

SKRIPSI

**STUDI KARAKTERISTIK KEKUATAN TEKAN BETON
SUBSTITUSI PASIR DENGAN VARIASI LIMBAH *GLASS
POWDER***

Disusun dan diajukan oleh:

**RIVALDO DWI PUTRA
D011 19 1052**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI KARAKTERISTIK KEKUATAN TEKAN BETON SUBSTITUSI PASIR DENGAN VARIASI LIMBAH GLASS POWDER

Disusun dan diajukan oleh

Rivaldo Dwi Putra
D011 19 1052

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 : Rivaldo Dwi Putra
NIM : D011 19 1052
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{STUDI KARAKTERISTIK KEKUATAN TEKAN BETON SUBSTITUSI PASIR
DENGAN VARIASI LIMBAH *GLASS POWDER*}

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, Maret 2023

Yang Menyatakan



Rivaldo Dwi Putra

ABSTRAK

RIVALDO DWI PUTRA. *Studi Karakteristik Kekuatan Tekan Beton Substitusi Pasir dengan Variasi Limbah Glass Powder* (dibimbing oleh Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M.Eng dan Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.)

Dunia konstruksi bangunan berkembang dengan pesat yang menyebabkan meningkatnya kebutuhan terhadap beton. Hal tersebut akan berpengaruh terutama terhadap ketersediaan bahan baku beton yang ada di alam yang akan semakin berkurang. Hal ini kemudian mendorong para peneliti untuk mengembangkan inovasi dalam pembuatan beton, salah satu inovasi tersebut yaitu memanfaatkan limbah kaca yang dihaluskan menjadi *glass powder* sebagai bahan pengganti agregat halus. Hal ini didasari karena *glass powder* memiliki mirip dengan semen serta kemampuan menyerap air yang rendah. Tujuan dari penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan pola retak yang terjadi pada beton yang menggunakan *glass powder* sebagai pengganti sebagian agregat halus. Pada pengujian karakteristik meliputi pengujian kekuatan tekan beton, kekuatan Tarik, dan juga modulus elastisitas beton. Metode pada penelitian ini menggunakan ASTM dan SNI sebagai standar pengujian. Sampel yang digunakan pada penelitian ini berjumlah total 24 sampel, Benda uji ini terdiri dari masing-masing 6 beton substitusi *glass powder* variasi 0%, 15%, 20%, dan 25%. Hasil dari pengujian yang dilakukan diperoleh nilai kekuatan tekan optimum beton variasi *glass powder* sebesar 21.22 MPa dimana nilai ini telah melampaui kekuatan tekan rencana. Dimana hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar penambahan *glass powder* kuat tekan beton akan menurun, hal ini dikarenakan kemampuan absorpsi *glass powder* rendah yang mengakibatkan meningkatnya nilai faktor air semen. Hasil dari penelitian ini juga menunjukkan nilai dari kekuatan tarik belah optimum yaitu 1.68 MPa, dan nilai modulus elastisitas optimum sebesar 17510.33 MPa. Untuk hasil pengamatan pola retak pada pengujian ini juga menunjukkan bahwa ketahanan geser pada beton akan semakin berkurang seiring semakin bertambahnya jumlah substitusi *glass powder* yang digunakan sebagai pengganti agregat halus.

Kata Kunci: Beton, *Glass powder*, Limbah, Karakteristik, Perilaku Mekanik.

ABSTRACT

RIVALDO DWI PUTRA. *Study of the Compressive Strength of Concrete Substitution of Sand with a Variation of Glass Powder* (supervised by Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M.Eng dan Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.)

The world of building construction is increasing straightaway will induce an increasing need for concrete. This matter will impact especially the availability of concrete raw materials in nature will decrease. These issues then encourage researchers to develop innovations in the manufacture of concrete. One of these innovations is to utilize glass waste, which is shattered, into glass powder as a substitute for fine aggregate. This research aims to determine the characteristics and the fractured pattern that occurs in concrete using glass powder as a partial replacement for fine aggregate. The characteristic test includes the compressive strength of concrete, tensile strength, and elastic modulus of concrete. The method in this study uses ASTM and SNI as testing standards. The samples used in this study amounted to a total of 24 specimens. The specimens consisted of 6 glass powder substituted concretes with the variation of 0%, 15%, 20%, and 25% individually. The results of the tests determine that the optimum compressive strength value of glass powder variation concrete is 21.22 MPa, where this value has exceeded the design compressive strength. The results show that the more addition of glass powder, the compressive strength of the concrete will decrease. That happens because the absorption ability of glass powder is low, which increases the f_{as} value. The results of this study also show that the optimum split tensile strength is 1.68 MPa, and the optimum elastic modulus value is 17510.33 MPa. The results of the tests determine that the optimum compressive strength value of glass powder variation concrete is 21.22 MPa, where this value has exceeded the design compressive strength. The results of this study also show that the optimum split tensile strength is 1.68 MPa, and the optimum elastic modulus value is 17510.33 MPa. The results of observing fractured patterns in this test also show that the shear resistance of concrete will decrease as the amount of glass powder used as a substitute for fine aggregate increases.

Keywords: Concrete, Glass powder, Glass waste, Characteristic, Mechanical behavior

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan	3
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Kaca	11
2.3 Agregat.....	14
2.2.1 Agregat Halus	14
2.2.2 Agregat Kasar	15
2.5 Semen.....	16
2.4 Air	17
2.5 Beton	17
2.3.1 Beton Mutu Normal	18
2.3.2 Beton Mutu Tinggi.....	18
2.3.3 Kekuatan Tekan Beton.....	19
2.3.4 Kekuatan Tarik Belah Beton	19
2.3.5 Modulus Elastisitas	20
2.6 Pola Retak	22
BAB 3 METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	23
3.1 Diagram Alir Penelitian	23
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	25
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	25
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	25
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material.....	26
3.5.1 Pemeriksaan Agregat Kasar	26
3.5.2 Pemeriksaan Agregat Halus	27
3.5.3 Pembuatan Benda Uji	27
3.6 Pemeriksaan Slump Test	29
3.7 Perawatan Benda Uji.....	30
3.8 Pengujian Benda Uji	30
3.8.1 Pengujian Kekuatan Tekan Beton	30
3.8.2 Pengujian Kekuatan Tarik Belah	31

