan dapat dihitung dengan persamaan 2, sebagai berikut:

$$f_t = \frac{2P (N)}{\pi \cdot l \cdot d \text{ (mm)}} \quad (2)$$

Dimana :

f_t = Kekuatan Tarik belah (N/mm²)

P = Beban (N)

l = Panjang benda uji (mm)

d = Diameter benda uji (mm)

2.6 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan rasio tegangan terhadap regangan di bawah batas proporsional material. Berdasarkan SNI 2847 – 2019 nilai

modulus elastisitas dipengaruhi oleh proporsi campuran beton yang digunakan. Menurut Nematzadeh, M. dan Naghipour, M. (2012) menyatakan bahwa nilai modulus elastisitas turut dipengaruhi oleh proporsi campuran, rasio agregat kasar dan halus, kualitas material yang digunakan, rasio air dan semen, suhu, serta perawatan beton.

Modulus elastisitas diperoleh berdasarkan metode secant modulus, yaitu 40% dari tegangan puncak dari kurva tegangan-regangan. Pada penelitian ini nilai regangan diperoleh dengan menggunakan alat Compressometer dan pengolahan data dari hasil pengukuran alat LVDT (*Linear Variable Differential Transducer*). Perhitungan modulus elastisitas beton dapat dihitung menggunakan rumus :

$$E_c = \frac{\text{Tegangan } (\sigma)}{\text{Regangan } (\epsilon)} \quad (3)$$

Dengan pengertian :

E_c : Modulus elastisitas (MPa)

σ : Tegangan 40% dari beban maksimum (MPa)

ϵ : Regangan longitudinal pada tegangan 40% dari beban maksimum

Berdasarkan ASTM C-469 modulus dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,000050} \quad (4)$$

Dengan pengertian :

E_c : Modulus elastisitas beton (MPa)

S_2 : Tegangan pada saat 40% dari beban maksimum beton (MPa)

S_1 : Tegangan pada saat regangan longitudinal mencapai $\epsilon_1 = 0,00005$ (MPa)

ϵ_2 : Regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat S_2

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

1. Beton Normal

$$E = 4700\sqrt{f'c} \quad (\text{MPa}) \quad (5)$$

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

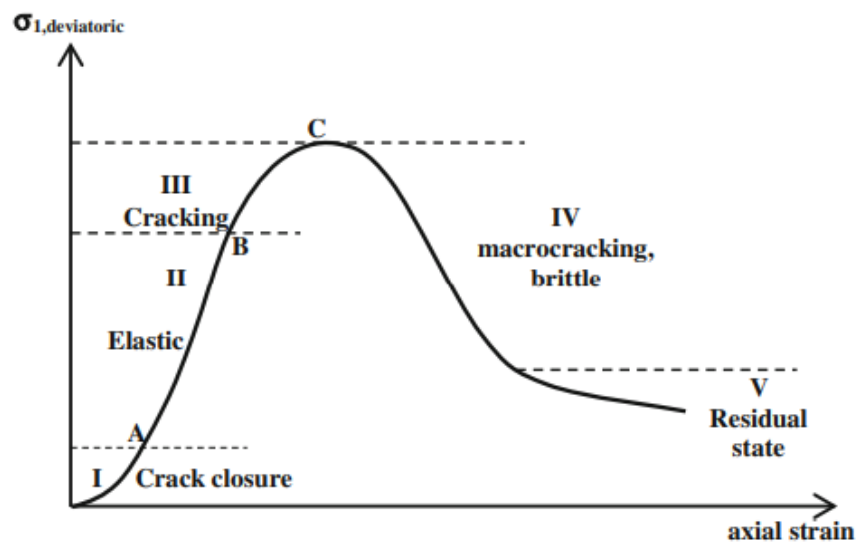
$$E = W_c^{1,5} \times 0,043\sqrt{f'c} \quad (\text{MPa}) \quad (6)$$

Keterangan:

E : Modulus Elastisitas (N/mm^2)

$f'c$: Kuat Tekan Beton (N/mm^2)

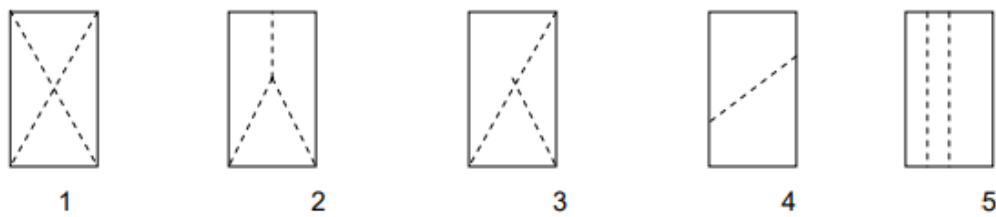
W_c : Berat Volume Beton (Kg/m^3)



Gambar 6. Diagram Tegangan-Regangan

2.7 Pola Retak

Retak merupakan jenis kerusakan yang paling sering terjadi pada struktur beton, dimana terjadi pemisahan antara massa beton yang relatif panjang dengan yang sempit. Secara visual retak nampak seperti garis. Retak pada struktur beton terjadi sebelum beton mengeras maupun setelah beton mengeras. Retak akan terjadi saat beton mulai mengeras tapi telah dibebani, retak juga dapat terjadi apabila beton mengalami hidrasi berlebihan sehingga susut (shrinkage). Menurut SNI 1974:2011 ada 5 jenis pola keretakan yang dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 7. Sketsa gambar tipe/ bentuk kehancuran benda uji (Gambar tampak depan sampel silinder)

Keterangan:

Gambar 1 : Bentuk kehancuran kerucut

Gambar 2 : Bentuk kehancuran kerucut dan belah

Gambar 3 : Bentuk kehancuran kerucut dan geser

Gambar 4 : Bentuk kehancuran geser

Gambar 5 : Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar)