

SKRIPSI
PENGARUH VARIASI *SILICA FUME* DAN *WASTE GLASS*
AGGREGATE* PADA CAMPURAN *PERVIOUS CONCRETE
DENGAN *CURING*



DEA PRATIWI
03011181520047

JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

SKRIPSI
PENGARUH VARIASI *SILICA FUME* DAN *WASTE GLASS AGGREGATE* PADA CAMPURAN *PERVIOUS CONCRETE* DENGAN *CURING*

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya



DEA PRATIWI
03011181520047

JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Dea Pratiwi

NIM : 03011181520047

Judul Skripsi : Pengaruh Variasi *Silica Fume* dan *Waste Glass Aggregate* Pada Campuran *Pervious Concrete* dengan *Curing*

Menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil dari penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Pernyataan ini dibuat dalam keadaan sadar dan tanpa paksa siapapun



Indralaya, Juli 2019

Dea Pratiwi

NIM. 03011181520047

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI *SILICA FUME* DAN *WASTE GLASS AGGREGATE* PADA CAMPURAN *PERVIOUS CONCRETE* DENGAN *CURING*

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

DEA PRATIWI

03011181520047

Indralaya, Juli 2019

Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing,

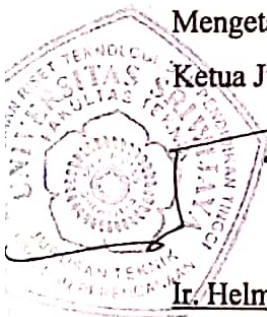


Ir. Sutanto Muliawan, M.Eng

NIP. 195604241990031001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil,



Ir. Helmi Haki, M.T.

NIP. 196107031991021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul "*Pengaruh Variasi Silica Fume dan Waste Glass Aggregate Pada Campuran Pervious Concrete Dengan Curing*" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 Juli 2019.

Palembang, Juli 2019

Tim Penguji Karya Ilmiah berupa Skripsi

Ketua:

1. **Ir. Sutanto Muliawan, M.Eng.**
NIP. 195604241990031001



Anggota:

2. **Dr. Ir. Hanafiah, MS.**
NIP. 195603141985031020



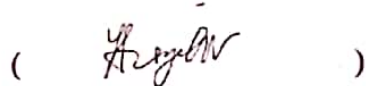
3. **Ir. H. Yakni Idris, M.Sc**
NIP. 195812111987031002



4. **Dr. Rosidawani, S.T., M.T**
NIP. 197605092000122001



5. **Dr. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T**
NIP. 197705172008012039



Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil,



Ir. Helmi Hakki, M.T.
NIP. 196107031991021001

UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL

HASIL SEMINAR
LAPORAN TUGAS AKHIR

NAMA : DEA PRATTWI
NIM : 03011181520047
JURUSAN : TEKNIK SIPIL
JUDUL : PENGARUH VARIASI SILICA FUME DAN WASTE GLASS AGGREGATE PADA CAMPURAN PERVIOUS CONCRETE DENGAN CURING.
DOSEN PEMBIMBING : IR. SUTANTO MULIAWAN, M.ENG.

TANGGAL SEMINAR : 18 Juli 2019

No.	Tanggapan / Saran	Tanda Tangan & Nama Dosen Pemb./Nara Sumber	
		Asistensi	Revisi
1	- Formal - Kurva - Saran?		
2	ditadi Tabel 3.2, dan Tabel 3.1 hitung klog = $1980,8 \pm 1919,371 + 49,188$ - Tabel 2.8 tidak dipenuhi untuk hasil permeabilitas dan penelitan in Jelajah 1 (Permeabilitas $1,14 \text{ cm/s} > 1,22 \text{ cm/s}$)		
3	Tentukan refusi yg lebih nyaman		
4	- Hlm. 42. Buat tabel komposisi campuran re- ferensi. - Hlm. 43. Hubungan massa jenis (γ) WGA, & agregat kasar, dan perantara massa WGA, dan total Volume 1 m^3		
5	- kembalikan foto penulisan - jelaskan perhit komposisi		
6			
Kesimpulan : 		Ketua Jurusan, Ir. Helmi Hakki, M.T NIP. 196107031991021001	

PERNYATAAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Dea Pratiwi

NIM : 03011181520047

Judul Skripsi : Pengaruh Variasi *Silica Fume* dan *Waste Glass Aggregate* Pada
Campuran *Pervious Concrete* dengan *Curing*

Memberikan izin kepada pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian ini untuk kepentingan akademik. Apabila dalam waktu satu tahun tidak dipublikasikan karya tulis ini, maka saya setuju menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Pernyataan ini dibuat dalam keadaan sadar dan tanpa paksa siapapun.

Indralaya, Juli 2019

Dea Pratiwi

RIWAYAT HIDUP

Nama : Dea Pratiwi
Tempat Lahir : Prabumulih
Tanggal Lahir : 5 September 1997
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat : Jl. Bangau No. 34 RT.01 RW.01 Kelurahan Tugu Kecil
Kecamatan Prabumulih Timur Kota Prabumulih, Sumatera
Selatan.

Nama Orang Tua

Ayah : A. Safuan S.Pd

Ibu : Indrayani S.Pd

Alamat Orang Tua : Jl. Bangau No. 34 RT.01 RW.01 Kelurahan Tugu Kecil
Kecamatan Prabumulih Timur Kota Prabumulih, Sumatera
Selatan.

Nomor telp. : +62813-7786-7800

e-Mail : deapратиwi05@gmail.com

Riwayat pendidikan :

Institusi Pendidikan	Jurusan	Masa Studi
SD Negeri 24 Prabumulih	-	2003-2009
MTs Negeri Prabumulih	-	2009-2012
SMA Negeri 2 Prabumulih	IPA	2012-2015
Universitas Sriwijaya	Teknik Sipil	2015-2019

Hormat saya,

Dea Pratiwi

RINGKASAN

PENGARUH VARIASI *SILICA FUME* DAN *WASTE GLASS AGGREGATE* PADA CAMPURAN *PERVIOUS CONCRETE* DENGAN *CURING*

Karya tulis ilmiah ini berupa skripsi, 18 Juli 2019

Dea Pratiwi; Dibimbing oleh Ir. Sutanto Muliawan, M.Eng

xvii + 80 halaman, 46 gambar, 19 tabel, 9 lampiran

Pervious concrete adalah inovasi beton yang memiliki daya serap air yang tinggi. Beton ini memiliki nilai unggul karena dapat berfungsi sebagai drainase sehingga dapat mengisi kembali air tanah yang digunakan dan meningkatkan kualitas air melalui perkolasi. Komposisi *pervious concrete* terdiri dari semen, sedikit atau tanpa agregat halus, agregat kasar, bahan tambahan (*admixture*) dan air. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan dan permeabilitas beton dengan substitusi *waste glass aggregate* dan *silica fume* yang dilakukan perawatan dengan direndam di dalam air. Variasi *silica fume* yang digunakan adalah 10%, 15%, dan 20% sebagai substitusi sebagian semen. Variasi *waste glass aggregate* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2,5%, 7,5% dan 12,5% sebagai substitusi sebagian agregat kasar. Dan variasi 0% *silica fume* dan 0% *waste glass aggregate*. Metode pengujian agregat, *slump*, permeabilitas dan kuat tekan dilakukan berdasarkan ASTM. Penelitian ini menunjukkan semakin besar penggunaan *waste glass aggregate* maka kuat tekan dan berat jenis *pervious concrete* menurun. Sebaliknya, permeabilitas *pervious concrete* meningkat. Kuat tekan maksimum pada penelitian ini sebesar 11.548 MPa dalam variasi *silica fume* 20% dan *waste glass aggregate* 12,5% (SF₂₀WG_{2,5}). Nilai permeabilitas maksimum sebesar 1,41 cm/s dalam kombinasi SF₀WG₀ atau *pervious concrete* normal. Dan berat jenis paling ringan adalah 1632,06 kg / m³ dalam variasi 20% *silica fume* dan 12,5% *waste glass aggregate*.

Kata Kunci: *Pervious Concrete*, *Silica Fume*, *Waste Glass Aggregate*.

SUMMARY

THE EFFECT OF VARIATION SILICA FUME AND WASTE GLASS AGGREGATE IN PERVIOUS CONCRETE WITH CURING

A thesis, Juli 2019

Dea Pratiwi; supervised by Ir. Sutanto Muliawan, M.Eng.

Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas of Sriwijaya.

xvii + 80 page, 46 figure, 19 table, 9 attachment

Pervious concrete is a concrete innovation that has high water absorption. This concrete has superior value because it can function as drainage so that it can replenish the groundwater used and improve water quality through percolation. The composition of pervious concrete consists of cement, little or no use of fine aggregates, coarse aggregates, admixture and water. This research was conducted to know the compressive strength and permeability of concrete with the substitution of waste glass aggregate and silica fume with curing soaked water. Variations of silica fume used in this research are 10%, 15%, and 20% as substitution partial cement. The variations of waste glass aggregate used in this study were 2,5%, 7,5% and 12,5% as substitution partial coarse aggregate. And variation 0% silica fume and 0% waste glass aggregate. The test method for aggregate, slump test, permeability and compressive strength was according to the ASTM standard. The research showed the larger waste glass aggregate, compressive strength and self weight of pervious concrete decreased. In reverse, the permeability of pervious concrete increased. The maximum compressive strength in this research was 11,548 MPa in a variation of 20% silica fume and 12,5% waste glass aggregate (SF₂₀WG_{2,5}). The maximum permeability value is 1.41 cm / s in the SF₀WG₀ combination or normal pervious concrete. And the lightest density is 1632,06 kg/m³ in variation 20% silica fume and 12,5% waste glass aggregate.

Keywords: Pervious Concrete, Silica Fume, Waste Glass Aggregate,

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik. Penulis merasa sangat terbantu pada saat penyusunan laporan ini. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak A. Safuan, Ibu Indrayani, Kakak tercinta M. Ichsan Saputra dan Mulya Edo Saputra yang telah mendukung dan memberikan ilmu, doa, semangat dan nasihat kepada penulis
2. Bapak Ir. Helmi Hakki, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil yang telah memudahkan segala proses pembuatan laporan tugas akhir ini.
3. Alm. Bapak Ir. Gunawan Tanzil, M.Eng., Ph.D (Alm). selaku dosen Pembimbing
4. Bapak Ir. Sutanto Muliawan, M.Eng. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas ilmu dan bimbingan dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
5. Semua dosen serta jajaran pegawai Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.
6. PT. Waskita Beton Precast Plant 3 Jakabaring untuk izin penggunaan laboratorium dan penggunaan material dalam menyusun keperluan.
7. Teman-teman seperjuangan miciners, serta teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2015, kakak dan adik tingkat, dan semua pihak yang telah banyak membantu penulis dalam proses penyelesaian laporan.

Penulis sangat menyadari bahwa laporan yang telah dibuat ini jauh dari kata sempurna, maka kritik dan saran dari pembaca sangat diperlukan. Semoga laporan tugas akhir yang telah dibuat ini dapat menjadi manfaat bagi pembaca.

Indralaya, Juli 2019

Dea Pratiwi

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman Pernyataan Integritas	ii
Halaman Pengesahan	iii
Halaman Persetujuan.....	iv
Berita Acara	v
Halaman Persetujuan Publikasi.....	vi
Riwayat Hidup	vii
Ringkasan.....	viii
<i>Summary</i>	ix
Kata Pengantar	x
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xiv
Daftar Tabel	xvi
Daftar Lampiran	xvii
1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5. Metode Pengumpulan Data	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Beton	6
2.2. <i>Pervious Concrete</i>	8
2.3. Material Penyusun.....	10
2.3.1. Semen <i>Portland</i>	10
2.3.2. Air	12

2.3.3. Agregat Kasar	12
2.3.4. <i>Admixtures</i>	13
2.3.4.1. <i>Chemical Admixture</i>	14
2.3.4.1. <i>Mineral Admixture</i>	15
2.4. Penelitian Terdahulu	17
2.4.1. Pemanfaatan <i>Waste Glass Aggregate</i> Sebagai Substitusi Agregat pada <i>Pervious Concrete</i>	17
2.4.2. Pengaruh Penambahan <i>Silica Fume</i> pada <i>Pervious Concrete</i>	19
2.4.3. Rasio Perbandingan Air Terhadap Semen	21
2.5. Pengujian Beton	23
2.5.1. Pengujian Slump	23
2.5.2. Kuat Tekan Beton	24
2.5.3. Permeabilitas	24
2.6. Perawatan Beton	27
 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Pendahuluan	29
3.2. Studi Literatur	30
3.3. Alur Penelitian	30
3.4. Lokasi Penelitian.....	32
3.5. Material Penyusun <i>Pervious Concrete</i>	33
3.6. Persiapan Alat	35
3.7. Tahapan Pengujian di Laboratorium.....	40
3.7.1. Tahapan Persiapan Peralatan dan Material	40
3.7.2. Tahap Pemeriksaan Karakteristik Material.....	42
3.7.3. Tahap Penentuan Komposisi Campuran <i>Pervious Concrete</i>	42
3.7.4. Tahap Pembuatan <i>Pervious Concrete</i>	43
3.7.5. Tahap Penimbangan Berat Benda Uji.....	46
3.7.5. Tahap Pengujian <i>Pervious Concrete</i>	46
 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Pengujian <i>Slump Pervious Concrete</i>	49

4.2. Hasil Pngujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i>	49
4.2.1. Substitusi Silica Fume 0% dengan Kadar <i>Waste Glass</i> <i>Aggregate</i> 0%.....	53
4.2.2. Pengaruh Substitusi Silica Fume 10% dengan Variasi <i>Waste</i> <i>Glass Aggregate</i>	54
4.2.3. Pengaruh Substitusi Silica Fume 15% dengan Variasi <i>Waste</i> <i>Glass Aggregate</i>	55
4.2.2. Pengaruh Substitusi Silica Fume 20% dengan Variasi <i>Waste</i> <i>Glass Aggregate</i>	57
4.3. Hasil Pengujian Permeabilitas <i>Pervious Concrete</i>	59
4.4. Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Pervious Concrete</i>	61
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1. Kesimpulan	63
5.1. Saran.....	64
6. DAFTAR PUSTAKA	65

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1. Beton.....	6
2.2. <i>Pervious Concrete</i>	8
2.3. Lapisan Pada <i>Pervious Concrete</i>	10
2.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Variasi <i>Waste Glass As Coarse Aggregate</i>	18
2.5. Hasil Pengujian Hubungan Kuat Tekan Beton dan Variasi <i>Silica Fume</i> ..	20
2.6. Hubungan Antara Permeabilitas dan Porositas Terhadap Variasi <i>Silica Fume</i>	21
2.7. Rasio Air Semen <i>Pervious Concrete</i> dengan Jumlah Air yang Berbeda...	22
2.8. Alat uji permeabilitas.....	26
3.1. Diagram tahap metodologi penelitian.....	32
3.2. Lokasi Penelitian	32
3.3. Semen OPC.....	33
3.4. Air.....	33
3.5. Agregat Kasar	34
3.6. <i>Waste Glass Aggregate</i>	34
3.7. <i>Silica Fume</i>	35
3.8. <i>Superplasticizer</i>	35
3.9. Belerang.....	36
3.10. Saringan Agregat	36
3.11. <i>Los Angeles Abrasion Machine</i>	37
3.12. <i>Mixer</i>	37
3.13. Gelas Ukur	38
3.14. Timbangan Kapasitas 5 Kg dan 50 Kg.....	38
3.15. <i>Slump Cone</i>	39
3.16. <i>Bekisting</i> Silinder.....	39
3.17. <i>Vertycal Cylindr Capping Set</i>	40
3.18. Limbah Botol Kaca yang dijemur Kemudian Dihancurkan.....	41
3.19. Proses Pembersihan Agregat Kasar	42
3.20. Proses Pengecoran <i>Pervious Concrete</i>	44

3.21. Sampel Campuran <i>Pervious Concrete</i>	44
3.22. Uji <i>Slump Pervious Concrete</i>	45
3.23. Proses <i>Curing</i> Beton	45
3.24. Penimbangan Berat Benda Uji.....	46
3.25. Proses <i>Capping</i> Beton	46
3.26. Proses Pengujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i>	47
3.27. Proses Pengujian Permeabilitas <i>Pervious Concrete</i>	48
4.1. Hasil Pengujian <i>Slump</i>	49
4.2. Grafik Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> Umur 7 Hari	50
4.3. Grafik Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> Umur 14 Hari	51
4.4. Grafik Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> Umur 28 Hari	51
4.5. Grafik Kuat Tekan umur 7,14,dan 28 hari	52
4.6. Grafik Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> dengan Substitusi <i>Silica Fume</i> 0%.53	
4.7. Grafik Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> dengan Substitusi <i>Silica Fume</i> 10% dan Variasi <i>Waste Glass Aggregate</i>	54
4.8. Grafik Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> dengan Substitusi <i>Silica Fume</i> 15% dan Variasi <i>Waste Glass Aggregate</i>	55
4.9. Grafik Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> dengan Substitusi <i>Silica Fume</i> 20% dan Variasi <i>Waste Glass Aggregate</i>	57
4.10. Grafik Hasil Pengujian Permeabilitas.....	60
4.11. Grafik Berat Jenis <i>Pervious Concrete</i>	62

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1. Batasan Maksimum Kandungan Zat Kimia Dalam Air.....	12
2.2. Sifat-Sifat Fisik <i>Silica Fume</i>	16
2.3. Sifat Fisik Kaca.....	17
2.4. Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Variasi <i>Silica Fume</i>	19
2.5. Data Hasil Uji Permeabilitas dengan Variasi <i>Silica Fume</i>	20
2.6. Kisaran Proporsi Material yang Digunakan dalam <i>Pervious Concrete</i> ..	22
2.7. Kisaran Hasil Pengujian yang Digunakan dalam <i>Pervious Concrete</i>	27
3.1. Persentase Variasi <i>Silica Fume</i> dan <i>Waste Glass Aggregate</i>	43
3.2. Komposisi Campuran <i>Pervious Concrete</i>	43
4.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> Pada Umur 7,14, dan 28 Hari	50
4.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> dengan Substitusi <i>Silica Fume</i> 0% dan <i>Waste Glass Aggregate</i> 0%	53
4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> dengan Substitusi <i>Silica Fume</i> 10% dan Variasi <i>Waste Glass Aggregate</i>	54
4.4. Persentase Perubahan Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> dengan Substitusi <i>Silica Fume</i> 10% dan Variasi <i>Waste Glass Aggregate</i>	55
4.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> dengan Substitusi <i>Silica Fume</i> 15% dan Variasi <i>Waste Glass Aggregate</i>	56
4.6. Persentase Perubahan Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> dengan Substitusi <i>Silica Fume</i> 15% dan Variasi <i>Waste Glass Aggregate</i>	57
4.7. Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> dengan Substitusi <i>Silica Fume</i> 20% dan Variasi <i>Waste Glass Aggregate</i>	58
4.8. Persentase Perubahan Kuat Tekan <i>Pervious Concrete</i> dengan Substitusi <i>Silica Fume</i> 20% dan Variasi <i>Waste Glass Aggregate</i>	59
4.9. Hasil Pengujian Permeabilitas <i>Pervious Concrete</i>	60
4.10. Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Pervious Concrete</i>	61

DAFTAR LAMPIRAN

1. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Pervious Concrete* Pada Umur 7 Hari
2. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Pervious Concrete* Pada Umur 14 Hari
3. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Pervious Concrete* Pada Umur 28 Hari
4. Hasil Pengujian Permeabilitas *Pervious Concrete*
5. Hasil Pengujian Berat Jenis *Pervious Concrete*
6. Hasil Pengujian *Silica Fume*
7. Hasil Pengujian Agregat Kasar
8. Komposisi Campuran
9. Kartu Asistensi Tugas Akhir

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan zaman proses pembangunan dibidang konstruksi semakin hari kian meningkat sehingga terjadinya perubahan tata guna fungsi lahan hijau menjadi suatu daerah pembangunan. Dengan semakin minimnya lahan hijau akan menyebabkan berkurangnya daerah resapan air sehingga dapat memungkinkan terjadinya banjir. Maka dari itu diperlukan inovasi baru dalam pembangunan kualitas infrastruktur yang mempertimbangkan aspek berwawasan lingkungan sehingga tetap terjaga keseimbangan alam dan memberikan daya guna yang tinggi.

Salah satu cara yang dapat dilakukan dalam bidang konstruksi untuk menyelesaikan masalah ini adalah merealisasikan infrastruktur lapisan perkerasan jalan dengan menggunakan material beton yaitu *Pervious Concrete*. *Pervious concrete* merupakan inovasi baru beton berongga yang memiliki keunikan bila dibandingkan dengan beton normal yang ada yaitu memiliki rongga-rongga yang dapat dilalui oleh air. Selain berfungsi sebagai komponen struktural pada lapisan perkerasan jalan *pervious concrete* ini juga dapat berfungsi sebagai drainase karena kemampuannya yang dapat menyerap air yang berada di permukaan.

Pervious concrete terdiri dari semen Portland, agregat kasar, sedikit atau tidak ada agregat halus, bahan tambahan (*admixture*), dan air. Kombinasi bahan ini ketika ditempatkan, dipadatkan dan dilakukan perawatan dengan benar, menghasilkan bahan dengan permeabilitas mulai dari 0,14 hingga 1,22 cm/s bersama dengan kuat tekan 2,8 hingga 28 MPa. Beton *pervious concrete* ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, meskipun penggunaan utamanya pada area trotoar yang berada di jalan perumahan, gang dan jalan masuk, area pertamanan, lahan parkir, lapangan tenis, stabilisasi lereng, sub-base untuk trotoar beton konvensional dll (Pitroda dkk, 2015). Dengan demikian dalam campuran *pervious concrete* diperlukan inovasi dan komposisi yang tepat untuk meningkatkan kuat tekan dan menghasilkan nilai permeabilitas yang memenuhi persyaratan.

Pervious concrete termasuk ke dalam jenis beton yang ringan karena komposisi bahannya tanpa menggunakan agregat halus sehingga dapat mengurangi berat sendiri dari beton tersebut. Pada penelitian ini memanfaatkan limbah botol kaca atau disebut sebagai *waste glass aggregate* (WGA) sebagai substitusi sebagian komposisi agregat kasar. Limbah botol kaca termasuk limbah yang tidak bisa terurai dan jika memiliki jumlah yang banyak dapat merusak lingkungan. Maka dari itu dengan memanfaatkan limbah kaca pada beton ini selain Memberikan dampak positif terhadap lingkungan, limbah kaca pada beton dapat memiliki keunggulan yang tahan terhadap abrasi, cuaca atau serangan zat kimia (Fikriansyah dan Tanzil, 2013).

Adapun penggunaan bahan additif yang bersifat mineral yaitu berupa *silica fume*. *Silica fume* memiliki unsur silika yang sangat tinggi karena mengandung kadar SiO_2 yang mencapai 98% sehingga dapat digunakan sebagai alternatif substitusi semen yang dapat memperbaiki kinerja beton seperti meningkatkan kuat tekan, kuat lentur serta meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan unsur kimia dari *pervious concrete*.

Pada penelitian ini memanfaatkan *silica fume* pada campuran *pervious concrete* sebagai substitusi sebagian semen dan agregat limbah kaca (*waste glass aggregate*) sebagai substitusi sebagian agregat kasar. *Silica fume* dan *waste glass aggregate* diharapkan dapat memperbaiki kinerja dan karakteristik beton *pervious*. Selain itu juga diperlukannya perawatan (*Curing*) pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari guna menjaga beton dari kehilangan air semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete* serta menambah kuat tekan beton.

1.2. Rumusan Masalah

Berikut ini merupakan rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu diantaranya:

1. Bagaimana kadar optimum *silica fume* 0%, 10% , 15%, 20% sebagai substitusi semen dan *waste glass aggregate* 0%, 0.25%, 7.5%, 12.5% sebagai substitusi sebagian agregat kasar terhadap kuat tekan dan permeabilitas pada *pervious concrete* ?

2. Bagaimana pengaruh variasi *silica fume* dan *waste glass aggregate* terhadap kuat tekan umur 7, 14 dan 28 hari pada campuran *pervious concrete* dengan *curing* ?
3. Bagaimana pengaruh variasi *silica fume* dan *waste glass aggregate* terhadap permeabilitas umur 28 hari pada campuran *pervious concrete* dengan *curing* ?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini yakni, sebagai berikut:

1. Memahami dan menganalisis kadar optimum dengan variasi *silica fume* 0%, 10% , 15%, 20% sebagai substitusi semen dan *waste glass aggregate* 0%, 0.25%, 7.5%, 12.5% sebagai substitusi sebagian agregat kasar terhadap kuat tekan dan permeabilitas pada *pervious concrete*.
2. Memahami dan menganalisis pengaruh variasi *silica fume* dan *waste glass aggregate* terhadap kuat tekan umur 7, 14 dan 28 hari pada campuran *pervious concrete* dengan *curing*.
3. Memahami dan menganalisis pengaruh variasi *silica fume* dan *waste glass aggregate* terhadap permeabilitas umur 28 hari pada campuran *pervious concrete* dengan *curing*.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Berikut ini merupakan ruang lingkup penelitian mengenai pengaruh penambahan *silica fume* dan *waste glass aggregate* pada campuran *pervious concrete* adalah:

1. Rasio air semen yang digunakan adalah 0,32
2. Variasi persentase *silica fume* sebagai substitusi sebagian 0%, 10% , 15%, 20% sebagai substitusi sebagian semen
3. Variasi persentase penggunaan agregat kaca 0%, 0.25%, 7.5%, 12.5% sebagai substitusi sebagian agregat kasar
4. Pengujian beton segar meliputi *slump test*.
5. Benda Uji Silinder dengan ukuran bekisting 10 x 20 cm.

6. Standar yang digunakan dalam membuat benda uji berdasarkan *American Concrete Institute (ACI)*.
7. Standar yang digunakan dalam pengujian material berdasarkan *American Standard Testing and Material (ASTM)*
8. Standar yang digunakan dalam kuat tekan benda uji berdasarkan *American Standard Testing and Material (ASTM)*.
9. Perawatan benda uji dengan cara merendam benda uji didalam bak air yang dijaga suhu kelembapannya.
10. Pengujian kuat tekan beton menggunakan alat pengujian kuat tekan pada umur 7, 14 dan 28 hari.
11. Pengujian permeabilitas pada campuran beton segar pada umur 28 hari menggunakan alat pengujian *Falling Head*.

1.5. Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini sumber pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan dua cara, yaitu:

1. Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari objek penelitian di laboratorium. Data primer pada penelitian ini adalah data hasil percobaan, pengamatan dan pengujian di laboratorium.

2. Data sekunder

Data sekunder pada penelitian ini adalah studi pustaka sebagai referensi yang berkaitan dengan pembahasan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan susunan atau tahapan dalam menulis suatu karya ilmiah. Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, metode pengumpulan data dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan kajian literatur dan membahas tentang landasan teori yang berasal dari pustaka dan literatur tentang definisi *pervious concrete*, bahan penyusun *pervious concrete*, karakteristik *pervious concrete*, komposisi campuran dan pengujian benda uji *pervious concrete* serta berisi penelitian terdahulu yang menjadi acuan berkaitan dengan penelitian ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai material dan alat yang digunakan, pelaksanaan penelitian meliputi pengujian material, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pengolahan data dan pembahasan berupa hasil pengujian *slump*, permeabilitas, dan kuat tekan umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini membahas kesimpulan yang diambil dari penelitian serta saran untuk perbaikan penelitian di masa yang datang.

DAFTAR PUSTAKA

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

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 membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan kataristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan (Mc.Cormac, 2004).

Secara Sederhana beton dibentuk oleh pengkerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah kerikil). Kadang- kadang ditambahkan campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton (Asroni, 2010).

Menurut Tjokrodimuljo (1996), macam-macam beton sebagai berikut:

- a. Beton normal
Merupakan beton yang cukup berat, dengan Berat Volume 2400 kg/m^3 dengan nilai kuat tekan $15 - 40 \text{ MPa}$ dan dapat menghantar panas.
- b. Beton ringan
Merupakan beton dengan berat kurang dari 1800 kg/m^3 . Nilai kuat tekannya lebih kecil dari beton biasa dan kurang baik dalam menghantarkan panas.
- c. Beton massa
Beton massa adalah beton yang dituang dalam volume besar yaitu perbandingan antara volume dan luas permukaannya besar. Biasanya dianggap beton massa jika dimensinya lebih dari 60 cm .
- d. Beton bertulang
Beton biasa sangat lemah dengan gaya tarik, namun sangat kuat dengan gaya tekan, batang baja dapat dimasukkan pada bagian beton yang tertarik untuk membantu beton. Beton yang dimasuki batang baja pada bagian tariknya ini disebut beton bertulang.

e. Beton prategang

Jenis beton ini sama dengan beton bertulang, perbedaannya adalah batangnya baja yang dimasukkan ke dalam beton ditegangkan dahulu . batang baja ini tetap mempunyai tegangan sampai beton yang dituang mengeras. bagian balok beton ini walaupun menahan lenturan tidak akan terjadi retak.

f. Beton pracetak

Beton biasa dicetak /dituang di tempat. namun dapat pula dicetak di tempat lain, fungsinya di cetak di tempat lain agar memperoleh mutu yang lebih baik. selain itu dipakai jika tempat pembuatan beton sangat terbatas. sehingga sulit menyediakan tempat percetakan perawatan betonnya.

g. Beton serat

Beton serat adalah beton komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Bahan serat dapat berupa serat asbes, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bamboo, ijuk), serat plastic (*polypropylene*) atau potongan kawat logam.

h. Beton non pasir

Beton non pasir adalah suatu bentuk sederhana dan jenis beton ringan yang diperoleh menghilangkan bagian halus agregat pada pembuatannya. Rongga dalam beton mencapai 20-25 %.

i. Beton siklop

Beton ini sama dengan beton biasa, bedanya digunakan agregat dengan ukuran besar-besar. Ukurannya bisa mencapai 20 cm. Namun, proporsi agregat yang lebih besar tidak boleh lebih dari 20 %.

j. Beton hampa (*Vacuum Concrete*)

Beton ini dibuat seperti beton biasa, namun setelah tercetak padat kemudian air sisa reaksi disedot dengan cara khusus, disebut cara *vakum* (*vacuum method*). Dengan demikian air yang tinggal hanyalah air yang dipakai sebagai reaksi dengan semen sehingga beton yang diperoleh sangat kuat.

k. Mortar

Mortar sering disebut juga mortel atau spesi ialah adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat, kapur dan semen portland.

2.2. *Pervious Concrete*

Pervious concrete adalah salah satu jenis beton yang permukaannya dapat dilewati oleh air karena memiliki kadar pori yang tinggi atau disebut sebagai beton berongga. *Pervious concrete* termasuk ke dalam jenis beton yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Komposisi campuran beton ini terdiri dari semen Portland, agregat kasar, sedikit atau tidak ada agregat halus, bahan tambahan (*admixture*), dan air. Kombinasi bahan ini ketika ditempatkan, dipadatkan dan dilakukan perawatan dengan benar, menghasilkan bahan dengan permeabilitas yang tinggi dari 81-730 L/min/m² bersama dengan kuat tekan 2,8 hingga 28 MPa. Beton *pervious* ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, meskipun penggunaan utamanya pada area trotoar yang berada di jalan perumahan, gang, jalan masuk, jalan dengan volume lalu lintas rendah, area pertamanan, lahan parkir, lapangan tenis, stabilisasi lereng, sub-base untuk trotoar beton konvensional dll (Pitroda *et al*, 2015).



Gambar 2.1. *Pervious concrete* (Jj Harison, 2016)

Menurut ACI 522R (2010) tingkat kemerosotan (*slump*) pada *pervious concrete* mendekati nol. Jika dibandingkan dengan beton konvensional beton ini memiliki kuat tekan yang terbatas dengan berat unit yang lebih rendah (sekitar 70% dari beton konvensional) tetapi memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi

karena terdapat rongga-rongga sehingga air dapat mengalir kedalam beton dan dapat langsung menyerap kedalam tanah.

Pervious concrete memiliki kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihan dari *pervious concrete* adalah sebagai berikut (Aoki, 2009) :

1. Menurunkan kemungkinan adanya banjir, terutama pada area pemukiman.
2. Mengisi kembali air tanah yang telah digunakan.
3. Mengurangi genangan air di jalan.
4. Meningkatkan kualitas air melalui perkolasi.
5. Menyerap suara.
6. Menyerap panas.
7. Mendukung pertumbuhan vegetasi tanaman.

Kelemahan dari *pervious concrete* adalah sebagai berikut:

1. Kuat tekan yang rendah dengan porositas yang tinggi.
2. Memerlukan perawatan yang mahal.
3. Penggunaan yang terbatas karena kuat tekan yang masih lemah.

Penyumbatan yang terjadi pada beton *pervious* menjadi masalah yang sangat signifikan karena dapat menyebabkan penurunan permeabilitas beton dan juga menyebabkan penurunan dari kinerja beton itu sendiri sehingga dibutuhkan perbaikan dan perawatan secara berkala.

Akan tetapi, berdasarkan penelitian sebelumnya karakteristik *pervious concrete* dengan berbagai kecepatan antara ban dan jenis kendaraan, hasil menunjukkan bahwa *pervious concrete* dapat mengurangi kebisingan dari 3% sampai 10% dibandingkan dengan perkerasan aspal padat (Kajio *et al*, 1998). Perbedaan beton berpori dengan beton normal terletak pada :

- a. Penggunaan agregatnya dapat menggunakan agregat kasar saja atau dengan sedikit agregat halus.
- b. Setelah beton mengeras, rasio air semen (w/c) harus dijaga sedemikian rupa agar rongga-rongga yang terbentuk tidak tertutup oleh campuran pasta semen yang mengeras. Selain itu juga bertujuan agar butir-butir agregat dapat terikat kuat satu sama lain.

Beton berongga ini memiliki kinerja yang hampir sama seperti drainase yaitu sama-sama sebagai tempat menampung dan mengalirkan air. Ketika air

hujan turun langsung menyusup ke tanah pada daerah yang luas, sehingga memfasilitasi pengisian persediaan air tanah lokal. Perkerasan beton ini memudahkan pemindahan baik air dan udara ke sistem akar yang memungkinkan pohon tumbuh subur bahkan di daerah yang sangat maju.



Gambar 2.2. Lapisan Pada *Pervious Concrete* (Sonebi et al, 2016)

2.3. Material Penyusun

Adapun material penyusun *pervious concrete* yang terdiri dari semen *Portland*, agregat kasar, limbah agregat kaca sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan *admixture*. Uraian dari material penyusun *pervious concrete* adalah sebagai berikut:

2.3.1. Semen *Portland*

Semen *Portland* adalah bahan yang paling penting digunakan untuk semua jenis konstruksi dan telah diproduksi di seluruh dunia. Produksi semen global tahunan telah mencapai 2,8 miliar ton dan diperkirakan akan meningkat lebih dari 4 miliar ton / tahun karena pertumbuhan besar di berbagai negara, seperti China, India, Timur Tengah dan Afrika Utara (Jani dan Hogland, 2014). Bahan baku untuk produksi semen *Portland* adalah: Terdapat beberapa material penyusun semen *Portland* diantaranya kapur (CaO), silica (SiO_3), alumina (Al_2O_3), magnesia (MgO), dan alkali. Penggunaan semen *Portland* di Indonesia harus memenuhi syarat ASTM C-150 yang diadopsi dalam SII. 0013-81. Terdapat sembilan jenis semen *Portland* berdasarkan klasifikasi dan persyaratannya, yaitu sebagai berikut:

1. *Semen Portland* tipe I
Semen Portland tipe I adalah semen normal yang tidak memiliki karakteristik khusus terhadap panas hidrasi maupun kekuatan tekan awal yang tinggi.
2. *Semen Portland* tipe II
Semen Portland tipe II adalah semen yang digunakan pada campuran beton yang membutuhkan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang. Semen jenis ini sering diaplikasikan pada konstruksi beton di pantai, lepas pantai dan rawa.
3. *Semen Portland* tipe III
Semen Portland tipe III semen yang dalam penggunaannya memerlukan kuat tekan awal yang tinggi. Biasanya diaplikasikan pada bangunan tingkat tinggi dan bangunan air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap serangan sulfat.
4. *Semen Portland* tipe IV
Semen Portland tipe IV adalah semen yang menghasilkan panas hidrasi rendah, semen jenis ini sering diaplikasikan pada struktur beton masif seperti dam gravitasi besar.
5. *Semen Portland* tipe V
Semen Portland tipe V semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat tinggi ($>0,2\%$), contohnya pada beton untuk instalasi pengolahan limbah.
6. *SuperMansory Cement*
Super Mansory Cement adalah semen yang dalam penggunaannya hanya pada struktur beton dengan mutu maksimal K-225.
7. *Oil Well Cement, Class G-HSR (High Sulfate Resistance)*
Oil Well Cement adalah semen yang dalam penggunaannya untuk pembuatan sumur minyak dan gas alam untuk pemakaian pada kedalaman dan temperatur tertentu.
8. *Portland Composite Cement (PCC)*
 Berdasarkan SNI-15-7064-2004 dan ASTM C 595-03 semen *Portland* komposit merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan dengan terak semen *portland* dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik dengan kadar total 6 - 35% .

9. *Portland Pozzolan Cement (PPC)*

Berdasarkan SNI-15-0302-2004 dan ASTM C 595-03 semen *pozzolan* merupakan campuran antara semen *Portland* dan *pozzolan* halus dalam semen hidrolis, dimana kadar *pozzolan* 6 - 40% massa semen *Portland pozzolan*.

2.3.2. Air

Air merupakan bahan dasar yang penting dalam pembuatan beton. Penggunaan air diperlukan agar dapat bereaksi dengan semen, serta menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat sehingga memudahkan dalam pengerjaan (*workability*) dan pemadatan.

Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih, tidak mengandung minyak, alkali, asam, zat organis atau bahan lain yang merusak kinerja beton. Air bereaksi dengan semen menghasilkan CSH dan CaOH. Kadar CaOH dapat merusak tulangan pada beton. Maka, untuk meminimalisir adanya kadar CaOH, air yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat tertentu. Berdasarkan ASTM C 1602 (2006) kriteria kandungan zat kimia yang terdapat dalam air dengan batasan tingkat konsentrasi tertentu dalam adukan beton, dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1. Batasan maksimum kandungan zat kimia dalam air (ASTM C1602, 2006)

No.	Kandungan unsur kimia	Konsentrasi maksimum (ppm)
	Chlorida (Cl ⁻):	
1.	Untuk beton prategang	500
	Untuk beton bertulang	1.000
2.	Sulfat (SO ₄)	3.000
3.	Alkali (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O)	600
4.	Total Solid	50.000

2.3.3. Agregat Kasar

Agregat sebagai material penyusun berfungsi sebagai pengisi dalam campuran beton. Menurut ACI 522R (2010) bahwa gradasi agregat yang digunakan dalam *pervious concrete* biasanya berupa agregat kasar berukuran tunggal antara gradasi 3/4inci dan 3/8 inci (19 dan 9,5 mm). Agregat bulat dan

hancur baik untuk dengan berat yang ringan dan normal untuk digunakan membuat beton *pervious*.

Menurut ASTM C33 dan PBI 1971 Bab 3.4 agregat kasar harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Kekerasan dari butir-butir agregat diperiksa dengan bejana penguji dari *Rudeloff*, atau dengan mesin pangaus *Los Angeles* dimana tidak boleh kehilangan berat lebih dari 50%.
2. Berat jenis (*specific Gravity*)
Pengujian berat jenis agregat kasar ditujukan untuk mendapatkan *Bulk specific gravity*, *Bulk specific gravity SSD*, *Apparent specific gravity* dan *Absorbtion*. Nilai *Bulk specific gravity SSD* agregat kasar yang disyaratkan 2,5-2,7 gr/cc.
3. Terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Kerikil yang berpori akan mudah menghasilkan beton yang mudah ditembus air. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai jika jumlah butirannya tidak melebihi 20% berat agregat seluruhnya.
4. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu.

Aoki (2009) mengemukakan bahwa beton *pervious* ini sangat sensitif dengan jumlah air yang di gunakan dalam pencampuran. Oleh karena itu, untuk menghindari kelebihan dan kekurangan air pada campuran *pervious concrete* penggunaan agregat kasar harus dalam keadaan SSD atau *saturated surface-dry condition* (Tennis et al, 2007). Dalam menentukan porositas sebagai karakteristik dari beton *pervious*, agregat halus dihindari atau digunakan dengan jumlah yang sangat sedikit.

2.3.4. Admixture

Bahan campuran tambahan (*admixture*) adalah bahan yang bukan air, agregat, maupun semen, yang ditambahkan ke dalam campuran beton sesaat atau selama pencampuran. Fungsi bahan campuran tambahan tersebut adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomis, atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi. Bahan tambah

pemercepat ditambahkan ke dalam campuran beton untuk mengurangi waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan. (Nawy, 1990). Bahan tambahan (*admixture*) pada beton terbagi menjadi 2 yaitu *chemical admixture* dan *mineral admixture* sebagai berikut :

2.3.4.1. Chemical Admixture

Mengacu pada klasifikasi ASTM C494-82, dikenal 7 jenis *chemical admixture* sebagai berikut :

- a. Tipe A : *Water Reducer (WR)* atau *plasticizer*.

Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang digunakan. Dengan pemakaian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen yang sama.

- b. Tipe B : *Retarder*

Bahan kimia untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini diperlukan apabila dibutuhkan waktu yang cukup lama antara pencampuran/pengadukan beton dengan penuangan adukan. Atau dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan cukup jauh.

- c. Tipe C : *Accelerator*

Bahan kimia untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan dibawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan pengerasan segera.

- d. Tipe D : *Water Reducer Retarder (WRR)*

Bahan kimia tambahn berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan.

- e. Tipe E : *Water Reducer Accelerator*

Bahan kimia tambahan berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan.

- f. Tipe F : *High Range Water Reducer (Superplasticizer)*

Bahan kimia yang berfungsi mengurangi air sampai 12 % atau bahkan lebih.

g. Tipe G : *High Range Water Reducer (HRWR)*

Bahan kimia tambahan berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

Penggunaan bahan tambah kimia pada *pervious concrete* sangat diperlukan untuk meningkatkan kuat tekan pada saat kondisi beton segar. Bahan tambah kimia tersebut berupa *superplasticizer*. Menurut ASTM C494 dan *British Standard 5075*, *Superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang kandungan air (*water-reducing admixture*) yang sangat efektif. Walaupun kandungan air dalam beton mengalami pengurangan, dengan bahan tambah ini tingkat kemudahan dalam pengerjaannya (*workability*) menjadi lebih tinggi. Dari hasil studi Lian et al. (2010) menyelidiki bahwa jika sejumlah kecil *superplasticizer* yang ditambahkan pada campuran yang mengandung *silica fume*, baik permeabilitas dan kuat tekan *pervious concrete* ditingkatkan.

2.3.4.2. *Mineral Admixture*

Bahan tambah mineral berfungsi untuk memperbaiki karakteristik dan sifat pada beton segar. Adapun contoh dari bahan tambahan mineral yang sering digunakan antara lain, *fly ash*, *silica fume*, dan *slag*.

Silica fume adalah hasil produksi sampingan dari pemurnian silika dengan batu bara di tanur listrik tinggi dalam pembuatan campuran silikon atau ferrosilikon (ACI 234R, 1996). Selain itu, *silica fume* adalah partikel kecil yang memiliki ukuran kurang dari 0,1 mikrometer. Ukurannya lebih kecil dari ukuran *Portland cement* pada umumnya, sehingga *silica fume* dapat mengisi ruang pada beton. *Silica fume* mengandung kadar SiO₂ yang tinggi dan merupakan bahan yang sangat halus, bentuk bulat dan berdiameter yang sangat kecil sekali yaitu 1/100 kali diameter semen (ACI, Committee, 1986 dan *Modul Silica*). Bahkan, *American Concrete Institute (ACI)* memperkirakan bahwa ketika semen diganti 15% *silica fume* dalam beton, ada sekitar 2.000.000 butir *silica fume* untuk setiap butir semen (*American Concrete Institute*, 1996). Sehingga *silica fume* dalam jumlah tertentu dapat menggantikan jumlah semen, selain itu juga *karena silica fume* mempunyai diameter sangat kecil, maka *silica fume* dapat juga berperan sebagai pengisi diantara partikel-partikel semen.

Selama bertahun-tahun, *silica fume* (*smoke*) dibiarkan terbang di atmosfer. Sekarang, *silica fume* di tangkap agar tidak terbang ke atmosfer sehingga bisa dimanfaatkan (Holland, 2005). *Silica fume* bersifat amorf dan memiliki kandungan silika oksida yang sangat tinggi sekitar 85 - 98 % (Holland, 2005). Dengan adanya sifat amorf ini *silica fume* dapat bereaksi dengan sangat baik pada campuran beton. Kandungan SiO_2 dalam *silica fume* akan bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen pada saat proses pembentukan senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) yang berpengaruh dalam proses pengerasan semen.

Pemilihan penggunaan *silica fume* sebagai *mineral admixture* pada campuran beton memiliki keunggulan- keunggulan diantaranya sebagai berikut :

1. Meningkatkan kuat tekan beton;
2. Meningkatkan kuat lentur beton;
3. Memperbesar modulus elastisitas beton;
4. Mengecilkan regangan beton;
5. Meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan unsur kimia;
6. Mencegah reaksi *alkali silica* dalam beton;
7. Meningkatkan kepadatan (density) beton;
8. Meningkatkan ketahanan terhadap abrasi dan korosi;
9. Menyebabkan temperatur beton menjadi lebih rendah sehingga mencegah terjadinya retak pada beton

Berdasarkan spesifikasi dari *Silica Fume Association* (2005), sifat fisik *silica fume* dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Sifat-sifat fisik *silica fume* (*Silica Fume Association*, 2005)

Sifat	Spesifikasi
Ukuran butiran	$< 1 \mu\text{m}$
Berat volume produksi	130 – 430 kg/m^3
Berat volume dipadatkan	480 – 720 kg/m^3
Berat jenis	2,2
Luas permukaan	15.0 – 30.000 m^2/kg

2.4. Penelitian Terdahulu

2.4.1. Pemanfaatan *Waste Glass Aggregate* Sebagai Substitusi Agregat pada *Pervious Concrete*

Kaca adalah campuran yang terdiri dari silika, soda dan kapur. Berdasarkan komposisi utama, kaca dapat diklasifikasikan ke dalam kategori berikut: silika vitreous, silikat alkali, gelas soda-kapur, gelas borosilikat, gelas barium, dan kaca aluminosilikat. Gelas soda-kapur terdiri dari kurang lebih 73% SiO_2 , 13-13% Na_2O dan 10% CaO . Kaca terbentuk secara alami ketika batu tinggi di silikat meleleh pada suhu tinggi dan pada suhu rendah sebelum membentuk struktur Kristal (Bajad et al, 2016).

Berdasarkan studi Fikkriansyah dan Tanzil (2013) mengemukakan bahwa dengan bahan mentah yang berlimpah dan ekonomis, kaca memiliki banyak keunggulan yang tahan terhadap abrasi, cuaca, atau serangan kimia, karena dalam kandungan kaca memiliki persentase kandungan silika yang cukup tinggi, sehingga dalam perkembangannya kaca dapat digunakan sebagai alternatif bahan pembuatan beton

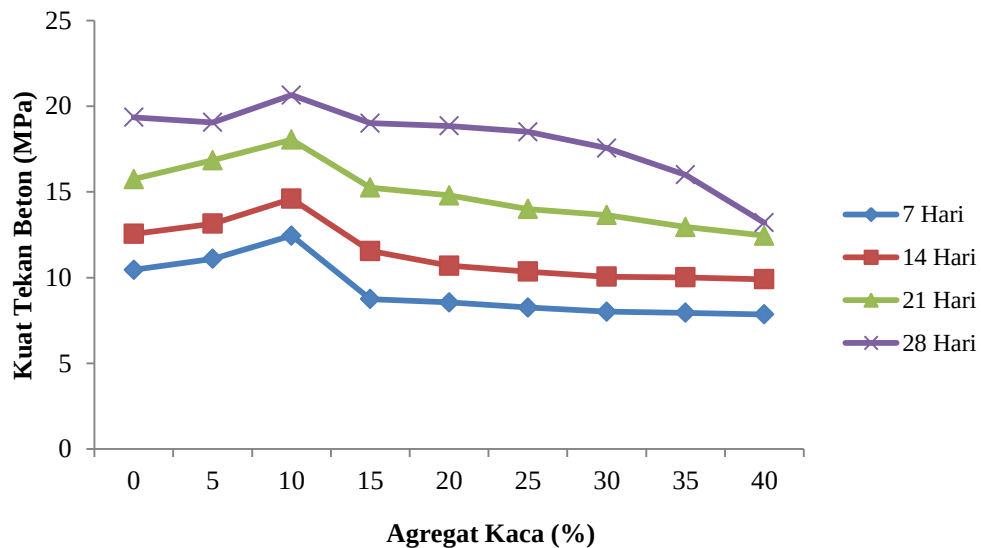
Karena pembuangan limbah kaca yang tinggi, penggunaan kaca sebagai agregat beton telah menarik perhatian peneliti. Pemanfaatan limbah kaca sebagai agregat ini diterapkan dalam pembangunan jalan dan juga digunakan untuk produksi ubin kaca, panel dinding, batubata, fiber glass, pertanian pupuk lansekap manik-manik reflektif dan pecah (Reindl, 1998). Adapun sifat fisik pada kaca dapat dilihat pada tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.4. Sifat Fisik Kaca (Ismail dan Al-Hashmi, 2009)

No	Sifat fisik	Spesifikasi
1.	<i>Specific gravity</i>	2,19
2.	<i>Density</i>	1672
3.	<i>Absorption</i>	0,39
4.	<i>Pozzolanic index</i>	80

Pada hasil penelitian dari Wisnuseputro (2009) bahwa pada kadar *waste glass aggregate* dengan kadar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 50% mendapatkan hasil kuat tekan yang tertinggi pada kadar *waste glass aggregate* 10% yaitu 35,32 MPa.

Penelitian tentang kadar variasi penambahan *waste glass as coarse aggregate* dibutuhkan untuk mengetahui kadar optimum penggunaannya. Berikut hasil kuat tekan berdasarkan penelitian Eme dan Ekwulo (2018) dengan menggunakan penambahan *waste glass* 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi limbah kaca sebagai agregat kasar

Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan meningkat dengan penambahan 5% dan 10% pada umur 7 dan 28 hari. Pada variasi 5% mengalami peningkatan sebesar 6,2% sedangkan pada variasi 10% terjadi peningkatan sebesar 19,1%.

Selain itu pula penggunaan kaca sebagai substitusi sebagian agregat kasar dalam campuran *pervious concrete* diharapkan dapat menghasilkan beton dengan berat jenis yang ringan.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh Srivastava (2014) pada penelitiannya menggunakan *waste glass* sebagai pengganti sebagian agregat kasar dengan variasi persentase kadar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Kuat tekan optimum yang dihasilkan berada pada kadar *waste glass* 10% yaitu sebesar 31 MPa. Namun seiring dengan penambahan kadar lebih dari 10% mengalami penurunan kuat tekan secara terus menerus.

2.4.2. Pengaruh Penambahan *Silica Fume* pada *Pervious Concrete*

Berdasarkan penelitian terdahulu yang berhubungan dengan pengaruh penambahan bahan tambah mineral *silica fume* pada campuran beton sudah banyak dilakukan. *Silica fume* sebagai bahan semen dapat bereaksi dengan NaOH dan menghasilkan CSH yang berfungsi sebagai pengikat pada beton. Dikarenakan sifat dan karakteristik utama dari beton *pervious concrete* adalah permeabilitasnya tinggi, maka dalam menggunakan bahan tambahan mineral jumlahnya harus dibatasi.

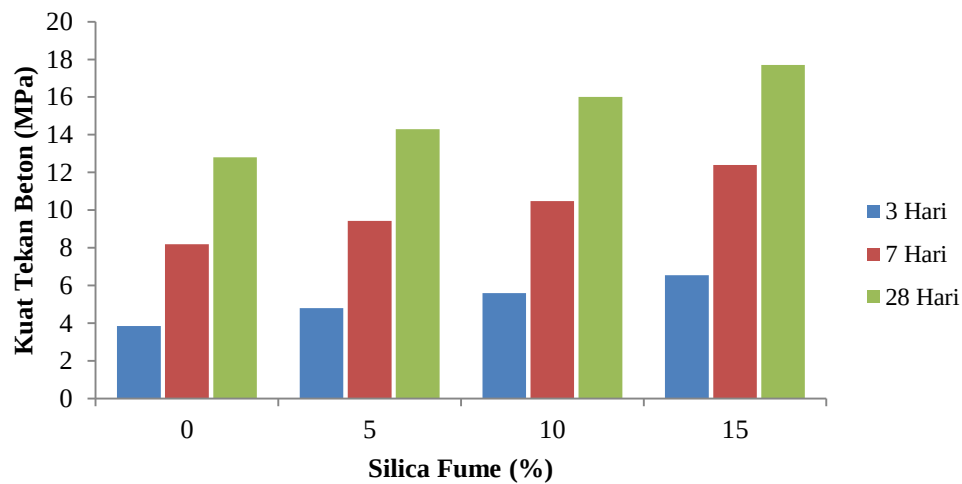
Dari hasil studi yang dilakukan oleh Patel et al. (2014) menyelidiki sifat *pervious concrete* dengan mengganti konten semen dengan 20% *fly ash* dan 10% *silica fume*. Patel menggunakan rasio a/c 4: 1 dan rasio w/c 0,30, 0,35 dan 0,40. Patel menyimpulkan bahwa kuat tekan, kuat lentur dan perpecahan tarik kekuatan meningkat apabila w/c 0,30 ke 0,40 tetapi permeabilitas akan mengalami penurunan jika mengandung 20% *fly ash* dan 10% *silica fume*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Subramani, et al (2018) dengan menggunakan kadar 10% *silica fume* dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 36,6 N/mm dibandingkan dengan kuat tekan beton konvensional yaitu 33,65 N/mm pada umur 28 hari. Dan untuk hasil rata-rata nilai koefisien permeabilitas yaitu sebesar 0,165 cm/s.

Adapun penelitian yang juga dilakukan oleh navada, et al (2018) tentang pengaruh variasi pada presentase *silica fume* pada campuran *pervious concrete* yaitu sebanyak 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Dengan pengujian kuat tekan yang dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari dan pengujian permeabilitas. Data hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5. Data hasil uji kuat tekan beton dengan variasi *silica fume*

<i>Silica Fume</i> (%)	Kuat Tekan Beton (MPa)			Porositas (%)
	3 Hari	7 Hari	28 Hari	
0	3.84	8.19	12.8	16.6
5	4.79	9.43	14.3	16.3
10	5.6	10.8	16.0	16.1
15	6.55	12.39	17.7	15.8

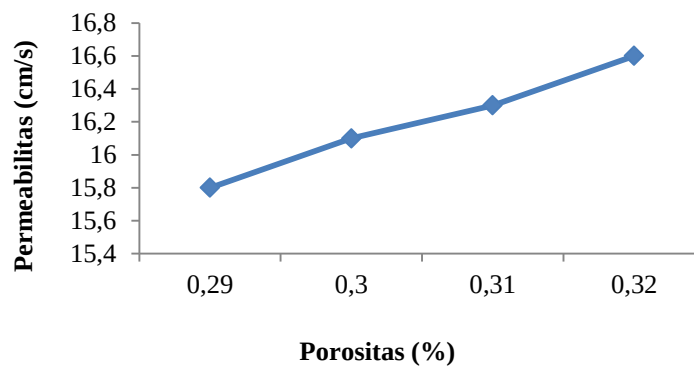


Gambar 2.4. Hubungan antara kuat tekan beton dan variasi *silica fume*

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton terlihat bahwa dengan seiring penambahan kadar silica fume 0%, 5%, 10%, dan 15% pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan beton. Pada kadar *silica fume* 15% dengan umur 28 hari memiliki kuat tekan optimum yaitu sebesar 17,7 MPa. Hal ini disebabkan karena mengingat kinerja dari bahan tambahan *silica fume* dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Tabel 2.6. Data hasil pengujian permeabilitas dengan variasi kadar *silica fume*

<i>Silica fume</i> (%)	Porositas (%)	Permeabilitas (cm/sec)
0	16.6	0.32
5	16.3	0.31
10	16.1	0.30
15	15.8	0.29



Gambar 2.5. Hubungan antara permeabilitas dan porositas terhadap variasi *silica fume*

Dalam penelitian ini, nilai permeabilitas ditentukan oleh Metode *Falling Head*. Dapat dilihat bahwa ketika semen diganti oleh *silica fume* tidak ada banyak variasi dalam permeabilitas. Beton pervious normal dengan 0% *silica fume* memiliki nilai permeabilitas paling optimum yaitu sebesar 0,32 cm/s.

Menurut penelitian Olafsson (1989) bahwa beton yang mengandung 5 hingga 10 persen *silica fume* telah berhasil digunakan di Islandia sejak tahun 1979 untuk mengontrol ekspansi ASR.

Pada hasil studi yang dilakukan oleh Al-Shafi'i, et al (2018) menyimpulkan bahwa pada setiap penambahan kadar *silica fume* 10%, 15% dan 20% mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Kuat tekan tertinggi pada kadar *silica fume* 20% mencapai 31 MPa. Seiring dengan meningkatnya hasil uji kuat tekan maka hasil nilai permeabilitas pada penelitian ini mengalami penurunan pada kadar *silica fume* 20% mencapai 2,286 cm/s.

2.4.3. Rasio Perbandingan Air Terhadap Semen

Rasio air semen merupakan salah satu parameter yang paling penting dalam menentukan perbandingan antara jumlah air dan semen dalam suatu campuran beton. Semakin tinggi nilai w/c yang digunakan maka tingkat kemudahan dalam pengerjaan campuran semakin mudah tetapi kuat tekan beton menurun, begitupun sebaliknya jika semakin rendah w/c maka kemudahan dalam pengerjaan campuran semakin sulit dan kuat tekan beton meningkat.

Tennis *et al.* (2004) menunjukkan bahwa tidak ada hubungan yang jelas antara kekuatan dan rasio w/c untuk *pervious concrete* karena total volume pasta kurang dari volume pori dalam beton ini. Oleh karena itu, pasta dalam beton berpori ini tidak selalu menyebabkan meningkatkan kekuatan.



Gambar 2.6. Sampel *pervious concrete* dengan jumlah air yang berbeda kemudian dibentuk menjadi bola: (a) terlalu sedikit air, (b) jumlah air yang tepat atau optimal, dan (c) terlalu banyak air (Tennis *et al.*, 2004)

Menurut Kevern *et al.* (2009) Untuk w/c kurang dari 0,27 dapat mengakibatkan kemampuan kerja yang sangat rendah untuk beton ini. Tetapi di sisi lain, rasio air semen tinggi selain kuat tekan yang menurun juga dapat menyebabkan campuran pasta yang berlebihan sehingga campuran antara pasta dan agregat terpisahkan di bagian bawah cetakan (*segregasi*) sehingga menyebabkan permeabilitas lebih rendah karena tertutupnya pori di salah satu sisi beton. Adapun kisaran atau rentang material yang digunakan dalam *pervious concrete* dapat dilihat pada table 2.5 Sebagai berikut.

Tabel 2.7. Kisaran proporsi material yang digunakan dalam *pervious concrete* (ACI 522R, 2010)

	Proportions, lb/yd ³ (kg/m ³)
Cementitious materials	450 to 700 (270 to 415)
Aggregate	2000 to 2500 (1190 to 1480)
w/c by mass	0.27 to 0.34
Aggregate : cement ratio, by mass	4 to 4:5:1
Fine : Course aggregate ratio, by mass	0 to 1:1

2.5. Pengujian Beton

Beberapa pengujian beton mengacu dan berpedoman terhadap standar-standar yang telah diatur dalam ASTM. Pengujian beton bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suatu sampel beton yang telah dibuat. Beberapa pengujiannya adalah sebagai berikut :

2.5.1. Pengujian *Slump*

Untuk menentukan kelecakan pada suatu campuran beton maka diperlukan uji *slump*. Berdasarkan standar ACI 522R (2010) tingkat kemerosotan (*slump*) pada *pervious concrete* mendekati nol atau sekitar 20 mm. Dari hasil studi Tennis *et al.* (2004) menunjukkan bahwa penilaian dari tingkat kelecakan (*workability*) dapat terlihat dengan membentuk campuran *pervious concrete* menjadi sebuah bola dengan menggunakan telapak tangan. Dari hasil penilaian tingkat kelecakan tersebut berpengaruh terhadap jumlah kadar air yang digunakan dalam campuran. Terjadinya perubahan kandungan air sangat sensitif pada *pervious concrete*, maka dari itu sangat diperlukannya kuantitas air yang benar. Dikatakan sensitif karena apabila *pervious concrete* terlalu banyak air dapat menyebabkan terjadinya segregasi tetapi terlalu sedikit air dapat mengurangi *workability* (kemudahan dalam pengerjaan) sehingga terjadi kesulitan pada pencampuran menggunakan *mixer* (Obla, 2007). Ketika beton ditempatkan dan dipadatkan, agregat saling melekat erat satu sama lain dan menunjukkan matriks yang terbuka. Secara umum kerapatannya berkisar 100 lb/ ft³ hingga 125 lb/ft³ (1600 kg/m³ hingga 2000 kg/m³). Tingkat infiltrasi (*permeabilitas*) dari *pervious concrete* akan bervariasi dengan ukuran agregat dan kepadatan campuran, tetapi akan jatuh ke kisaran 80 hingga 720 ltr/menit/m³. *Slump* yang disarankan pada *pervious concrete* pada umumnya lebih kecil dari 3/4 in (20 mm) (Obla, 2007).

Selain daripada itu, metode pengujian slump test dapat juga mengacu pada ASTM C143. Adapaun peralatan uji slump yaitu dengan menggunakan pan yang berukuran 50 cm x 50 cm, tongkat pemadat dengan ukuran 40 cm, dan kerucut (*slump cone*) dengan kedua sisi atas dan bawah kerucut terbuka. Dengan masing-masing dimensi pada sisi atas 10 cm dan sisi bawah 20 cm sedangkan tingginya berukuran 30 cm. Dengan menggunakan peralatan tersebut metode pengujian

slump nya dilakukan dengan melembabkan kerucut dan alat lainnya. Selanjutnya letakkan kerucut tersebut di atas plat baja pada permukaan yang datar, lembab, tidak menyerap dan kaku. Isi cetakan kerucut tersebut sebanyak 1/3 lapisan kemudian ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali tusukan dengan menggunakan tongkat pemadat. Ulangi prosedur tersebut sebanyak tiga kali pemadatan dengan ukuran yang sama hingga penuh. Setelah ditusuk, selanjutnya angkat kerucut tersebut untuk dilakukan pengukuran kemerosotan beton dengan menggunakan alat ukur berupa mistar atau rolmeter.

2.5.2. Kuat Tekan Beton

Metode pengujian kuat tekan *pervious concrete* sama seperti beton konvensional pada umumnya, namun hasil kuat tekan yang didapat *pervious concrete* memiliki kuat tekan yang relatif kecil dibandingkan beton normal. kuat tekan *pervious concrete* umumnya berkisar antara 400 – 400 psi atau 2,8 – 28 MPa. Hal yang biasanya mempengaruhi kuat tekan *pervious concrete* terletak pada komposisi material penyusunnya serta pemadatan pada proses pengecoran (ACI 522R, 2010)..

Kuat tekan yang digunakan dalam desain struktural perkerasan *pervious concrete* ditentukan berdasarkan ASTM C39 (2003). *Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens* dengan perhitungan untuk pengujian penekuatan tekan beton terlihat pada Persamaan 2.1.

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

f'_c = kuat tekan (N/mm²)

P = gaya (N)

A = luas permukaan (mm²)

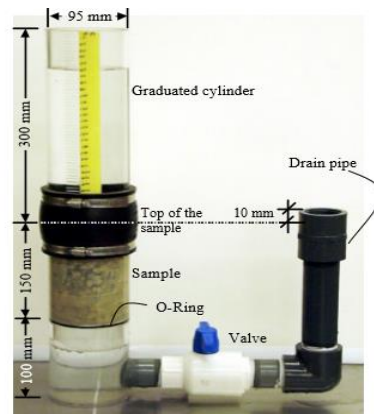
2.5.3. Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan yang dimiliki oleh suatu zat untuk meloloskan sejumlah partikel berupa air yang dapat menembus atau melaluinya.

Metode yang digunakan untuk menguji permeabilitas *pervious concrete* adalah dengan menggunakan alat uji *falling head* dan diperkirakan berdasarkan hukum Darcy. Permeabilitas merupakan parameter penting yang digunakan dalam desain hidrologi beton *pervious*. Tingkat permeabilitas dari *pervious concrete* akan bervariasi dengan ukuran agregat dan kepadatan campuran, Berdasarkan ACI 522R (2010) nilai permeabilitas biasanya akan jatuh dalam kisaran 2 hingga 18 gal/min ft² (81-730 L / min / m²) atau 192 -1724 in / h (0,14 hingga 1,22 cm / s).

Alat uji permeabilitas dapat dilihat pada gambar 2.7 Bagian-bagian *falling head* terdiri dari tabung akrilik atau tabung transparan sepanjang 300 mm dan diameter dalam 95 mm, tabung akrilik ini berfungsi untuk memantau ketinggian air pada saat pengujian dilakukan. Dibawah tabung diletakkan sampel dengan ketinggian 150 mm dan diatas dan bawah sampel tersebut terdapat tabung dengan diameter dalam 95 mm sehingga benda uji atau sampel dapat diletakkan pada cincin O dengan jarak 100 mm dari bawah. Untuk menghubungkan bagian bawah tabung ke pipa vertikal terdapat katup memiliki diameter 50 mm sehingga air dapat mengalir keluar. Di atas permukaan benda uji untuk bagian atas pipa vertikal dilebihkan 10 mm sehingga tidak ada aliran tak jenuh yang terjadi selama pengujian berlangsung.

Sebelum dilakukan pengujian, siapkan membran lateks untuk menyelimuti seluruh bagian benda uji benda kemudian diikat menggunakan pengikat karet sehingga tidak ada ruang keluarnya air selain pada pipa uji. Siapkan air untuk ditambahkan ke tabung akrilik untuk mengisi sel benda uji dan pipa pembuangan hingga penuh agar dapat menghilangkan gelembung udara pada benda uji dan memastikan benda uji itu benar-benar jenuh dari udara. Kemudian tutup katup air dan masukkan air hingga garis ukur mencapai 290 mm (h_1). Lalu buka katup dan hitung berapa waktu dalam detik (t) yang dibutuhkan untuk air jatuh dari kepala awal 290 mm (h_1) ke kepala akhir 70 mm (h_2). Prosedur percobaan ini diulang tiga kali, dan nilai rata-rata t yang digunakan.



Gambar 2.7. Alat uji permeabilitas (Neithalath *et al*, 2003)

Koefisien permeabilitas (K) dihitung menurut hukum Darcy. Persamaan hukum Darcy yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$k = \frac{A_1 l}{A_2 t} \log \left[\frac{h_1}{h_2} \right] \quad (2.2)$$

dimana:

A_1 = luas penampang benda uji (cm^3)

A_2 = luas penampang tabung ukur (cm^3)

t = waktu air mengalir (s)

l = tinggi benda uji (cm)

h_1 = ketinggian air awal (cm)

h_2 = ketinggian air akhir (cm)

Untuk geometri spesimen tertentu, koefisien permeabilitas (K) dapat diolah menggunakan metode kecepatan aliran (Persamaan 2.3).

$$k = \frac{s}{t} \quad (2.3)$$

dimana:

s = jarak permukaan air ke ujung sampel (cm)

t = waktu air mengalir (s)

Adapun kisaran atau rentang pengujian pada *pervious concrete* berdasarkan standar ACI 522R-10 dapat ditabulasikan pada tabel 2.6 Sebagai berikut.

Tabel 2.8. Kisaran hasil pengujian yang digunakan dalam *pervious concrete* (ACI522R, 2010)

Komponen Pengujian	Nilai persyaratan
Slump	0 - 20 mm
Kuat Tekan	2.8 - 28 Mpa
Permeabilitas	0,14 - 1,22 cm /s

2.6. Perawatan Beton

Pelaksanaan perawatan beton dilakukan pada saat beton mulai mengeras, yaitu ketika saat setelah dilakukan pembongkaran bekisting beton dengan durasi tertentu atau pada umur beton memasuki 7 hari pertama untuk memastikan kondisi yang terjaga agar dapat diperlukan untuk proses reaksi senyawa kimia yang terkandung dalam campuran beton. Perawatan beton *pervious* sama seperti beton konvensional. Adapun jenis-jenis perawatan (curing) pada beton diantaranya yaitu penyiraman, perendaman, pelapisan (*wet covering*), *steam curing*, *liquid membrane*, dan lain-lain. Tetapi, saat ini proses *curing* pada *pervious concrete* belum ada standar metode perawatan selain itu juga kurangnya referensi dalam mengevaluasi keefektifan dari proses perawatan. Proses *curing* pada beton memainkan peran penting pada pengembangan kekuatan dan daya tahan beton. Proses curing ini meliputi pemeliharaan kelembaban dan kondisi suhu, baik dalam beton maupun di permukaan beton dalam periode waktu tertentu. Secara umum tujuan perawatan beton adalah sebagai berikut :

- Menjaga beton dari kehilangan air semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete*.
- Menjaga perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar.
- Stabilitas dari dimensi struktur.
- Mendapatkan kekuatan beton yang tinggi.

- Menjaga beton dari kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama dan menjaganya dari keretakan.

Agar hidrasi pada beton terjadi secara optimal maka lakukan perawatan dengan tepat dan sesuai dengan prosedur, tetapi jika perawatan tidak dilakukan dengan benar maka ikatan agregatnya dapat mudah lepas. Seperti halnya dalam perawatan *pervious concrete* dengan metode perendaman maupun *steaming*. Adapun prosedur atau metode *curing* dijelaskan dalam ASTM C31 dimana saat umur beton dalam waktu 48 jam beton harus dijaga agar tetap dalam suhu 60 dan 80°F (16 dan 27°C). Alat pemanas maupun pendingin di laboratorium dapat digunakan untuk pengaturan suhu. Setelah itu masukkan sampel atau benda uji ke dalam tanki air atau ruang yang lembab dengan suhu 73±3°F (23±2°C) untuk dilakukan perawatan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

Metodologi penelitian adalah proses atau cara ilmiah untuk mendapatkan data yang akan digunakan untuk keperluan penelitian. Dalam metodologi penelitian terdiri dari suatu tahapan-tahapan yang akan digunakan untuk menentukan langkah-langkah didalam suatu penelitian. Adapun objek masalah dalam penelitian ini adalah *Pervious Concrete* dengan berfokus pada masalah pengaruh pada karakteristik campuran *pervious concrete* yang dilakukan perawatan (*curing*) dengan menggunakan bahan tambahan mineral berupa *silica fume* sebagai substitusi semen dan penggunaan agregat limbah botol kaca atau *waste glass aggregate (WGA)* sebagai substitusi sebagian agregat kasar.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat 10 variasi penambahan *silica fume* dan *waste glass aggregate* yaitu sebesar :

- 1) 0% *silica fume* dan 0% *waste glass aggregate*
- 2) 10% *silica fume* dan 2,5% *waste glass aggregate*
- 3) 10% *silica fume* dan 7,5% *waste glass aggregate*
- 4) 10% *silica fume* dan 12,5% *waste glass aggregate*
- 5) 15% *silica fume* dan 2,5% *waste glass aggregate*
- 6) 15% *silica fume* dan 7,5% *waste glass aggregate*
- 7) 15% *silica fume* dan 12,5% *waste glass aggregate*
- 8) 20% *silica fume* dan 2,5% *waste glass aggregate*
- 9) 20% *silica fume* dan 7,5% *waste glass aggregate*
- 10) 20% *silica fume* dan 12,5% *waste glass aggregate*

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah *slump test* pada beton segar, pengujian permeabilitas dan pengujian kuat tekan beton pada umur beton 7, 14 dan 28 hari.

3.2. Studi Literatur

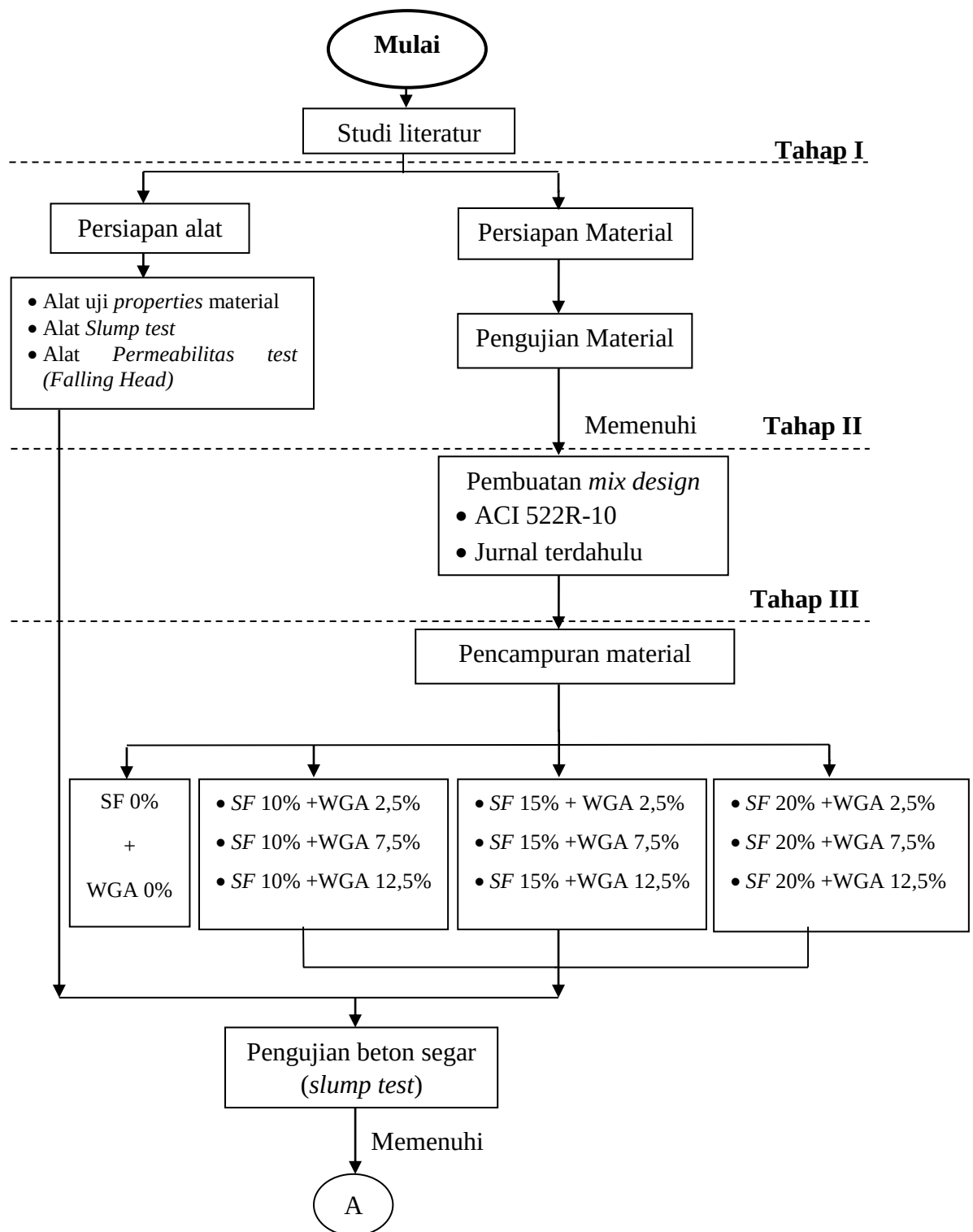
Studi literatur merupakan suatu tahapan pengumpulan data dan bahan acuan yang berkaitan dengan masalah dalam fokus penelitian. Dari data-data hasil penelitian tersebut kemudian dibahas, dianalisa, dan diolah sesuai dengan acuan yang ada dan pernah dilakukan oleh penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dibahas.

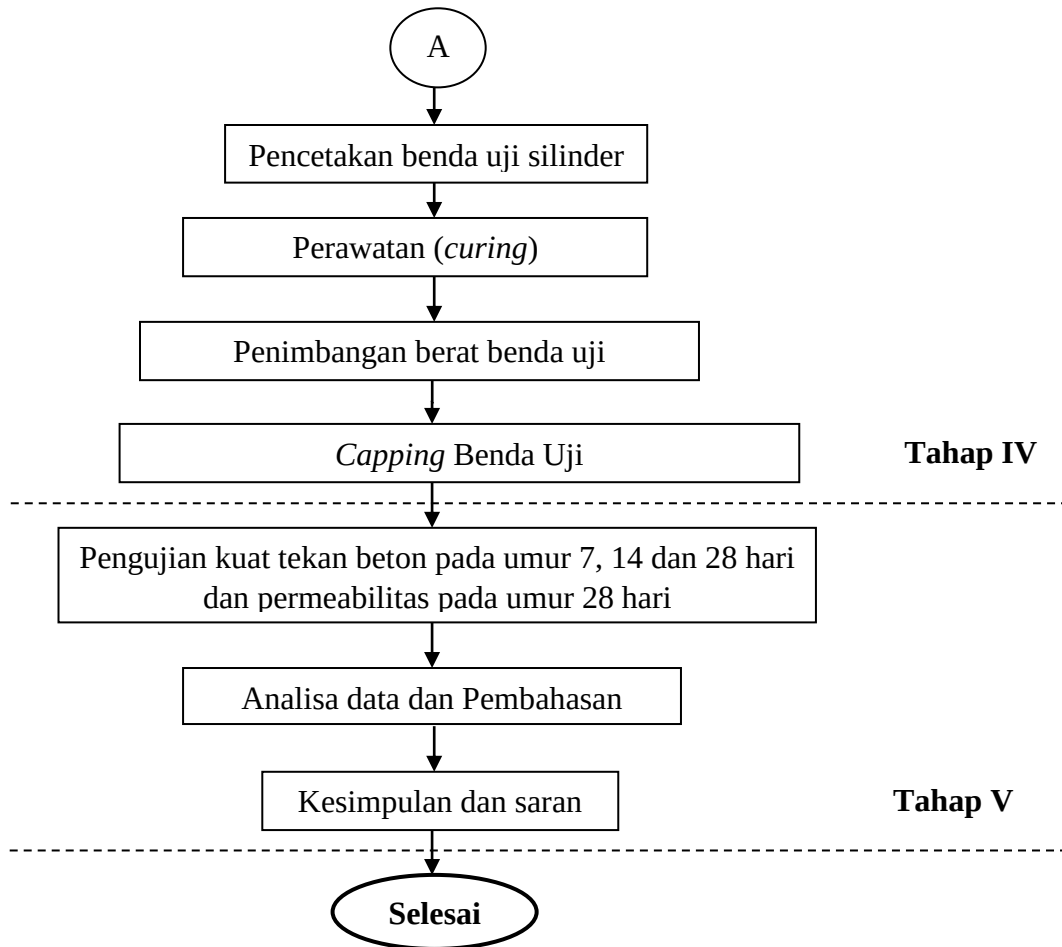
Pada tahapan ini, peneliti menghimpun dan menginventarisasi bahan acuan tersebut dari karya ilmiah, jurnal, *paper*, standar dan peraturan, buku, *project report*, naskah publikasi, tesis penelitian, diktat, internet standar-standar acuan dan referensi-referensi terpercaya lainnya. Untuk data yang didapat berupa literatur mengenai hal yang berhubungan dengan pengaruh penggunaan *silica fume* sebagai substitusi sebagian semen dan *waste glass aggregate* sebagai substitusi sebagian agregat kasar pada campuran *pervious concrete* dengan *curing*.

3.3. Alur Penelitian

Alur penelitian merupakan tahapan-tahapan metodologi yang disajikan dalam bentuk diagram alir (*flow chart*) yang digunakan sebagai panduan dalam melakukan penelitian.. *Flow chart* atau diagram alir adalah bagan-bagan berbentuk grafis yang terdiri dari simbol kotak yang beragam yang menyatakan proses atau langkah-langkah dari suatu pekerjaan dan disambungkan oleh garis alir yang menandakan bahwa antara satu pekerjaan dan pekerjaan yang lain saling berhubungan.

Pada penelitian ini terdapat lima tahap yaitu tahap pertama terdiri dari studi literatur dan persiapan penelitian. Tahap kedua terdiri dari persiapan alat dan bahan serta pengujian material terlebih dahulu (uji properties bahan-bahan yang akan digunakan dalam campuran *pervious concrete*). Tahap ketiga terdiri dari pembuatan *mix design pervious concrete*. Tahap keempat terdiri dari proses pencampuran lalu melakukan pengujian beton segar (*slump test*) kemudian melakukan perawatan (*curing*) benda uji hingga *capping* benda uji. Tahap kelima terdiri dari pengujian tekan beton dan pengujian permeabilitas pada benda uji selanjutnya menganalisa data dan menarik kesimpulan. Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1. Diagram tahap metodologi penelitian

3.4. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini bertempat di PT. Waskita Beton Precast Tbk *Batching Plant* Jakabaring III yang terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Laboratorium PT. Waskita Beton Precast Tbk BP. Jakabaring III

3.5. Material Penyusun *Pervious Concrete*

Berikut ini merupakan material penyusun *pervious concrete* yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

3.5.1. Semen

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen padang dengan jenis OPC (*Ordinary Portland Cement*) Tipe 1 yang ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 3.3. *Ordinary Portland Cement*

3.5.2. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini adalah air PAM bersih yang telah memenuhi syarat ASTM C1602 berasal dari Laboratorium PT. Waskita Beton Precast Plant Jakabaring 3 yang ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Air

3.5.3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah split Bojonegoro. Ukuran batu pecah yang digunakan pada penelitian ini adalah 1-2 cm yang ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Agregat Kasar

3.5.4. *Waste Glass Aggregate*

Waste Glass Aggregate merupakan Limbah Botol kaca yang berasal dari botol minuman bekas hasil limbah rumah tangga. Kemudian dipecahkan menggunakan mesin *Los Angeles Abrasion* sehingga ukurannya menjadi 1-2 cm sebagai substitusi sebagian agregat kasar yang ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. *Waste Glass Aggregate*

3.5.5. *Silica Fume*

Bahan tambah *Silica Fume* adalah sisa produk industri silikon yang mengandung logam yang diproduksi oleh PT. SIKKA yang ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. *Silica Fume*

3.5.6. *Superplasticizer*

Penggunaan *superpalsticizer* berfungsi untuk mengurangi faktor air semen (w/c) tanpa mengurangi *workability* beton segar. Bahan tambah *superplasticizer* yang digunakan berbahan dasar *Sikament In* yaitu *superplasticizer* tipe F yang ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. *Superplasticizer*

3.5.7. Belerang

Belerang merupakan bahan yang digunakan untuk *capping* pada beton. Belerang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Belerang

3.6. Persiapan Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu alat untuk pengambilan material, saringan agregat, *los angeles abrasion machine*, *mixer*, gelas ukur, timbangan dengan kapasitas 5 kg dan 50 kg, alat uji slump, *bekisting* silinder, alat *capping* beton, alat pengujian kuat tekan beton, dan alat pengujian permeabilitas seperti berikut :

3.6.1. Saringan Agregat

Saringan agregat kasar berdiameter 3/4“ sampai 3/8” diperlukan untuk mendapatkan ukuran butiran agregat kasar dan ukuran butiran limbah botol kaca yang sesuai dengan desain rencana campuran beton segar. Saringan agregat dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Saringan agregat

3.6.2. *Los Angeles Abration machine*

Los angeles abration machine adalah mesin yang diperlukan untuk menghancurkan limbah botol kaca. *Los Angeles Abration machine* ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. *Los Angeles Abration Machine*

3.6.3. *Mixer*

Mixer pada penelitian ini memiliki 2 blade yang berfungsi untuk mengaduk material agar material yang masuk kedalam *mixer* dapat tercampur dengan merata. *Mixer* ini berkapasitas 30 liter yang dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12. *Mixer*

3.6.4. Gelas Ukur

Gelas ukur pada penelitian ini digunakan untuk menimbang material berupa bahan tambahan *superplasticizer* yang ditunjukkan pada gambar 3.13.



Gambar 3.13. Gelas Ukur

3.6.5. Timbangan

Timbangan yang digunakan pada penelitian ini diperlukan untuk menimbang berat material sesuai dengan mix design. Timbangan yang ditunjukkan pada gambar 3.14 (a). memiliki ketelitian 0,5 berkapasitas 50 kg. Timbangan yang ditunjukkan pada gambar 3.14 (b). memiliki ketelitian 0,1 berkapasitas 5 kg



(a)



(b)

Gambar 3.14. (a) Timbangan kapasitas 50 kg dan (b) kapasitas 5 kg

3.6.6. *Slump Cone*

Slump cone adalah alat yang digunakan untuk uji slump yang bertujuan untuk menguji *workability* pada *pervious concrete*. *Slump cone* terdiri dari corong *slump*, *base plate*, tongkat pemadat, dan meteran. Berikut ini satu set *slump cone* dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15. *Slump Cone*

3.6.7. *Bekisting Silinder*

Bekisting silinder pada penelitian ini digunakan untuk mencetak beton segar. *Bekisting* silinder yang digunakan pada penelitian ini berukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm yang ditunjukkan pada gambar 3.16.