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	33
4.1.1 Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar.....	33
4.1.2 Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus.....	33
4.1.3 Pemeriksaan Karakteristik <i>Glass Powder</i>	33
4.2 Rancangan Campuran Beton.....	34
4.3 Hasil Pengujian Beton.....	35
4.3.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Beton.....	35
4.3.2 Perbandingan Jenis Semen Terhadap Kekuatan Tekan.....	37
4.4 Kekuatan Tarik Belah.....	38
4.4.1 Hasil Kekuatan Tarik Belah.....	38
4.4.2 Perbandingan Jenis Semen Terhadap Kekuatan Tarik Belah.....	39
4.5 Modulus Elastisitas.....	40
4.5.1 Perbandingan Jenis Semen Terhadap Modulus Elastisitas.....	41
4.6 Hubungan Beban Terhadap Displacement.....	42
4.7 Pola retak.....	45
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Grafik hasil rata-rata nilai pengujian.....	6
Gambar 2 Grafik kekuatan tekan beton normal dengan penambahan kaca dan epoxy	8
Gambar 3 Hasil kekuatan tekan silinder beton	10
Gambar 4 Perbandingan kekuatan tekan beton normal dengan variasi	11
Gambar 5 Jenis-jenis <i>glass powder</i> pada penelitian	13
Gambar 6 Proses tahapan pengolahan limbah kaca	13
Gambar 7 Agregat pada campuran beton.....	14
Gambar 8 Grafik tegangan terhadap regangan.....	21
Gambar 9 Pola retak pada beton	22
Gambar 10 Bahan campuran beton	26
Gambar 11 Proses pencampuran beton	29
Gambar 12 Pengujian Slump	30
Gambar 13 Proses curing pada sampel beton	30
Gambar 14 Proses pengujian kekuatan tekan beton.....	31
Gambar 15 Proses pengujian kekuatan tarik belah	32
Gambar 16 Grafik perbandingan kekuatan tekan beton.....	36
Gambar 17 Grafik perbandingan uji kekuatan tekan dengan variasi <i>glass powder</i>	36
Gambar 18 Grafik perbandingan uji kekuatan tekan berdasarkan jenis semen dengan variasi <i>glass powder</i>	37
Gambar 19 Grafik perbandingan uji kekuatan tarik belah dengan variasi <i>glass powder</i>	39
Gambar 20 Grafik perbandingan uji kekuatan tarik belah berdasarkan jenis semen dengan variasi <i>glass powder</i>	39
Gambar 21 Hasil perbandingan modulus elastisitas variasi <i>glass powder</i> dengan jenis semen yang berbeda	42

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Hasil pengujian kekuatan tekan	6
Tabel 2 Hasil pengujian kekuatan tekan beton	7
Tabel 3 Hasil pengujian kekuatan tekan beton dengan penambahan serbuk kaca	11
Tabel 4 Komposisi kimia semen, <i>glass powder</i> , dan pasir	12
Tabel 5 Komposisi kimia pada kaca bohlam, botol, dan cermin	13
Tabel 6 Syarat gradasi agregat menurut ASTM C-33.....	15
Tabel 7 Standar/metode pengujian karakteristik agregat kasar	27
Tabel 8 Standar/metode pengujian karakteristik agregat halus	27
Tabel 9 Identifikasi Pembuatan Benda Uji	28
Tabel 10 Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik agregat kasar	33
Tabel 11 Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik agregat halus	33
Tabel 12 Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik <i>glass powder</i> (Botol)	34
Tabel 13 Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik <i>glass powder</i> (Bohlam)	34
Tabel 14 Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik <i>glass powder</i> (Cermin).....	34
Tabel 15 Rancangan campuran beton (<i>Mix design</i>).....	35
Tabel 16 Hasil analisa kekuatan tekan beton	36
Tabel 17 Hasil analisis kekuatan tarik belah beton	38
Tabel 18 Tabel Analisa modulus elastisitas beton	40
Tabel 19 Modulus elastisitas beton	41

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
f'_{ct}	Kekuatan Tarik Belah (MPa dan N/mm ²)
P	Beban Tekan Maksimum
l	Panjang Benda Uji (mm)
d	Diameter Benda Uji 9mm)
E_c	Modulus Elastisitas Beton
f'_c	Kekuatan Tekan Beton (MPa dan N/mm ²)
S_2	Tegangan pada 40% tegangan runtuh (N/mm ²)
S_1	Tegangan pada saat regangan 0,00005 (N/mm ²)
P	Gaya tekan aksial (N)
A	Luas penampang silinder (mm ²)
ε	Regangan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Analisa data modulus elastisitas.....	52
Lampiran 2 Proses persiapan Material	55
Lampiran 3 Proses Pembuatan Benda Uji.....	56
Lampiran 4 Pengujian Benda Uji	57

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat yang telah diberikan-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “STUDI KARAKTERISTIK KEKUATAN TEKAN BETON SUBSTITUSI PASIR DENGAN VARIASI LIMBAH *GLASS POWDER*” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar sebagai Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa dalam menulis dan Menyusun tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir in tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak 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 Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M.Eng** , selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya memberikan bimbingan dan pengarahan dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini dan selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. 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. Orang Tua tercinta, yaitu Ibu Hermin, atas segala doa, kasih sayang, dan dukungan baik itu secara moril dan materi. Serta seluruh keluarga besar atas dorongan yang telah diberikan.
2. Kakak Henryanto yang selalu memberikan dukungan dalam banyak hal sampai dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Kakak Lab. Riset Gempa Kak Linda, Kak Dwi, Kak Shadikin, dan Kak Atar yang menjadi rekan dalam penelitian *Glass Powder*
4. Teman-teman Lab. Riset Gempa 2019 Ricky, Yana, Riskiadin, Didik, Cindy, Angi, Hikma, dan Lisa yang senantiasa saling membantu dalam proses menyelesaikan penelitian.
5. Laboran dan teman-teman Asisten di Lab. Struktur dan Bahan yang selalu membantu dalam menyelesaikan penelitian.
6. Teman-teman seperjuangan Muthia, Vidal, Jaemshon, Tandi, Ricky, Aresto, Sultan, Ones, Roy, Mika, Naro, Logri, Reksi, Edro, Egi, Andre, David, Putra, Richard dan Mikel yang selalu menemani dan memberikan banyak warna selama menuntut ilmu dalam dunia perkuliahan.
7. Teman-teman seangkatan Teknik Sipil dan Lingkungan 2019, Terima kasih atas segala pengalaman serta cerita yang diperoleh selama menjalani perkuliahan.

Makassar 23 April 2023

Rivaldo Dwi Putra

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah komponen paling utama yang digunakan dalam suatu konstruksi bangunan. Hampir setiap aspek pembangunan konstruksi tidak terlepas dari peran material beton, baik itu pada konstruksi bangunan gedung, rigid, jembatan, jalan tol dan infrastruktur lainnya. Beton banyak digunakan karena proses pembuatan yang mudah, bentuknya dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan memiliki kekuatan tekan yang tinggi.

Rosie Arizki, dkk. (2015) mengatakan bahwa, beton merupakan suatu komposit dari bahan yang terdiri dari agregat halus, agregat kasar, air, dan semen atau bahan lain yang berfungsi sebagai bahan pengikat hidrolis, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan. Bahan-bahan tersebut kemudian dicampur dengan komposisi tertentu yang telah ditentukan sehingga menghasilkan beton yang awet, mudah dikerjakan, mempunyai kekuatan yang tinggi dan ekonomis.

Akibat berkembangnya teknologi pada konstruksi infrastruktur terutama di Indonesia, kebutuhan terhadap beton akan semakin bertambah. Hal ini akan menyebabkan bahan baku pembuatan beton yang berasal dari alam akan semakin menipis. Beton sendiri merupakan suatu bahan yang sebagian besar penyusunnya terdiri dari agregat, yang nantinya dengan menipisnya agregat yang ada di alam maka diperlukan bahan penyusun yang dapat menggantikan peran agregat sebagai salah satu material pembuatan beton.

Sejalan dengan hal ini, berbagai cara serta penelitian dilakukan dan terus dikembangkan dalam upaya menciptakan beton yang semakin baik. Perkembangan ini berbanding lurus dengan banyaknya inovasi pada pembuatan beton, salah satu inovasi pada pembuatan beton ialah dengan mengganti bahan campuran dasar beton dengan material lain, baik itu mengganti sebagian ataupun keseluruhan material penyusun dasar beton. Material pengganti yang umum digunakan biasanya berasal dari limbah, material pengganti ini berfungsi untuk memodifikasi sifat-sifat dan karakteristik beton yang dilakukan dalam upaya meningkatkan daya rekat dan kekuatan beton.

Gemelly Katrina (2014) mengatakan bahwa, perkembangan industri ini memberikan dampak positif bagi perekonomian, namun disamping itu juga memberikan dampak negatif karena menghasilkan limbah. Dampak negatif dari limbah industri terutama berimbas pada lingkungan, apalagi bila tidak dilakukan pengolahan yang baik serasi tepat pada limbah tersebut. Pengolahan limbah yang tidak tepat pada akhirnya akan berdampak pada kesehatan masyarakat yang tinggal di lingkungan tersebut. Oleh karena itu dengan adanya pemanfaatan limbah kaca yang ada, dapat membantu mengurangi efek negatif sekaligus juga memberikan efek positif bagi lingkungan.

Salah satu material pengganti dari limbah yang sering digunakan dalam inovasi pembuatan beton ialah limbah kaca. Menurut Muhammad Ramdhan Olii, dkk. (2021) limbah kaca, kayu dan bahan lainnya yang dihasilkan masyarakat di Indonesia setiap harinya sebesar 12,7% dari total 65 juta ton sampah perhari. Kurang lebih ada 15 juta ton limbah perhari yang mengotori ekosistem dan lingkungan yang diakibatkan karena tidak adanya penanganan, 7% sampah didaur ulang, dan 69% sampah berakhir di tempat pembuangan akhir.

Limbah kaca merupakan material yang tersusun dari 70% silika dan memiliki karakteristik yang hampir sama dengan pasir. Penggunaan limbah kaca sebagai pengganti agregat halus pada beton dilakukan sebagai salah satu inovasi pembuatan beton dalam menangani meningkatnya kebutuhan terhadap beton yang menyebabkan menipisnya material agregat halus (pasir) yang ada di alam. Dimana pasir merupakan material yang tidak terbarukan dan suatu saat jumlahnya akan semakin menipis dan habis. Oleh karena itu, penggunaan limbah kaca diharapkan dapat menjadi langkah awal dalam menciptakan beton yang semakin baik serta dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengganti pasir dimasa mendatang serta dapat membantu dalam mereduksi jumlah limbah dengan memanfaatkan limbah kaca.

Menurut Liu, dkk. (2015) Limbah kaca memiliki komponen utama berupa alkali dan *silica dioxide (reactive silica)*. Silica merupakan bahan yang bersifat mengikat atau material yang memiliki adhesi yang tinggi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kandungan utama pada limbah kaca memiliki komponen yang

serupa pada pasir dan juga semen yaitu mengandung silica dioxide yang bersifat sebagai bahan pengikat.

Berdasarkan dengan uraian latar belakang diatas maka penulis membuat suatu alternatif penelitian yang kemudian disusun menjadi tugas akhir yang berjudul "**Studi Karakteristik Kekuatan Tekan Beton Substitusi Pasir dengan Variasi Limbah *Glass Powder***".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, adapun rumusan masalah yang dapat dibuat dari penelitian ini adalah studi mengenai pengaruh dan perbandingan beton normal dengan beton yang menggunakan campuran limbah kaca (*glass powder*) sebesar 15%, 20% dan 25% sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap k tekan beton, kekuatan tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton.

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah diatas, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh *glass powder* sebagai pengganti pasir terhadap kekuatan tekan beton.
2. Menganalisis pengaruh *glass powder* sebagai pengganti pasir terhadap kekuatan tarik belah beton.
3. Menganalisis pengaruh *glass powder* sebagai pengganti pasir terhadap modulus elastisitas beton.
4. Menganalisis pola retak pada beton dengan *glass powder* sebagai pengganti pasir

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Dalam penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Produksi limbah kaca dari industri maupun rumah tangga yang semakin hari semakin banyak akan menyebabkan menurunnya kualitas lingkungan dan meningkatkan emisi CO₂. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan inovasi di bidang industri konstruksi bangunan untuk

memproduksi beton dengan material limbah kaca dalam upaya menangani kerusakan lingkungan.

2. Potensi pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambahan substitusi pasir pada campuran beton dapat dilihat dari kandungan yang terdapat dalam limbah kaca mirip dengan kandungan dalam semen, sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam penelitian berikutnya untuk mengembangkan variasi beton yang baru.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Pada penelitian ini terdapat batasan agar tugas akhir ini dapat terarah sesuai tujuan penelitian yang ingin dicapai, batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Membandingkan substitusi *glass powder* sebagai pengganti pasir pada beton dengan persentase 0%, 15%, 20% dan 25%.
2. *Glass powder* yang digunakan diperoleh dari limbah kaca lampu dari Jawa Timur.
3. *Glass powder* yang digunakan yaitu serbuk yang lolos saringan ukuran 0.075 mm atau saringan no. 200.
4. Semen yang digunakan adalah Semen TR.
5. Agregat halus (pasir) yang digunakan adalah pasir yang berasal dari Jeneberang.
6. Benda uji berupa silinder dengan ukuran 100 mm x 200 mm dengan benda uji yang digunakan sebanyak 3 sampel pada masing-masing variasi
7. Uji kekuatan tekan dilakukan dengan memberikan beban aksial dengan beban merata seukuran penampang silinder menggunakan alat *UTM* kapasitas 1000 kN sampai benda uji hancur.

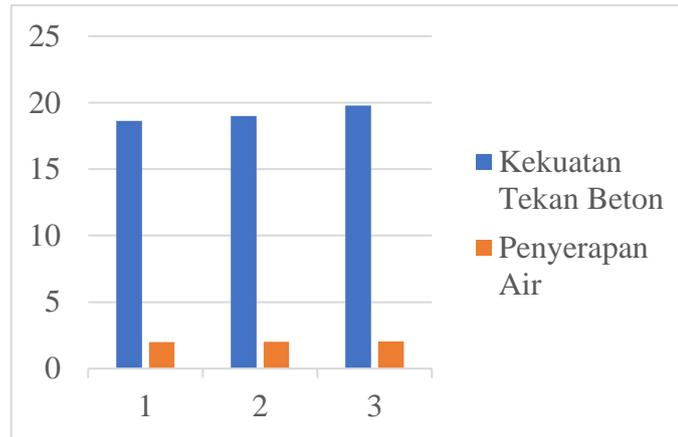
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini penulis mencantumkan beberapa hasil penelitian terdahulu yang telah terpublikasikan dan masih memiliki kaitan dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis, kemudian membuat ringkasannya. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang masih terkait dengan penelitian yang penulis lakukan.

Muhammad Ramdhan Oliy (2021) melakukan penelitian “Limbah Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus untuk Beton Ramah Lingkungan” dengan variasi 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80% dimana nilai kekuatan tekan rencana yaitu 24.95 MPa. Dari hasil pengujian ini jika dilihat dari kekuatan tekan beton menunjukkan adanya penurunan kekuatan tekan pada beton variasi bila dibandingkan dengan beton normal (variasi 0%). Nilai kekuatan tekan beton yang diperoleh pada beton variasi 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80% secara berturut turut yaitu 27.934 MPa, 26.290 MPa, 25.602 MPa, 23.636 MPa, dan 21.670 MPa, dan 21.058 MPa. Dari hal ini menunjukkan bahwa limbah kaca hanya bisa digunakan dengan variasi maksimal <40% karena nilainya masih lebih besar dibandingkan dengan kekuatan tekan beton rencana meskipun nilainya tidak lebih tinggi dari beton normal.

Chairul Anwar (2021) melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Pemanfaatan Serbuk Kaca sebagai Substitusi Pasir terhadap Mutu Beton K-125” dengan variasi serbuk kaca 0%, 5%, dan 10% dari hasil penelitian ini diperoleh hasil pengujian kekuatan tekan untuk variasi serbuk kaca 0%, 5%, dan 10% secara berurutan adalah sebesar 18,62 MPa, 18,98MPa, dan 19,78MPa. Pada penelitian ini juga diperhitungkan nilai dari absorpsi dan densitas untuk masing-masing variasi serbuk kaca. Hasil dari pengujian ini diperoleh nilai rata-rata absorpsi 0%, 5%, dan 10% secara berurutan adalah sebesar 2,63%, 2,39%, dan 2,10% serta nilai densitas secara berurutan adalah 1,99%, 2,01%, dan 2,04%.



Gambar 1 Grafik hasil rata-rata nilai pengujian

(Sumber: Anwar, 2021)

Ketiga, Restu Meihardi dan Sugito (2022) melakukan penelitian mengenai “Pengaruh *Filler* Serbuk Kaca terhadap Karakteristik Beton Substitusi Pasir dengan Curing Air Panas” dengan hasil penelitian menunjukkan pengaruh *filler* serbuk kaca terhadap sifat mekanik beton substitusi agregat halus pasir besi jika ditinjau dari kekuatan tekan pada setiap variasi menunjukkan kenaikan kekuatan tekan rata-rata jika dibandingkan dengan beton normal. Pada penelitian ini pengaruh serbuk kaca dibuat dengan variasi 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, dan 6%. Hasil pengujian kekuatan tekan beton rata-rata pada umur 28 hari ditunjukkan pada Tabel 1. Dapat dilihat nilai kekuatan tekan optimum diperoleh pada variasi beton dengan persentase 3%.

Tabel 1 Hasil pengujian kekuatan tekan

Serbuk Kaca (%)	Nilai Kekuatan Tekan Rata-rata (Kg/cm ²)
1	313,67
2	329,92
3	340,35
4	325,09
5	317,67
6	326,25

Sumber: Jurnal Teknik Sipil UBL 13, No. 1: 41-52 (2022)

Keempat, Fanisa dan Gunawan (2013) melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Sulfat terhadap Kekuatan Tekan Beton dengan Variasi Bubuk Kaca Substitusi Sebagian Pasir dengan W/C 0,60 dan 0,65” dengan hasil penelitian sebagai berikut:

1. Nilai slump beton dengan substitusi bubuk kaca lebih rendah daripada nilai slump beton normal tanpa substitusi bubuk kaca. Untuk kedua desain campuran, nilai slump beton terus menurun seiring penambahan jumlah kaca dalam beton. Hal ini berarti bahwa workabilitas terus berkurang dengan penambahan jumlah bubuk kaca.
2. Kekuatan tekan kedua desain campuran terus meningkat seiring dengan kenaikan persentase substitusi bubuk kaca pada beton.
3. Beton dengan perendaman dalam larutan memiliki kekuatan tekan yang lebih kecil dibandingkan dengan beton dengan curing air biasa. Untuk beton dengan w/c 0,60, penurunan nilai kekuatan tekan beton terbesar pada beton berumur 28 hari dengan nilai rata-rata sebesar 8,325%. Sedangkan untuk beton dengan w/c 0,65, penurunan nilai kekuatan tekan beton terbesar juga pada beton berumur 28 hari dengan nilai rata-rata sebesar 12,72%.
4. Berat beton untuk kedua desain campuran, baik beton dengan curing air biasa maupun beton dengan perendaman dalam larutan sulfat terus mengalami penurunan seiring dengan penambahan jumlah bubuk kaca dalam beton.
5. Dengan semakin meningkatnya jumlah kaca pada beton hingga 20% dari berat pasir, kekuatan tekan beton akan terus meningkat dengan berat yang semakin ringan, tetapi workabilitas akan terus berkurang.

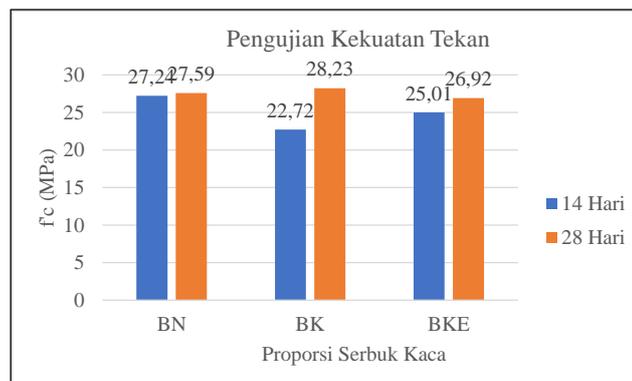
Tabel 2 Hasil pengujian kekuatan tekan beton

Persentase Penggunaan bubuk kaca (%)	Kekuatan Tekan Umur 28 Hari dengan w/c 60		Kekuatan Tekan Umur 28 Hari dengan w/c 65	
	Curing	Direndam Sulfat	Curing	Direndam Sulfat
0%	28,28	25,58	24,33	20,97
5%	29,04	26,64	24,91	21,64
10%	29,62	27,22	25,49	22,31
15%	30,49	27,89	25,68	22,41
20%	30,78	28,56	26,06	23,08

(Sumber: Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan 01, No. 1: 68-73, 2013)

Kelima, Ade Lisantono dan Evander (2019) melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Epoxy terhadap Sifat Mekanik Beton dengan Bahan Tambah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus” berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kekuatan tekan beton normal tanpa serbuk kaca lebih tinggi dibandingkan beton normal dengan substitusi serbuk kaca 50% dengan rasio penurunan sebesar 0,81 pada umur 14 hari dan rasio peningkatan sebesar 1,03 pada umur 28 hari, sedangkan beton normal dengan substitusi serbuk kaca 50% dan penambahan epoxy 10 % mengalami kenaikan kekuatan tekan dari pada beton normal dengan substitusi serbuk kaca 50% dengan rasio penurunan sebesar 0,89 pada umur 14 hari dan rasio penurunan sebesar 0,98 pada umur 28 hari.
2. Kuat lentur beton dengan substitusi serbuk kaca 50% lebih besar dibandingkan dengan beton normal dan beton dengan penambahan epoxy 10% dan substitusi serbuk kaca 50%.
3. Modulus elastisitas beton dengan substitusi serbuk kaca 50% sebesar 25813,05 MPa selama 14 hari dan 32441,09 MPa selama 28 hari. Modulus elastisitas beton dengan substitusi serbuk kaca 50% lebih tinggi dari pada beton normal dan beton dengan penambahan serbuk kaca 50% dan epoxy 10%.
4. Penggunaan serbuk kaca lebih besar dari 50% dapat menurunkan nilai kekuatan tekan beton.
5. Penambahan serbuk serbuk kaca lebih besar dari 50% dapat menjadikan *workability* beton tidak begitu baik.

