

SKRIPSI

**STUDI KARAKTERISTIK BETON SUBSTITUSI SEMEN
DENGAN VARIASI *GLASS POWDER* (LIMBAH BOHLAM)
DENGAN RENDAMAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**RISKIADIN
D011 19 1072**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI KARAKTERISTIK BETON SUBSTITUSI SEMEN DENGAN VARIASI *GLASS POWDER* (LIMBAH BOHLAM) DENGAN RENDAMAN

Disusun dan diajukan oleh

Riskiadin
D011 19 1072

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

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



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

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Riskiadin
NIM : D011191072
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Studi Karakteristik Beton Substitusi Semen Dengan Variasi *Glass Powder*
(Limbah Bohlam) Dengan Rendaman }

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

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

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

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

Gowa, 26 Juni 2023

Yang Menyatakan



Riskiadin

ABSTRAK

RISKIADIN. *STUDI KARAKTERISTIK BETON SUBSTITUSI SEMEN DENGAN VARIASI GLASS POWDER (LIMBAH BOHLAM) DENGAN RENDAMAN* (dibimbing oleh Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST., MT dan Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M. Eng)

Pada era kemajuan teknologi yang terus berlanjut seperti ini, dalam pembangunan beton masih menjadi bahan konstruksi yang paling banyak digunakan. Namun, pembuatan beton dianggap berkontribusi secara signifikan bagi permasalahan lingkungan, karena kandungan material-material penyusunnya, yaitu salah satunya adalah semen. Penggunaan semen tersebut dapat dikurangi dengan cara menggantikan sebagian penggunaannya pada campuran beton dengan bahan yang memiliki sifat serupa dengan semen. Karena kandungan silika pada kaca cukup besar maka kaca berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen pada beton. Penelitian ini menyelidiki pengaruh penggunaan limbah lokal *glass powder* sebagai pengganti semen pada beton segar dan beton keras. Empat presentase *glass powder* digunakan 0%, 15%, 20% dan 25%. Dua metode pencampuran digunakan dalam penelitian ini. Pertama, metode pencampuran konvensional, dimana serbuk kaca ditambahkan dengan semen dan agregat. Kedua, serbuk kaca dilarutkan dalam air selama 6 jam sebelum ditambahkan ke semen dan agregat. Kemosotakan meningkat karena penggantian serbuk kaca meningkat pada beton karena adanya lebih banyak air bebas dalam struktur, yang menyebabkan kepadatan lebih rendah dan penyerapan air lebih tinggi. Akibatnya, kekuatan tekan metode konvensional menurun seiring bertambahnya serbuk kaca. Dari hasil penelitian ini tertinggi pada Kekuatan Tekan didapat pada variasi 20% yaitu sebesar 15.35 MPa, Kekuatan Tarik Belah tertinggi pada variasi 20% yaitu sebesar 1,37 MPa, dan Nilai modulus elastisitas secara eksperimen diperoleh nilai optimum pada beton variasi 20% sebesar 17067,62954 MPa hal tersebut sejalan dengan hasil nilai modulus elastisitas secara teori, yang optimum pada beton variasi 20% Sebesar 18406,20459 Mpa.

Kata Kunci: Beton, *Glass Powder*, Perendaman

ABSTRACT

RISKIADIN . STUDY OF CONCRETE CHARACTERISTICS OF CEMENT SUBSTITUTION WITH GLASS POWDER (WASTE BULB) VARIATION WITH SOAT (supervised by Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin , ST., MT and Prof. Dr-Ing . Herman Parung , M.Eng)

In an era of progress and continuing technology continues like this, in construction concrete is still the most widely used construction material used. However, the manufacture of concrete is considered to contribute in a manner significant to the problem environment, because of the content of the constituent materials, ie Wrong one is cement. The use of cement can be reduced by: replacing part of its use in concrete mixes with materials that have characteristics similar to cement. Because content If the silica in glass is large enough, glass has the potential to be used as a substitute for cement in concrete. This study investigates the effect of using waste local glass powder as a substitute for cement in fresh concrete and hard concrete. Four percentages of glass powder used were 0%, 15%, 20%, and 25%. Two methods of mixing were used in this research. First, the method of mixing is conventional, where glass powder is added with cement and aggregate. Second, the glass powder was dissolved in water for 6 hours before being added to cement and aggregate. Slump increases Because the replacement of glass powder increases in concrete due to the presence of more free water in the structure, which causes lower density _ And higher water absorption. Consequently, the strong press method conventional decreases along with an increase in glass dust. From the results of this study, the highest is Strength Press obtained at a variation of 20% ie of 15.35 MPa, Tensile Strength Split highest at a 20% variation ie of 1.37 MPa, and The elastic modulus value experimentally obtained the optimum value for 20% variation concrete of 17067.62954 MPa, this is in line with the results of the theoretical elastic modulus value, which is optimum for 20% variation concrete of 18406.20459 MPa.

Keywords: Concrete, Glass Powder, Immersion

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Teori Beton	7
2.3 Material Penyusun Beton	8
2.3.1 Semen Portland.....	8
2.3.2 Agregat Kasar.....	8
2.3.3 Agregat Halus.....	9
2.3.4 Air.....	10
2.3.5 Kaca.....	11
2.4 Pengujian Karakteristik Beton	14
2.4.1 Kekuatan Tekan.....	14
2.4.2 Kekuatan Tarik Belah.....	15
2.4.3 Modulus Elastisitas.....	16
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Prosedur Penelitian	18
3.2 Lokasi Penelitian.....	18
3.3 Jenis Penelitian dan Sumber Data	20
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	20
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material.....	21
2.5.1 Kerikil.....	21
2.5.2 Pasir.....	22
2.5.3 Serbuk Kaca.....	22
3.6 Pembuatan Benda Uji.....	23
3.7 Perawatan Benda Uji.....	24
3.8 Pengujian (<i>Curing</i>) Benda Uji	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Pemeriksaan Karakteristik Agregat	26
4.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristikn <i>Glass Powder</i>	26
4.2.1 Berat Jenis <i>Glass Powder</i>	25

4.2.2 XRF (<i>X-Ray Fluoresence</i>) Glass Powder.....	27
4.3 Rancangan Campuran	28
4.4 Hasil Pengujian Karakteristik Benda Uji	28
4.4.1 Kekuatan Tekan Beton.....	28
4.4.2 Kekuatan Tarik Belah Beton.....	33
4.4.3 Modulus Elastisitas.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses Pemisahan Limbah Kaca.....	12
Gambar 2. Limbah Kaca Bohlam.....	12
Gambar 3. Penggilingan Limbah Kaca.....	13
Gambar 4. <i>Glass Powder</i> Setelah disaring.....	13
Gambar 5. <i>Glass Powder</i> Setelah dikemas.....	14
Gambar 6. Flowchart Pengujian.....	18
Gambar 7. Lokasi Penelitian.....	20
Gambar 8. Material yang digunakan.....	201
Gambar 9. <i>Curing</i> Benda Uji.....	25
Gambar 10. Alat Pengujian.....	25
Gambar 11. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan Sampel Beton Konvensional.....	30
Gambar 12. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan Sampel beton variasi 15% perendaman.....	30
Gambar 13. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan Sampel beton variasi 20% perendaman.....	31
Gambar 14. Grafik Hubungan Beban dan Perpindahan Sampel beton variasi 25% perendaman.....	31
Gambar 15. Rekapitulasi Hasil Analisa Kekuatan Tekan.....	32
Gambar 16. Perbandingan Kekuatan Tekan Beton Berdasarkan Substitusi Jenis Limbah.....	32
Gambar 17. Pengujian Kekuatan Tekan Beton.....	33
Gambar 18. Rekapitulasi Hasil Analisa Kekuatan Tarik Belah.....	35
Gambar 19. Perbandingan Kekuatan Tarik Belah Beton Berdasarkan Substitusi Limbah.....	35
Gambar 20. Pengujian Kekuatan Tarik Belah.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kandungan Serbuk Kaca	11
Tabel 2. Pemeriksaan Karakteristik Kerikil	22
Tabel 3. Pemeriksaan Karakteristik Pasir.....	22
Tabel 4. Pemeriksaan Karakteristik Serbuk Kaca	22
Tabel 5. Jumlah Benda Uji	23
Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat	26
Tabel 7. Hasil Pemeriksaan Karakteristik <i>Glass Powder</i>	27
Tabel 8. Hasil Pengujian XRF <i>Glass Powder</i>	27
Tabel 9. Komposisi <i>Mix Design</i> Beton.....	28
Tabel 11. Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton Konvensional	29
Tabel 12. Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton 15%	29
Tabel 13. Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton 20%	29
Tabel 14. Hasil Uji Kekuatan Tekan Beton 25%	29
Tabel 15. Hasil Uji Kekuatan Tarik Belah Konvensional	33
Tabel 16. Hasil Uji Kekuatan Tarik Belah 15%	33
Tabel 17. Hasil Uji Kekuatan Tarik Belah 20%	34
Tabel 18. Hasil Uji Kekuatan Tarik Belah 25%	34
Tabel 19. Hasil Uji Modulus Elastisitas Beton Variasi Perendaman	36

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$f'c$	Kuat tekan beton (Mpa atau N/mm^2).
P	Gaya tekan aksial (N).
A	Luas penampang melintang benda uji (mm^2).
E	Modulus Elastisitas
S_2	Tegangan pada 40% tegangan runtuh (N/mm^2)
S_1	Tegangan pada saat regangan 0,000050 (N/mm^2)
T	Kekuatan tarik belah (Mpa)
P	Beban maksimum (N)
l	Panjang benda uji (mm)
d	Diameter benda uji (mm)
GP	<i>Glass Powder</i>
KT	Kekuatan Tekan
ME	Modulus Elastisitas
KTB	Kekuatan Tarik Belah
SiO_2	Silika
CaO	Kalsium Oksida
Na_2O	Natrium Oksida
CSH	Kalsium Silikat Hidrat
f ct	Kekuatan Tarik Belah
MPa	<i>Megapascal</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Persiapan Material	40
Lampiran 2. Dokumentasi Pembuatan Benda Uji	41
Lampiran 3. Dokumentasi Perawatan Benda Uji	42
Lampiran 4. Dokumentasi Pengujian	43
Lampiran 5. Hasil dan Pembahasan	44

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas Akhir yang berjudul “**Studi Karakteristik Beton Substitusi Semen Dengan *Glass Powder* (Limbah Bohlam) Dengan Rendaman**”, ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami beton bertulang.

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

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

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **La Ode Sudarni** dan **Ani Nurdin** atas doa, kasih sayang dan segala dukungan dan kebaikan selama ini, baik spiritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Saudara tercinta **Hisyam La Ode Sudarni** atas doa, kasih sayang, segala dukungan dan kebaikan selama ini.
3. Kepada diri saya sendiri Riskiadin selaku penulis. Terimakasih telah berjuang bersama melewati dinamika yang terjadi selama ini, Terimakasih karena tidak pernah menyerah dan selalu yakin bahwa kita mampu, Terimakasih telah menjadi diri sendiri dengan versi terbaik yang kita miliki. “Hidup ini tentang perubahan, tidak semua perubahan membawa kepada hal-hal baik dan tidak

semua perubahn membawa kepada hal-hal buruk tapi satu hal yang pasti memang kita harus siap dibawah pada perubahan karena kereta perubahan zaman tidak akan pernah mau menunggu orang-orang yang hanya bisa diam”.

4. Kepada pemilik NIM dengan akhiran 207, terimakasih karena telah berkontribusi banyak dalam penulisan tugas akhir ini, meluangkan baik, tenaga, pikiran, materi maupun moril kepada saya. Terimakasih telah menjadi bagian dari perjalanan saya hingga saat ini. “Disaat dirimu meragukan kemampuanmu disaat itulah Allah yakin kamu mampu”.
5. Keluarga HPMT Makassar, dan DMC IKATEK UH yang senantiasa memberikan dukungan dan doa dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Teman-teman asisten Laboratorium Struktur dan Bahan, yang selalu senantiasa meluangkan waktu untuk penulis, selama proses penelitian dan penyelesaian tugas akhir.
7. Seluruh rekan-rekan di Laboratorium Riset Gempa, yang senantiasa memberikan semangat dan memberi warna kebersamaan di Lab.
8. Saudara-saudari PORTLAND 2020, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2019 yang senantiasa memberikan warna yang begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini. *We are the Champion Keep on Fighting Till the End.*
9. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan dan dukungan hingga penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan. Oleh karena itu, dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 26 Juni 2023

Riskiadin
D011 19 1072

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang paling luas penggunaannya. Bahan bangunan yang terbentuk dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus dan air memiliki daya tarik yang cukup besar dalam penggunaannya. Bahan dasar pembuaatan beton seperti agregat merupakan sumber daya yang mudah didapatkan dan banyak tersedia di alam dan pemeliharanya yang mudah. Semakin pesatnya pertumbuhan pengetahuan di bidang konstruksi diperlukan suatu bahan bangunan sebagai bahan campuran beton yang memiliki keunggulan yang lebih baik dan dibandingkan bahan yang sudah ada selama ini. Selain itu bahan tersebut harus memiliki beberapa keuntungan seperti bentuk yang dapat menyesuaikan kebutuhan, biaya yang lebih ekonomis, kecepatan pelaksanaan konstruksi, serta ramah lingkungan.

Berkembangnya pembangunan di seluruh dunia yang sangat cepat dari tahun ketahun membuat beberapa evolusi teknologi, Hal ini didorong oleh kebutuhan akan material yang dapat memenuhi sifat-sifat tertentu yang diinginkan. Seiring dengan pesatnya pembangunan, kebutuhan masyarakat akan bahan bangunan juga semakin meningkat, dimana semen merupakan bahan bangunan utama. Dengan meningkatnya permintaan semen, maka harga semen juga akan semakin tinggi. Hal ini mendorong para ahli untuk mengembangkan material alternatif pengganti semen yang relatif murah tanpa mengurangi kualitas hasilnya. Material lain yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen adalah dengan memanfaatkan serbuk kaca bekas.

Limbah kaca menjadi salah satu penyumbang tertinggi dalam pencemaran lingkungan. Bahkan secara statistik tidak ada informasi yang jelas dan pasti mengenai kuantitas limbah kaca yang ada di seluruh dunia hingga hari ini. Meski begitu, beberapa data berikut mungkin dapat dijadikan pertimbangan bagi kita untuk tidak memperburuk jumlah limbah kaca yang ada.

Kaca merupakan limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri dan rumah tangga yang tidak bisa terurai, apabila jumlahnya terlalu banyak maka akan

merusak lingkungan. Namun limbah kaca dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan pengisi pada beton karena kaca memiliki ketahanan terhadap cuaca dan serangan zat kimia yang baik. Serbuk kaca diharapkan berfungsi sebagai pengganti semen karena memiliki potensi sebagai material pozzoland dengan kandungan silika (SiO_2), Na_2O dan CaO pada kaca cukup besar yaitu lebih dari 70% sehingga menghasilkan kekuatan yang melebihi rencana dan dapat mengurangi biaya pembuatan beton. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh (Karwur dkk., 2013)

Beton adalah campuran yang terdiri dari agregat halus, agregat kasar, air dan semen Portland atau dengan semen hidrolis lainnya dengan atau tanpa bahan tambahan dapat berupa bahan kimia atau bahan non kimia atau bahan lainnya yang berupa serat, pozzoland dan sebagainya dengan perbandingan tertentu. Mengingat harga semen yang semakin mahal mengakibatkan biaya pembuatan beton yang semakin mahal pula. Salah satu usaha untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan memanfaatkan limbah kaca sebagai substitusi parsial semen pada campuran beton. Serbuk kaca diharapkan berfungsi sebagai pengganti sebagian semen karena memiliki potensi sebagai material pozzoland, sehingga dapat menghasilkan kekuatan yang melebihi kekuatan rencana dan dapat mengurangi biaya pembuatan beton. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh (Hudori dkk., 2022)

Penggunaan kaca daur ulang membantu dalam penghematan energi dan perbaikan lingkungan. Meningkatnya kesadaran akan daur ulang kaca mempercepat perubahan penggunaan limbah kaca dengan bentuk berbeda di berbagai bidang. Salah satu kontribusinya yang signifikan adalah pada bidang konstruksi dimana limbah kaca digunakan kembali untuk produksi beton. Sifat-sifat beton yang mengandung limbah kaca sebagai semen diteliti dalam penelitian ini.

Dalam penelitian ini, rancangan campuran serbuk kaca menggunakan variasi kandungan sebesar 15%, 20%, dan 25% dimana dilakukan pengujian kekuatan tekan, modulus elastisitas dan kekuatan tarik belah pada umur sampel uji 28 hari serta pengamatan pengaruh limbah kaca terhadap beton pada umur 28 hari.

Dari uraian diatas, penulis mencoba untuk mengangkat sebuah tugas akhir berjudul :

“STUDI KARAKTERISTIK BETON SUBSTITUSI SEMEN DENGAN VARIASI *GLASS POWDER* (LIMBAH BOHLAM) DENGAN RENDAMAN”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, maka dapat diambil rumusan masalah :

1. Bagaimana nilai presentase variasi serbuk limbah kaca yang optimal sebagai pengganti sebagian semen agar di peroleh nilai kekuatan tekan, modulus elastisitas dan kekuatan tarik belah pada maksimal 28 hari?
2. Bagaimana pengaruh perendaman serbuk kaca dalam air setelah di campur dengan bahan beton lainnya terhadap sifat beton segar dan keras?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk menganalisis nilai presentase variasi serbuk limbah kaca yang optimal sebagai pengganti sebagian semen agar di peroleh nilai kuat tekan dan kuat tarik belah maksimal 28 hari.
2. Untuk menganalisis pengaruh perendaman serbuk kaca dalam air setelah di campur dengan bahan beton lainnya terhadap sifat beton segar dan keras.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah mendapatkan karakteristik limbah kaca terhadap variasi substitusi semen, presentase variasi serbuk kaca yang optimal sebagai pengganti semen dan mengetahui pengaruh rendaman serbuk kaca dalam air setelah di campur.

1.5 Ruang Lingkup

Demi tercapainya penelitian diperlukan suatu batasan dalam penulisan agar pembahasan tidak meluas ruang lingkupnya sehingga tujuan dari penulis dapat tercapai dan dipahami.

Adapun ruang lingkup penulisan yang dijadikan batasan dalam penulisan adalah :

1. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Bs
2. Menggunakan limbah kaca.
3. Penelitian menggunakan variasi substitusi limbah kaca sebagai pengganti semen sebesar 15%, 20% dan 25%.

4. Penelitian menggunakan cetakan benda uji berbentuk silinder 100 mm x 200 mm.
5. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji kekuatan tekan kekuatan tarik belah dan modulus elastisitas.
6. Waktu perendaman serbuk kaca selama 6 jam
7. Pengujian dilakukan di Laboratorium yang sesuai dengan standar resmi dan akan didapatkan hasil pengujian-pengujian yang diharapkan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

(Karwur dkk., 2013) melakukan penelitian mengenai **“Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen”**, pada penelitian ini serbuk kaca digunakan sebagai pengganti semen. Kaca merupakan limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri dan rumah tangga yang tidak bisa terurai, apabila jumlahnya terlalu banyak maka akan merusak lingkungan. Namun limbah kaca dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan pengisi pada beton karena kaca memiliki ketahanan terhadap cuaca dan serangan zat kimia yang baik. Serbuk kaca diharapkan berfungsi sebagai pengganti semen karena memiliki potensi sebagai material pozzoland dengan kandungan silika (SiO_2), Na_2O dan CaO pada kaca cukup besar yaitu lebih dari 70% sehingga menghasilkan kekuatan yang melebihi rencana dan dapat mengurangi biaya pembuatan beton.

(Herbudiman & Januar, 2011) melakukan penelitian tentang **“Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Powder *Self-Compacting Concrete*”**, penelitian tentang kekuatan tekan beton dengan bahan tambah serbuk kaca sebagai bahan pengganti semen didapatkan bahwa semakin banyak substitusi serbuk kaca pada semen akan membuat berat volume beton berkurang. Nilai kekuatan tekan pada umur 28 hari mengalami peningkatan terhadap kaca 0%. Penelitian ini memanfaatkan serbuk kaca sebagai powder pada *self-compacting concrete* didapatkan kadar optimum substitusi parsial serbuk kaca adalah 10%. Komposisi tersebut menghasilkan nilai kekuatan tekan dan kekuatan tarik rata-rata 49,08 MPa dan 4,08 MPa yang menunjukkan peningkatan kekuatan.

(Elaqra, Haloub, dkk., 2019) meneliti tentang **“*Effect of New Mixing Method of Glass Powder As Cement Replacement On Mechanical Behavior of Concrete*”**, studi ini menyelidiki pengaruh penggunaan limbah lokal *glass powder* (yang dihasilkan dari penghancuran limbah kaca) sebagai pengganti semen pada beton segar dan beton keras. empat persentase *glass powder* (GP) digunakan: 0%, 10%, 20%, dan 30%. Dua metode pencampuran digunakan dalam penelitian ini. Pertama, metode pencampuran konvensional, dimana serbuk kaca ditambahkan dengan

semen dan agregat. Kedua, serbuk kaca dilarutkan dalam air sebelum ditambahkan ke semen dan agregat. Kemerostan meningkat karena penggantian serbuk kaca meningkat pada beton karena adanya lebih banyak air bebas dalam struktur, yang menyebabkan kepadatan lebih rendah dan penyerapan air lebih tinggi. Akibatnya, kuat tekan metode campuran konvensional menurun seiring bertambahnya serbuk kaca pada usia dini. Kemudian, setelah 90 hari, kuat tekan tertinggi diperoleh untuk 20% GP. Metode pencampuran baru menunjukkan kekuatan tekan yang lebih tinggi daripada metode pencampuran konvensional. Menggunakan 10% GP dalam metode pencampuran baru memberikan peningkatan yang signifikan, sekitar 130% dari kuat tekan campuran kontrol. Peningkatan ini dapat dikaitkan dengan hidrolisis serbuk kaca menjadi ion bebas SiO_2 , CaO dan Na_2O dalam air yang membentuk lebih banyak CSH. Indeks relatif membuktikan peningkatan reaktivitas serbuk kaca dengan meningkatnya jumlah serbuk kaca.

(Elaqra dkk., 2019) melakukan penelitian tentang “*Effect of Immersion Time of Glass Powder On Mechanical Properties of Concrete Contained Glass Powder As Cement Replacement*”, pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh waktu perendaman serbuk kaca (GP) dalam air sebelum dicampur dengan bahan beton lainnya terhadap sifat beton segar dan keras. Enam kali perendaman (0, 1, 2, 3, 6 dan 12 jam) diselidiki dengan jumlah GP yang berbeda sebagai pengganti semen (0, 2,5, 5, 10 dan 20%). yang di peroleh dari penelitian ini adalah kekuatan tekan optimum diperoleh pada campuran 2,5 dan 5% GP dan pada waktu perendaman 3 jam dan 6 jam. Pada usia dini, kuat tekan yang lebih tinggi berasal dari efek ganda dari pengembangan reaksi *pozzolanic* karena peningkatan ion bebas dalam air sebelum pencampuran dengan beton dan efek pengisian serbuk kaca. Pematangan zona transisi antara pasta semen dan agregat menyebabkan kekuatan tekan beton yang lebih tinggi. Kemudian, pada waktu curing yang lama, peningkatan kekuatan tekan berkorelasi dengan kemajuan reaksi pozzolan dari GP.

(Islam dkk., 2017) melakukan penelitian tentang “*Waste Glass Powder As Partial Replacement of Cement For Sustainable Concrete Practice*”, meneliti tentang uji aliran dan kekuatan tekan pada mortar dan beton dilakukan dengan menambahkan 0–25% kaca tanah di mana rasio air terhadap pengikat semen limbah kaca dijaga tetap sama untuk semua tingkat penggantian. Dengan peningkatan

aliran mortar penambahan kaca sedikit meningkat sementara efek kecil pada kemampuan kerja beton dicatat. Untuk mengevaluasi efek pengepakan dan pozzolan, pengujian lebih lanjut juga dilakukan dengan detail campuran yang sama dan dosis campuran plastisisasi super 1% berdasarkan berat semen dan secara umum ditemukan peningkatan kekuatan tekan mortar dengan campuran. Seperti mortar, sampel kubus beton disiapkan dan diuji kekuatannya (hingga 1 tahun perawatan). Hasil uji kekuatan tekan menunjukkan bahwa mortar kaca dan beton daur ulang memberikan kekuatan yang lebih baik dibandingkan sampel kontrol. Penggantian 20% semen dengan limbah kaca dianggap meyakinkan mengingat biaya dan lingkungan.

2.2 Teori Beton

Berdasarkan SNI 2847:2019, Beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*).

Beton adalah material komposit rumit. Beton dapat dibuat dengan mudah bahkan oleh mereka yang tidak punya pemahaman sama sekali tentang teknologi beton, tetapi pemahaman yang salah dari kesederhanaan ini sering menghasilkan persoalan pada produk, antara lain reputasi jelek dari beton sebagai materi bangunan (Nugraha & Antoni, 2007).

Dari pemakaiannya yang begitu luas maka dapat diduga sejak dini Dari pemakaiannya yang begitu luas maka dapat diduga sejak dini yang lain.

Keunggulan beton menurut (Nugraha dan Antoni, 2007):

- a. Ketersediaan (*availability*) material dasar.
- b. Kemudahan untuk digunakan (*versatility*).
- c. Kemampuan beradaptasi (*adaptability*).
- d. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal.

Kelemahan beton menurut (Nugraha dan Antoni, 2007):

- a. Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m^3 .
- b. Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar.
- c. Beton cenderung untuk retak, karena semennya hidraulis. Baja tulangan bisa berurat, meskipun tidak terekspose separah struktur baja.
- d. Kualitasnya sangat tergantung cara pelaksanaan di lapangan. Beton

yang baik maupun yang buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama.

- e. Struktur beton sulit dipindahkan. Pemakaian kembali atau daur ulang sulit dan tidak ekonomis. Dalam hal ini struktur baja lebih unggul, misalnya tinggal melepas sambungannya saja.

2.3 Material Penyusun Beton

2.3.1. Semen Portland

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (clinker) portland terutama yang terdiri dari kalsium silika ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk Kristal senyawa kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Adapun jenis-jenis semen Portland (SNI 2049-2015) adalah :

1. Jenis I, yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang
3. Jenis III, yaitu *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi
4. Jenis IV, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.3.2. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil dari disintegrasi alami batuan atau berupa batu pecah yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm sesuai dengan (SNI 1969:2016).

Adapun jenis agregat kasar menurut (Nawy, 1998) adalah:

- Batu pecah alami: Bahan ini didapat cadas atau batu pecah alami yang

digali. Batu pecah ini dapat berasal dari gunung api, jenis sedimen, atau jenis metamorf. Meskipun dapat menghasilkan kekuatan yang tinggi terhadap beton, batu pecah kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran di bandingkan dengan agregat kasar lainnya.

- Kerikil alami: Kerikil didapat dari proses alami, yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih rendah dari pada batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.
- Agregat kasar buatan: Terutama berupa slag atau shale yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan. Biasanya merupakan hasil dari proses lain seperti dari blast-furnance dan lain-lain.
- Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat: Dengan adanya tuntutan yang spesifik pada zaman atom sekarang ini, juga untuk pelindung dari radiasi nuklir sebagai akibat dari semakin banyaknya pembangkit atom dan stasiun tenaga nuklir, maka perlu ada beton yang dapat melindungi dari sinar x, sinar gamma, dan neutron. Pada beton demikian syarat ekonomis maupun syarat kemudahan pengerjaan tidak begitu menentukan. Agregat kasar yang diklasifikasikan di sini misalnya baja pecah, barit, magnetit dan limonit.

2.3.3. Agregat Halus

Menurut SNI 1969- 2016, Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran terbesar 5,0 mm. (Nugraha & Antoni, 2007) mengatakan kualitas agregat halus haruslah:

- Sound secara fisik, yaitu tahan terhadap pengaruh beku-cair.
- Berbentuk baik, bentuk kubikal atau bulat lebih baik daripada yang sangat bulat atau pipih. Pemakaian pasir hasil pnggilingan umumnya menambah kekuatan tekan dan lentur.
- Tergradasi dengan baik, akan mempunyai persentase ruang kosong yang minimal dan luas permukaan minimal. Masalah pada beton sering diakibatkan agregat halus yang terkontaminasi dan kurva gradasi yang

mempunyai “puncak”. Puncak ataupun lembah merupakan indikasi pasir yang mengalami pendarahan (*bleeding sand*).

(Nugraha & Antoni, 2007) mengatakan kegunaan agregat halus:

- Mengisi ruang antar butir agregat kasar.
- Memberikan kelecakan, berfungsi sebagai ball bearing. Kelecakan berarti menambah mobilitas sehingga mengurangi gesekan antar butir agregat kasar.

2.3.4 Air

Air adalah unsur penting yang digunakan untuk pembuatan beton, karena beton merupakan material komposit dimana air mempunyai peran utama agar terjadi proses kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah saat proses pengerjaan atau biasa dikenal dengan workabilitas beton. Air yang digunakan dalam campuran beton haruslah air bersih dan tidak mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, air yang mengandung senyawa berbahaya bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Air berfungsi sebagai bahan pengikat (bahan penghidrasi semen) dan bahan pelumas antara butir-butir agregat supaya mempermudah proses pencampuran agregat dengan binder serta mempermudah pelaksanaan pengecoran beton (*workability*). Menurut PBI 1979, air untuk campuran beton secara umum adalah air yang dapat diminum, namun secara detail air harus terbebas dari minyak, asam alkali, garam dan bahan-bahan organik. Air pada campuran beton berperan ganda yaitu menjadi bahan penting dalam reaksi kimiawi semen sebagai bahan perekat serta untuk melumasi agregat sehingga beton mudah dikerjakan. Menurut SNI – 03 – 2847 – 2012, Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi:

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

diuji sesuai dengan “Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis (Menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)” (ASTM C 109).

2.3.5 Kaca

Penggunaan dan pemanfaatan limbah padat sebagai bahan pengganti (substitusi) terhadap sebagian dari berat agregat halus maupun semen yang dibutuhkan dalam campuran adukan beton seperti pemakaian serbuk kaca (*glass powder*). Admixture adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan-bahan ini ialah untuk mengubah sifat-sifat dan karakteristik dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, mempercepat pengerasan dan penghematan biaya (Tri Mulyono, 2003).

Bubuk kaca atau adalah serpihan kaca yang dihancurkan dan biasa digunakan untuk campuran pembuatan keramik di pabrik keramik. Bubuk kaca ini berupa butiran halus dengan ukuran butiran 0,075 mm - 0,15 mm, tidak porous serta bersifat pozolanik. Bubuk kaca yang berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen dan diharapkan menambah kuat tekan beton karena butirannya yang sangat kecil dan mampu mengisi lubang pori pada beton. Penggunaan limbah industri merupakan alternatif yang baik, karena akan terjadi proses pemanfaatan sehingga limbah dapat dikurangi.

Unsur pokok dari kaca adalah silika (Setiawan, 2006). Ada beberapa kandungan kimia dalam kaca seperti **Tabel 1.** di bawah ini:

Tabel 1. Kandungan Serbuk Kaca

Unsur	Serbuk Kaca
SiO ₂	61.72 %
Al ₂ O ₃	3.45 %
F ₂ O ₃	0.18 %
CaO	2.59 %

Sumber: (Hanafiah, 2011)

Berikut adalah tahap pengolahan limbah kaca menjadi *glass powder* di pabrik pengolahan limbah:

1. Pemisahan limbah kaca: Dalam proses ini dilakukan dengan memisahkan limbah kaca berdasarkan jenis limbahnya.



Gambar 1. Proses Pemisahan Limbah Kaca



Gambar 2. Limbah Kaca Bohlam

2. Pembersihan limbah kaca: Setelah limbah dipisahkan, langkah selanjutnya adalah membersihkan kaca dari kotoran serta masih tercampur dengan benda asing seperti debu, bebatuan dan lain sebagainya menempel pada permukaannya.
3. Penggilingan: Kaca yang sudah kering kemudian digiling menjadi *glass powder* menggunakan mesin penggiling.



Gambar 3. Penggilingan Limbah kaca

4. Penyaringan: Setelah digiling, *glass powder* disaring sesuai dengan ukuran

partikel yang diinginkan. Pada penelitian ini, *glass powder* yang digunakan adalah *glass powder* yang lolos saringan no. 200 sebagai substitusi semen.



Gambar 4. *Glass Powder* Setelah disaring

5. Pengemasan: Setelah melalui tahapan pengolahan diatas, *glass powder* siap untuk dikemas dan dikirim dari Kota Surabaya ke Kab. Gowa (Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin).



Gambar 5. *Glass Powder* Setelah dikemas

Bubuk kaca mempunyai kelebihan dibandingkan dengan bahan pengisi pori yang lainnya (Dian, 2011), yaitu:

1. Mempunyai sifat tidak menyerap air (*zero water absorption*) dapat mengisi rongga-rongga pada beton secara maksimal sehingga beton bersifat kedap air.
2. Serbuk kaca memperbaiki kandungan dari beton segar sehingga kekuatan yang tinggi dapat dicapai tanpa penggunaan *superplasticizer*.

3. Kaca tidak mengandung bahan berbahaya, sehingga pada saat pengerjaan beton aman bagi manusia.
4. Serbuk kaca yang baik mempunyai sifat pozzoland sehingga dapat berfungsi sebagai pengganti semen dan filler yang dapat meningkatkan kuat tekan beton.

2.4 Pengujian Karakteristik Beton

Sifat – sifat karakteristik beton adalah fungsi dari waktu ke waktu dan kelembapan disekitarnya. Untuk mendapatkan nilai tersebut, pengujian pada beton harus dilakukan dibawah spesifikasi tertentu atau pada kondisi yang diketahui. Pengujian beton dapat dilakukan untuk tujuan yang berbeda tetapi dua tujuan utamanya adalah kontrol kualitas dan sesuai dengan standar spesifikasi. Berikut adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik beton :

2.4.1 Kekuatan Tekan

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

1. FAS atau faktor air semen, hubungan fas dengan kekuatan tekan beton adalah semakin rendah fas maka semakin tinggi nilai kekuatan tekan beton. Tetapi pada kenyataannya pada suatu nilai fas tertentu semakin rendah nilai fas maka kekuatan tekan beton akan rendah. Hal ini terjadi karena jika fas rendah menyebabkan adukan beton sulit dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai optimal yang menghasilkan kekuatan tekan beton yang maksimal.
2. Umur beton, kekuatan beton akan bertambah sesuai dengan umur beton tersebut. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton dipengaruhi oleh fas dan suhu perawatan. Semakin tinggi fas, maka semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya, dan semakin tinggi suhu perawatan maka semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya.
3. Jenis semen, kualitas pada jenis-jenis semen memiliki laju kenaikan kekuatan yang berbeda.
4. Efisiensi dari perawatan (*curing*), kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila terjadi pengeringan terjadi sebelum waktunya. Perawatan adalah

hal yang sangat penting pada pekerjaan dilapangan dan pada pembuatan benda uji.

5. Sifat agregat, dalam hal ini kekerasan permukaan, gradasi, dan ukuran maksimum agregat berpengaruh terhadap kekuatan beton.

Tata cara pengujian yang dipakai secara umum di Indonesia adalah Standar Nasional Indonesia (SNI 1974 : 2011). Kekuatan tekan beton didapat dari hasil perbandingan antara gaya yang mampu ditahan oleh benda uji dengan luas alas penampang benda uji tersebut. Kekuatan tekan beton dapat dirumuskan sebagai persamaan (1).

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

Keterangan :

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

P = Beban

A = Luas penampang (mm^2)

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain.

2.4.2 Kekuatan Tarik Belah

Kekuatan tarik belah relatif rendah, kira-kira 10-15% dari kekuatan tekannya. Pendekatan yang baik untuk menghitung kekuatan tarik beton f'_{ct} adalah dengan rumus $0,1f'c < f'_{ct} < 0,2f'c$. Kekuatan tarik lebih sulit diukur dibandingkan dengan kekuatan tekan bila dengan beban-beban aksial langsung dan masalah penjepitan (*gripping*) pada mesin. Sehingga untuk mengetahui kekuatan tarik beton dalam pengujian hanya dapat diukur dengan metode uji keruntuhan (*modulus of rupture*) dan metode uji belah silinder.

Kekuatan tarik belah beton yang diperoleh dengan uji pembelahan silinder dilakukan dengan memberikan beban tekan secara merata diseluruh bagian panjang dari silinder hingga terbelah dua dari ujung ke ujung. Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan $0,05 - 0,6$ kali $\sqrt{f'c}$, sehingga untuk beton konvensional digunakan $0,57 \sqrt{f'c}$. (Nawy, 1998).

Alasan utama dari kekuatan tarik yang kecil bahwa pada kenyataannya beton dipenuhi retak-retak halus yang tidak dipengaruhi bila beton menerima beban tekan karena beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyaluran tekan, berbeda jika beton menerima beban tarik.

Untuk tarik belah dapat dihitung dengan persamaan berikut (SNI 2491 : 2014):

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

Keterangan :

f'_{ct} = Kekuatan tarik belah (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

l = Panjang benda uji (mm)

d = Diameter benda uji (mm)

π = Jari-jari

2.4.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan Panjang. Beton tidak memiliki modulus elastisitas yang pasti. Nilainya bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik serta perbandingan semen dan agregat.

Nilai modulus elastisitas beton dapat dihasilkan pada pengujian dilaboratorium menggunakan alat kompressometer yang dipasang pada benda uji beton silinder. hasil pengujian dapat dihitung dengan menggunakan rumus menurut (ASTM C 469 – 02) :

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

Keterangan :

E = Modulus Elastisitas (N/mm²)

S₂ = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (N/mm²)

S₁ = Tegangan pada saat regangan 0,000050 (N/mm²)

ϵ_2 = Regangan pada saat S₂

Modulus Elastisitas beton juga dapat dihitung dengan rumus empiris menurut (SNI 2847-2013), yaitu :

1. Beton Normal

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

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

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

Keterangan :

E = Modulus Elastisitas (N/mm^2)

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

Wc = Berat Volume Beton (Kg/m^3)