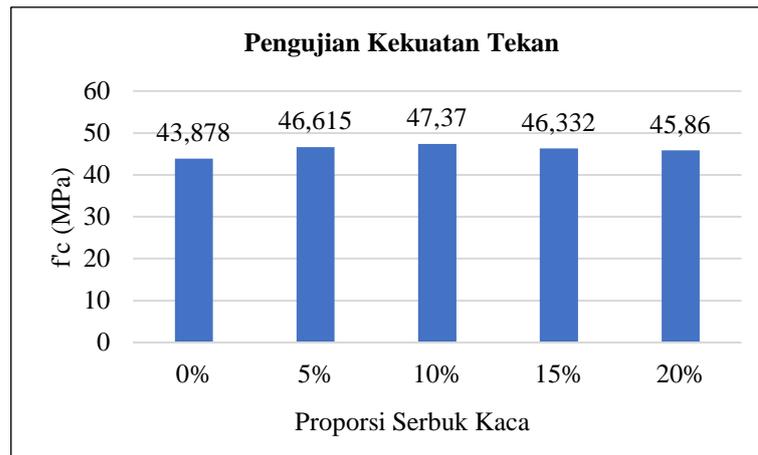


Gambar 2 Grafik kekuatan tekan beton normal dengan penambahan kaca dan epoxy

(Sumber: Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil 02, No. 2: 75-48, 2019)

Keenam, Ananda *et al* (2018) melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Serbuk Kaca sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat Halus pada Beton Mutu Tinggi” dari hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh substitusi sebagian agregat halus terhadap sifat mekanik beton diuraikan sebagai berikut:
 - a. Kekuatan tekan beton dengan substitusi serbuk kaca untuk semua variasi lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton tanpa substitusi serbuk kaca, dimana kekuatan tekan maksimum didapatkan pada variasi serbuk kaca 10% terhadap volume pasir dengan persentase peningkatan sebesar 7,957%.
 - b. Hasil pengujian kekuatan tarik belah beton didapatkan nilai kekuatan tarik belah beton mengalami peningkatan cukup signifikan pada variasi substitusi serbuk kaca 5% dengan persentase peningkatan sebesar 45,378%, sementara nilai kekuatan tarik belah beton terendah didapatkan pada variasi 20% atau mengalami penurunan sebesar 10,674% jika dibandingkan dengan beton tanpa substitusi serbuk kaca. Dengan kata lain variasi 5% serbuk kaca merupakan proporsi campuran yang maksimum jika ditinjau dari nilai kekuatan tarik belah beton.
 - c. Untuk nilai modulus runtuh juga mengalami peningkatan pada variasi 5%, 10%, dan 15% serbuk kaca dengan persentase peningkatan rata-rata berturut-turut sebesar 13,415%, 3,049%, dan 0,407% dengan nilai maksimum didapatkan pada variasi 5%. Sementara nilai modulus runtuh terendah terjadi pada variasi 20% serbuk kaca dimana mengalami penurunan sebesar 4,065%.
 - d. Sama halnya dengan kekuatan tarik belah dan modulus runtuh, pada pengujian kuat geser beton juga menghasilkan nilai maksimum pada variasi serbuk kaca 5% dengan peningkatan sebesar 12,59%. Dan terjadi penurunan pada variasi 20% sebesar 7,924% dari beton tanpa substitusi serbuk kaca.
2. Proporsi serbuk kaca yang dianjurkan dalam pembuatan beton selanjutnya yaitu dengan variasi substitusi serbuk kaca 5% terhadap volume pasir, karena pada variasi tersebut didapatkan nilai kekuatan tarik belah, modulus runtuh, dan kuat geser maksimum. Sementara untuk kekuatan tekan pada variasi 5% serbuk kaca terhadap volume pasir nilainya masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton tanpa serbuk kaca.

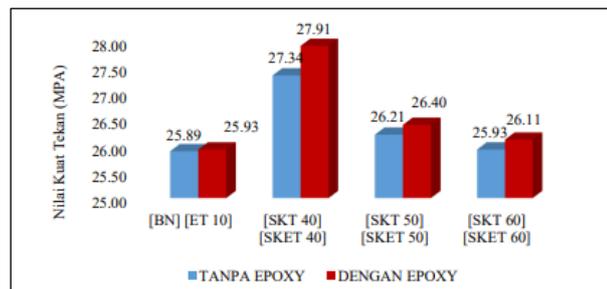


Gambar 3 Hasil kekuatan tekan silinder beton

(Sumber: Welas Asih, 2018)

Ketujuh, Johanes *et al* (2015) melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Substitusi Sebagian Agregat Halus dengan Serbuk Kaca dan *Silica Fume* terhadap Sifat Mekanik Beton” pada penelitian ini diperoleh nilai kekuatan tekan beton dengan serbuk kaca tanpa *silica fume* meningkat sebesar 8,21% dibandingkan dengan beton normal pada persentase serbuk kaca 10% sedangkan beton dengan serbuk kaca dan *silica fume* mengalami penurunan tetapi tidak melebihi 12% dan kekuatan tekan dengan *silica fume* meningkat dengan rata-rata 21,16% dibandingkan kekuatan tekan beton tanpa *silica fume*.

Kedelapan, Rino, *et. al* (2023) meneliti mengenai “Pengaruh Agregat Halus dengan Serbuk Kaca Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton dengan Penambahan Zat Epoxy” pada penelitian ini diuji mengenai pengaruh serbuk kaca sebagai pengganti pasir dengan variasi 0%, 40%, 50%, dan 60% diperoleh nilai kekuatan tekan beton dengan variasi serbuk kaca tanpa epoxy sebesar 25,89 MPa, 27,34 MPa, 26,21 MPa, dan 25,93 MPa sedangkan untuk kekuatan lentur diperoleh 3,49 MPa, 4,93 MPa, 3,91 MPa, dan 3,60 MPa. Ketika dilakukan penambahan epoxy sebesar 10% terhadap beton yang mengandung serbuk kaca nilai kekuatan tekannya meningkat sebesar 25,93 MPa, 27,91 MPa, 26,40 MPa, dan 26,11 MPa. Sedangkan untuk kuat lentur dengan penambahan epoxy diperoleh 3,64 MPa, 4,72 MPa, 3,95 MPa, dan 3,79 MPa. Pada penelitian ini nilai kekuatan tekan dan kuat lentur optimum beton dengan atau tanpa epoxy diperoleh pada variasi 40%.



Gambar 4 Perbandingan kekuatan tekan beton normal dengan variasi

(Sumber: JPTSK 1, No. 1: 58-65, 2023)

Kesembilan, Ni Komang Ayu Agustini dan Putu Aryastana (2017) melakukan pengujian mengenai “Pengaruh Penambahan Abu Sekam dan Serbuk Kaca Terhadap Kuat Tekan dan Berat Jenis Beton” dengan hasil pengujian menunjukkan penambahan serbuk kaca terhadap berat semen mempengaruhi kekuatan tekan dari beton. Kadar optimum penambahan serbuk kaca terhadap kekuatan tekan beton berada pada persentase 10% yaitu sebesar 23,22 MPa dari beton normal dengan kekuatan tekan 22,40 MPa (Meningkat sebesar 3,15%).

Tabel 3 Hasil pengujian kekuatan tekan beton dengan penambahan serbuk kaca

Serbuk Kaca	Rata-rata f'c 28 hari (MPa)
0%	22,40
5%	19,30
10%	23,22
15%	18,57
20%	16,69
25%	16,83

Sumber: PADURAKSA 06, No. 2 (2017): 198

2.2 Kaca

Kaca adalah bahan non-kristal, bahan padat anorganik yang memiliki sifat fisik transparan atau tembus cahaya, keras, dan rapuh. Penggunaan kaca telah terjadi sejak zaman kuno dan masih diterapkan hingga zaman sekarang karena memiliki penggunaan yang praktis. Material berbahan kaca sering dijumpai pada bidang konstruksi bangunan, peralatan rumah tangga, serta penerapannya dalam bidang telekomunikasi.

Menurut Gautum, *et. al* (2012) kaca adalah bahan transparan yang diperoleh dengan cara melelehkan campuran bahan seperti silika, abu soda, dan CaCO_3 pada

suhu tinggi diikuti dengan pendinginan dimana proses pemadatan kaca terjadi tanpa kristalisasi dan merupakan material dari padatan amorf. Dikatakan pula bahwa saat digunakan dalam aplikasi pembuatan beton kaca harus terlebih dahulu dihancurkan dan disaring untuk menghasilkan gradasi agregat yang sesuai. Serta dikatakan juga bahwa penggunaan gelas limbah yang digunakan sebagai agregat untuk mortar tidak terdeteksi adanya reaksi dengan ukuran partikel sebagai agregat halus. Hal ini menunjukkan bahwa limbah kaca dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus pada beton.

Menurut Justin Joshua (2015), kaca merupakan salah satu bahan anorganik hasil dari peleburan beberapa material yang nantinya didinginkan sampai padat. Kaca adalah material padat yang bening, transparan, dan memiliki struktur yang rapuh. Dikatakan juga bahwa, kaca merupakan material yang keras namun mudah hancur, serta merupakan padatan dari amorf yaitu material yang dapat meleleh dengan mudah.

Yahya dan William (2014) menunjukkan perbandingan komposisi kimia bahan semen dengan serbuk kaca dan pasir setelah dilakukan uji XRF. Hasil dari perbandingannya dapat terlihat pada Tabel 4 yang menunjukkan bahwa *glass powder* merupakan material *pozzoland* yang memiliki kandungan mirip dengan semen yang mengandung SiO_2 , Na_2O , dan CaO .

Tabel 4 Komposisi kimia semen, *glass powder*, dan pasir

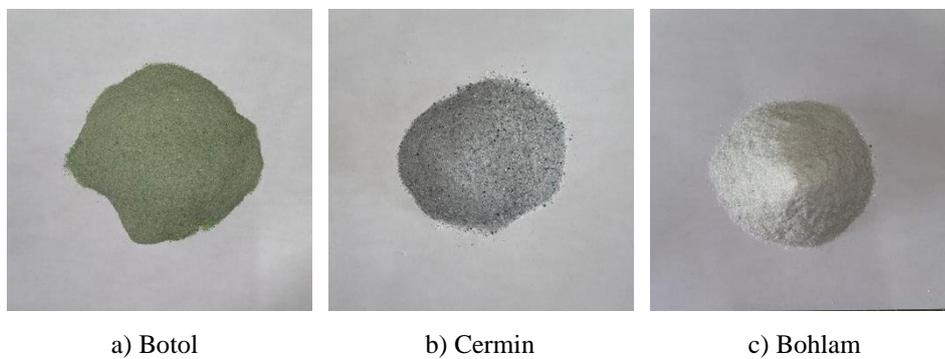
Komposisi Kimia	Semen	<i>Glass Powder</i>	Pasir
SiO_2	20,2	72,2	78,6
Al_2O_3	4,7	1,54	2,55
CaO	61,9	11,42	7,11
Fe_2O_3	3	0,48	2,47
MgO	2,6	0,79	0,46
Na_2O	0,19	12,85	0,42
K_2O	0,82	0,43	0,64
SO_3	3,9	0,09	-
TiO_2	-	-	0,15

Sumber: Materials Science and Engineering (2014)

Rivaldo dkk (2023) menunjukkan perbandingan antara kandungan kimia utama pada beberapa jenis kaca yang digunakan sebagai *glass powder* pada tabel sebagai berikut:

Tabel 5 Komposisi kimia pada kaca bohlam, botol, dan cermin

Komposisi Kimia	Bohlam	Botol	Cermin
SiO ₂	85,78	81,86	81,88
Al ₂ O ₃	-	-	-
CaO	9,98	15,09	13,45
Fe ₂ O ₃	0,78	1,21	0,13
MgO	-	-	-
Na ₂ O	-	-	-
K ₂ O	1,38	0,91	1,00
SO ₃	-	-	-
TiO ₂	-	-	-

Gambar 5 Jenis-jenis *glass powder* pada penelitian

Sebelum digunakan limbah kaca yang digunakan sebagai pengganti agregat halus terlebih dahulu di sortir. Limbah kaca tersebut kemudian dicuci dan dibiarkan pada suhu ruang sampai kering. Limbah kaca tersebut kemudian digiling dengan mesin grinding sesuai ukuran yang diinginkan untuk memperoleh *glass powder* sebagai substitusi parsial pasir.



Gambar 6 Proses tahapan pengolahan limbah kaca

2.3 Agregat

Agregat merupakan material berbutir seperti pasir, kerikil, batu pecah dan *slag* tanur (*blast-furnace slag*) yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis (SNI 2847-2019). Menurut Edward G Nawy (1998), Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam pembuatan beton. 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. Berdasarkan ukurannya agregat dibagi menjadi 2 yaitu agregat halus dan agregat kasar.



a) Agregat kasar

b) Agregat halus

Gambar 7 Agregat pada campuran beton

2.2.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran yang menurut SNI 03-2834-2000 mempunyai ukuran butiran sebesar 5,0 mm. Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran No. 4 dan No. 100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik lempung, partikel agregat yang lebih kecil dari saringan No. 100 atau bahan-bahan yang lain dapat merusak campuran beton.

Syarat-syarat agregat halus berdasarkan SNI dan ASTM tentang pengujian karakteristik yaitu:

- 1) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat kering.
- 2) Agregat halus tidak boleh mengandung terlalu banyak bahan organik yang dapat dilakukan dengan percobaan warna menggunakan larutan NaOH.
- 3) Agregat halus harus memiliki gradasi atau memiliki ukuran agregat yang bervariasi.

Menurut ASTM C-33 gradasi agregat halus berdasarkan persentase berat yang melalui masing-masing ukuran saringan dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 6 Syarat gradasi agregat menurut ASTM C-33

Ukuran Saringan		Persentase Berat Lolos Tiap Saringan (%)
mm	inch	
9,5	3/8	100
4,76	No. 4	95 – 100
2,36	No. 8	80 – 100
1,19	No. 16	50 – 85
0,595	No. 30	25 – 60
0,300	No. 50	10 – 30
0,150	No. 100	2 – 5

Sumber: ASTM C-33

2.2.2 Agregat Kasar

Menurut Leonard, *et. al* (1958) agregat kasar merupakan material yang terdiri dari batu pecah, kerikil, atau bahan lainnya yang memiliki karakteristik partikel yang bersih, keras, kuat, tahan lama dan bebas dari bahan-bahan berbahaya. Berdasarkan SNI 1969:2008 Agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirannya lebih besar dari 4,75 mm (Saringan No.4). Secara umum agregat terbagi menjadi beberapa jenis yaitu:

- a) Batu pecah yaitu material yang diperoleh dari pecahan batuan vulkanik, hasil sedimen, dan jenis metamorf.
- b) Kerikil yaitu material yang diperoleh dari hasil pecahan tepian batuan besar maupun pengikisan akibat aliran sungai.
- c) *Slag* yaitu jenis material yang diperoleh dari *blast-furnance*, *slag* merupakan material berpori dengan permukaan yang kasar serta memiliki kekuatan tekan yang tinggi.

2.5 Semen

Semen merupakan bahan pengikat hidrolis, yaitu bahan anorganik yang ditumbuk halus dan ketika bercampur dengan air akan terjadi reaksi dan proses hidrasi membentuk pasta yang berfungsi untuk mengikat agregat kasar dan agregat halus pada beton. Berdasarkan SNI 2049:2015 semen dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa bentuk kristal senyawa kalsium sulfat. Menurut SNI 2049:2015 semen dibedakan menjadi 5 tipe berdasarkan kegunaannya sebagai berikut

1) Semen Portland Tipe I

Semen Portland yang digunakan secara umum dan tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus dalam penggunaannya.

2) Semen Portland Tipe II

Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor dengan hidrasi sedang.

3) Semen Portland Tipe III

Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.

4) Semen Portland Tipe IV

Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi yang rendah.

5) Semen Portland Tipe V

Semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Secara umum seiring dengan perkembangan dunia konstruksi maka dikenal adanya semen portland komposit. Berdasarkan SNI 7064:2014 semen Portland komposit adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen Portland, terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), *pozzolan*, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari massa semen

portland komposit. Semen ini biasanya digunakan pada konstruksi umum bangunan biasa.

2.4 Air

Air merupakan komponen yang dibutuhkan dalam pembuatan beton dalam membantu terjadinya reaksi kimiawi antara semen dengan agregat. Berdasarkan SNI 2847:2019 syarat air yang akan digunakan pada campuran beton yaitu:

- a) Air yang akan digunakan pada campuran beton prategang atau yang di dalamnya terdapat logam aluminium termasuk air apa pun yang terkandung dalam agregat tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
- b) Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan tidak mengandung minyak, oli, asam, alkali, garam, dan bahan organik serta bebas dari senyawa-senyawa berbahaya lainnya.

2.5 Beton

Beton merupakan bahan konstruksi yang umum dijumpai untuk konstruksi bangunan gedung, jembatan, rigid, tol, dan infrastruktur lainnya. Beton dibuat dengan mencampurkan semen portland atau hidrolis yang lain dengan agregat halus, agregat kasar, dan air hingga menjadi satu kesatuan yang homogen. Tak jarang pada campuran beton ditambahkan bahan tambahan (*admixture*) dengan perbandingan tertentu. Campuran beton tersebut akan mengeras seiring pertambahan umur. Beton akan mencapai kekuatan rencananya ($f'c$) setelah berumur 28 hari.

Definisi beton menurut SNI 2847:2019 adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) yang membentuk massa padat. Seiring dengan penambahan umur, beton terus mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) pada usia 28 hari.

Menurut para ahli, beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat-agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air. Campuran ini kemudian akan membentuk

suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, agar memudahkan dalam pengerjaan (*workability*), durabilitas serta waktu pengerasan (Mc.Cormac, 2004).

2.3.1 Beton Mutu Normal

Beton mutu normal adalah beton yang mengandung agregat normal yang diperoleh dari agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah sehingga diperoleh berat jenis di udara atau berat massa volume beton antara 2100–2550 kg/m³ menurut ACI. Kekuatan tekan beton mutu normal 20 - 50 MPa pada umur 28 hari. Beton mutu normal biasanya dipakai untuk konstruksi-konstruksi sederhana seperti perumahan dan bangunan-bangunan gedung yang relatif tidak terlalu tinggi, dimana kekuatan tekan yang dibutuhkan tidak terlalu besar. Proses pelaksanaan pekerjaan konstruksi dengan menggunakan beton mutu normal tidak terlalu menuntut tingkat ketelitian dan keamanan yang tinggi, dan bahan-bahan dasar pembentuknya mudah diperoleh serta ekonomis. Kelemahan beton mutu normal yaitu mempunyai kekuatan yang kecil serta sifat- sifat khusus yang terbatas. Sifat khusus yang dimaksud antara lain kedap air, lebih tahan terhadap agresi kimiawi, tahan terhadap pengaruh lingkungan dimana beton tersebut digunakan, dan lain sebagainya (Murdock dan Brook, 1991).

2.3.2 Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang mempunyai kekuatan tekan lebih dari 42 MPa pada umur beton 28 hari menurut ACI. Namun metode yang paling populer digunakan akhir-akhir ini adalah metode penambahan atau substitusi. Keuntungan beton mutu tinggi selain nilai kekuatan tekannya yang tinggi, masih banyak aspek dan sifat-sifat lain yang tidak ditemukan pada beton mutu normal seperti kekuatan awal tinggi, beton segar yang lebih praktis, lebih encer, lebih mudah dikerjakan, lebih tahan terhadap segregasi, kurang bleeding, lebih tahan terhadap abrasi, lebih padat, lebih tahan panas, lebih tahan terhadap korosi, kerapatan lebih tinggi, susut dan rangkai yang kecil, keawetan lebih tinggi dan homogen. Namun dibandingkan dengan beton mutu normal, beton mutu tinggi lebih mudah rusak pada daerah dengan aktivitas seismik (sering terjadi gempa) karena sifatnya yang sangat getas (Mindess dan Young, 1981).

2.3.3 Kekuatan Tekan Beton

Menurut Tjokrodimuljo (2007) mengatakan kinerja beton di nilai dari kekuatan tekan beton yang dimilikinya. Semakin tinggi kekuatan tekan betonnya maka beton tersebut memiliki mutu yang bagus. Faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton adalah proporsi campuran, pengadukan saat pembuatan, pemadatan dan perawatannya. Kekuatan tekan beton adalah perbandingan beban terhadap luas penampang beton.

Pengujian kekuatan tekan mengacu pada SNI 1974:2011, pengujian ini dilakukan pada benda uji berbentuk silinder dengan dimensi ukuran adalah 100 mm x 200 mm yang telah melewati tahap perawatan (*curing*) air selama 28 hari. Nilai kekuatan tekan beton dapat dihitung berdasarkan 1974:2011 menggunakan persamaan 1, sebagai berikut:

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

Dengan keterangan: $f'c$ = Kekuatan Tekan (MPa)
 P = Gaya tekan aksial (N)
 A = Luas penampang silinder (mm²)

2.3.4 Kekuatan Tarik Belah Beton

Pengujian kekuatan Tarik belah bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton yang menggunakan agregat ringan. Kekuatan Tarik belah benda uji silinder merupakan nilai kekuatan tarik tidak langsung dari benda uji beton yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan (SK SNI S-60-1990-03). Ferguson (1986) dalam Rocky Armidon dan Tanjung Rahayu (2018), mengatakan kekuatan tarik belah beton relatif lebih rendah yaitu 10%-15% dari kekuatan tekan beton dan di dalam beberapa kasus dapat mencapai 20%. Kekuatan ini lebih sukar untuk diukur dan hasilnya berbeda-beda dari satu bahan percobaan ke bahan percobaan yang lain dibandingkan untuk silinder-silinder tekan.

Edward G Nawy (1998) mengatakan kekuatan tarik belah beton yang diperoleh dengan uji pembelahan silinder dilakukan dengan memberikan beban tekan secara merata di seluruh bagian panjang dari silinder hingga terbelah dua dari ujung ke ujung. Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan 0,5-0,6 kali $\sqrt{f'c}$, sehingga untuk beton konvensional digunakan $0,57 \sqrt{f'c}$.

Pengujian kekuatan tarik belah beton dilakukan dengan percobaan belah silinder dimana. Silinder diletakkan secara horizontal atau tegak lurus dengan gaya tekan yang diberikan. Kekuatan tarik belah beton akan diperoleh Ketika beton silinder telah terbelah menjadi dua. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 2491:2014 tentang kekuatan tarik belah beton. Kekuatan tarik belah beton dapat dihitung berdasarkan SNI 2491:2014 dengan rumus sebagai berikut:

$$f'_{ct} = \frac{2P}{\pi l d} \quad (2)$$

Dengan keterangan: f'_{ct} = Kekuatan Tarik Belah (MPa)
 P = Beban Tekan Maksimum (N)
 l = Panjang Benda Uji Silinder (mm)
 d = Diameter Benda Uji Silinder (mm)

2.3.5 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah kemiringan garis singgung dari diagram tegangan – regangan dalam daerah batas elastis linier. Nilai modulus elastisitas beton biasanya diperoleh pada saat tegangan tekan telah mencapai 25% - 50% dari $f'c$ maksimum. Nilai modulus elastisitas beton tergantung pada material dan pasta yang digunakan (Wang dan Salmon, 1986).

Modulus elastisitas beton merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang (Murdock & Brook, 1991). Beton tidak memiliki modulus elastisitas yang pasti. Nilainya bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik serta perbandingan semen dan agregat (McCormac, 2003)

Neville (1998) dalam Syarifuddin (2020) mengatakan khusus material beton, modulus elastisitasnya selalu berubah-ubah menurut kekuatannya. Beton memperlihatkan deformasi yang tetap (permanen) walaupun beban yang kecil. Modulus elastisitas beton hasil pengujian laboratorium dengan benda uji silinder dapat dihitung dengan menggunakan rumus menurut ASTM C 469-02 seperti pada rumus berikut:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,00005)} \quad (3)$$

Dimana, E = modulus elastisitas (kg/cm²)

S_2 = tegangan pada 40% tegangan runtuh (kg/cm²)

S_1 = tegangan pada saat nilai kurva regangan 0,000050 (kg/cm²)

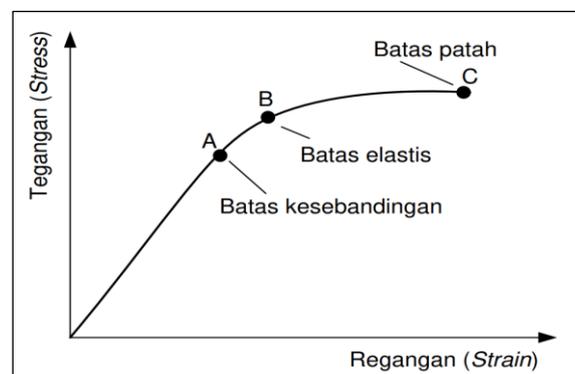
ϵ_2 = nilai kurva regangan yang terjadi pada saat S_2

Modulus Elastisitas beton juga dapat dihitung dengan rumus empiris menurut SNI 03-2847:2019 yaitu:

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

Dimana, E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

$f'c$ = Kekuatan Tekan (MPa)



(Sumber: Jurnal Berekeng 5, No. 2: 9-14, 2011)

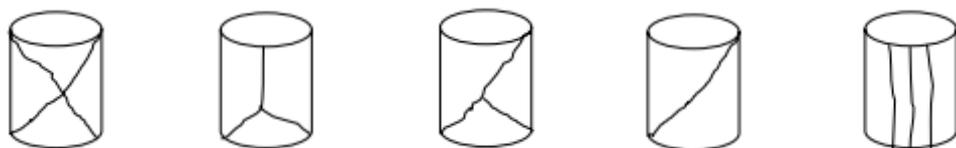
Gambar 8 Grafik tegangan terhadap regangan

2.6 Pola Retak

Menurut Andry, ddk (2014) retak dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu retak struktural dan non-struktural. Retak struktural merupakan retak yang biasa terjadi akibat kesalahan desain atau beban yang dipikul beton melebihi beban optimumnya. Sedangkan retak non-struktural Sebagian besar terjadi karena adanya tegangan yang diinduksi secara internal pada material beton hal ini umumnya tidak langsung mengakibatkan melemahnya beton.

Retak merupakan suatu keadaan dimana pada beton terjadi pecah atau pemisahan suatu struktur tanpa terjadi keruntuhan, beton biasanya mengalami retak karena adanya pembebanan serta terjadi hidrasi berlebihan dalam beton sehingga menyebabkan terjadinya susut (*shrinkage*). Menurut SNI 1974:2011 pola retak dapat dibedakan menjadi 5 jenis yaitu:

- a. Bentuk kehancuran kerucut (*Cone*)
- b. Bentuk kehancuran kerucut dan belah (*Cone and Split*)
- c. Bentuk kehancuran kerucut dan geser (*Cone and Shear*)
- d. Bentuk kehancuran geser (*Split*)
- e. Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (*Columnar*)



a) Kerucut b) Kerucut dan belah c) Kerucut dan geser d) Geser e) *Columnar*

(Sumber: SNI 1974:2011)

Gambar 9 Pola retak pada beton