Gambar 3.16. *Bekisting Silinder*

3.6.8. *Vertical Cylinder Capping Set*

Vertical cylinder capping set digunakan untuk meratakan bagian ujung beton yang berbentuk silinder berdiameter 15 cm. Berdasarkan standar proses *capping* pada sampel beton bertujuan untuk menyeragamkan permukaan pembebanan pada saat dilakukan pengujian kuat tekan berdasarkan ASTM C-617. *Vertical cylinder capping set* dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17. *Vertical cylinder capping set*

3.7. Tahapan Pengujian di Laboratorium

Berikut ini tahapan yang harus dilakukan pada penelitian ini agar mendapatkan hasil penelitian yang diharapkan antara lain:

3.7.1. Tahapan Persiapan Peralatan dan Material

Pada tahap I hal yang harus dilakukan yaitu menyiapkan material dan peralatan yang akan digunakan pada penelitian ini. Material yang harus disiapkan antara lain agregat kasar, air, semen padang OPC tipe 1, *waste glass aggregate*, *silica fume*, dan *superplasticizer*. Peralatan yang harus disiapkan adalah alat pengujian material, saringan agregat, *concrete mixer*, timbangan, alat penguji *slump*, bekisting silinder, alat pengujian kuat tekan beton dan alat pengujian permeabilitas.

Pada tahapan persiapan ini, *waste glass aggregate* atau limbah botol kaca bening ini terlebih dahulu di bersihkan dan dicuci agar bau dan kotoran yang menempel di bagian luar dan dalam botol tersebut hilang. Pada gambar 3.20.

Limbah botol kaca yang telah di cuci dan dibersihkan kemudian dijemur terlebih dahulu agar limbah botol kaca dalam keadaan kering. Setelah proses penjemuran, kemudian limbah botol kaca dilakukan proses penggilingan dengan menggunakan mesin *los angeles abration* guna mendapatkan pecahan ukuran butiran kaca sehingga mempermudah pada saat proses penyaringan. Proses selanjutnya yaitu proses penyaringan pada limbah botol kaca yang telah dihancurkan sebelumnya agar mendapatkan butiran kaca yang lolos saringan agregat berukuran 3/4” dan tertahan 3/8” atau ukuran butiran kaca sebesar 1-2 cm.



Gambar 3.18. Limbah botol kaca yang dijemur yang kemudian dihancurkan

Tahap selanjutnya dalam penggunaan agregat kasar pada penelitian ini menggunakan split bojonegoro dengan ukuran butiran 1-2 cm yang diperoleh dari laboratorium PT. Waskita Beton Precast Batching Plant Jakabaring III. Penggunaan agregat kasar berpengaruh pada kualitas dan mutu beton, maka dari itu untuk mendapatkan hasil yang optimal, agregat kasar terlebih dahulu harus dibersihkan dari kadar lumpur, senyawa kimia, dan unsur-unsur lain. Setelah agregat kasar dibersihkan dan dikeringkan, kemudian dilakukan penggetaran dan penyaringan menggunakan *sieve shaker* dan saringan agregat kasar guna mendapatkan ukuran butiran sebesar 1-2 cm.

Berikut ini pada gambar 3.19. terlihat proses pembersihan agregat kasar.



Gambar 3.19. proses pembersihan agregat kasar

3.7.2. Tahap Pemeriksaan Karakteristik Material

Pada Tahap II merupakan tahap pemeriksaan karakteristik dari setiap material. Pemeriksaan karakteristik material penyusun beton (*uji properties*) dilakukan untuk mengetahui kandungan yang ada pada material. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada agregat kasar diantaranya pengujian kadar air berdasarkan referensi ASTM C 566, pengujian berat volume dalam kondisi padat dan gembur berdasarkan ASTM C 29/ C 29 M, pengujian SSD (*Saturated Surface Dry*) berdasarkan ASTM C 128, penyerapan agregat berdasarkan ASTM C 127, dan analisis saringan agregat kasar berdasarkan ASTM C 117. Hasil pengujian material terlampir.

3.7.3. Tahap Penentuan Komposisi Campuran *Pervious Concrete*

Pada Tahap III adalah tahap menentukan komposisi campuran *pervious concrete*. Komposisi campuran *pervious concrete* dilakukan dengan pengumpulan data dari jurnal dan mengacu pada standar ACI 522R-10 yang dapat dilihat pada tabel 2.6. Persentase variasi *waste glass aggregate* dan *silica fume* sebagai pada beton *pervious concrete* dapat dilihat pada Tabel 3.1. dan untuk komposisi campuran *pervious concrete* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1. Persentase Variasi *Silica Fume* dan *Waste Glass Aggregate*

Kode	Persentase Kadar (%)			Agregat Kasar
	<i>Silica Fume</i>	Semen	<i>Waste Glass Aggregate</i>	
SF ₀ WG ₀	0	100	0	100
SF ₁₀ WG _{2,5}	10	90	2,5	97,5
SF ₁₀ WG _{7,5}	10	90	7,5	92,5
SF ₁₀ WG _{12,5}	10	90	12,5	87,5
SF ₁₅ WG _{2,5}	15	85	2,5	97,5
SF ₁₅ WG _{7,5}	15	85	7,5	92,5
SF ₁₅ WG _{12,5}	15	85	12,5	87,5
SF ₂₀ WG _{2,5}	20	80	2,5	97,5
SF ₂₀ WG _{7,5}	20	80	7,5	92,5
SF ₂₀ WG _{12,5}	20	80	12,5	87,5

Tabel 3.2. Komposisi Campuran *Pervious Concrete*

Kode	% SF	% WGA	Semen (Kg/m ³)	SF (Kg/m ³)	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Air (Kg/m ³)	WGA (Kg/m ³)	SP (Kg/m ³)
SF ₀ WG ₀	0	0	373,6	0	1980,8	119,5	0	0
SF ₁₀ WG _{2,5}	10	2,5	336,2	37,4	1918,3	117,8	49,2	1,7
SF ₁₀ WG _{7,5}	10	7,5	336,2	37,4	1820,0	117,8	147,6	1,7
SF ₁₀ WG _{12,5}	10	12,5	336,2	37,4	1721,6	117,8	245,9	1,7
SF ₁₅ WG _{2,5}	15	2,5	317,5	56,0	1911,8	117,9	49,0	1,6
SF ₁₅ WG _{7,5}	15	7,5	317,5	56,0	1813,8	117,9	147,1	1,6
SF ₁₅ WG _{12,5}	15	12,5	317,5	56,0	1715,8	117,9	245,1	1,6
SF ₂₀ WG _{2,5}	20	2,5	298,9	74,7	1905,4	118,0	48,9	1,5
SF ₂₀ WG _{7,5}	20	7,5	298,9	74,7	1807,6	118,0	146,6	1,5
SF ₂₀ WG _{12,5}	20	12,5	298,9	74,7	1709,9	118,0	244,3	1,5

3.7.4. Tahap Pembuatan *Pervious Concrete*

Pada Tahap IV adalah tahap pengecoran benda uji *pervious concrete* di Laboratorium PT. Waskita Beton Precast Plant Jakabaring III. Proses pencampuran material dilakukan seperti pencampuran beton konvensional pada umumnya. Sebelum dilakukan pencampuran seluruh material, dipastikan agregat kasar harus dalam kondisi SSD. SSD atau *Saturated Surface Dry* adalah keadaan pada agregat dimana tidak terdapat air pada permukaannya tetapi pada rongganya

terisi oleh air sehingga tidak mengakibatkan penambahan maupun pengurangan kadar air dalam beton. Setelah agregat kasar sudah dalam kondisi SSD. Lalu dilakukan tahap proses pengecoran beton *pervious concrete* menggunakan *mixer* yang terlihat pada gambar 3.20.



Gambar 3.20. Proses Pengecoran *Pervious Concrete*

Setelah dilakukan pengecoran, maka sebagian campuran beton *pervious* tersebut dibentuk menjadi bola. Apabila pada sampel campuran tersebut saling mengikat antara pasta semen dan agregat maka tingkat rasio air semen dalam *mix design* sudah optimal sehingga memudahkan dalam pengerjaan campuran seperti yang terlihat pada gambar 3.21.



Gambar 3.21. Sampel campuran *pervious concrete* dibentuk menjadi bola

Proses selanjutnya dilakukan uji *slump*. Pengujian *slump* bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *silica fume* terhadap semen dan pengaruh penambahan *waste glass aggregate* terhadap agregat kasar pada perilaku *workability pervious concrete*. Syarat pengujian *slump pervious concrete* berbeda dengan beton konvensional. Uji *slump* pada *pervious concrete* mengacu pada standar ACI 522R-10 yaitu dengan syarat 0 atau >20 mm. Uji *slump* terlihat pada gambar 3.22.



Gambar 3.22. Uji *Slump Pervious Concrete*

Setelah dilakukan uji slump, benda uji di cetak dalam *bekisting* silinder ukuran 10 cm x 20 cm. Kemudian setelah *bekisting* dibuka, selanjutnya dilakukan *curing* jika beton sudah mencapai umur 7, 14 dan 28 hari. *Curing* dilakukan dengan cara benda uji direndam didalam bak berisi air untuk dijaga suhu kelembapannya yang terlihat pada gambar 3.23.



Gambar 3.23. Proses *Curing* beton dengan direndam di dalam air

3.7.5. Tahap Penimbangan Berat Benda Uji

Pada tahap V adalah tahap penimbangan berat benda uji menggunakan timbangan berkapasitas 5 kg. Hal ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan data berat dari setiap variasi persentase benda uji. Penimbangan berat benda uji terlihat pada gambar 3.24.



Gambar 3.24. Penimbangan berat benda uji

3.7.6. Tahap Pengujian *Pervious Concrete*

Pada Tahap VI adalah tahap pengujian kuat tekan dan permeabilitas pada benda uji. Sebelum beton di uji kuat tekannya terlebih dahulu beton harus di dilakukan *capping* beton. Berikut ini *capping* beton *pervious concrete* yang terlihat pada gambar 3.25.



Gambar 3.25. *Capping Pervious Concrete*

1. Pengujian Kuat Tekan *Pervious Concrete*

Setelah beton dilakukan capping kemudian beton diuji kuat tekannya pada umur 7,14, dan 28 hari dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine* seperti terlihat pada gambar 3.26. Hasil pengujian 3 sampel *pervious concrete* dapat dilihat pada lampiran 1 (kuat tekan umur 7 hari), lampiran 2 (kuat tekan umur 14 hari) dan lampiran 3 (kuat tekan umur 28 hari).



Gambar 3.26. Proses Pengujian Kuat Tekan *Pervious Concrete*

2. Pengujian Permeabilitas *Pervious Concrete*

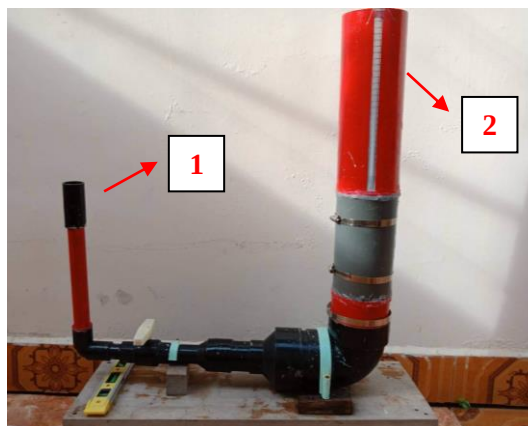
Pengujian permeabilitas dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan metode *Falling Head*.

Adapun tahapan-tahapan pengujian permeabilitas sebagai berikut :

- a. Persiapkan peralatan pengujian permeabilitas (seperti yang terlihat pada gambar 3.28.), benda uji (sampel beton), dan *stopwatch*.
- b. Sampel beton yang telah dipersiapkan kemudian dimasukkan ke pipa uji yang berukuran 10 cm x 20 cm
- c. Kemudian sampel beton tersebut disambungkan ke tabung ukur pada alat uji permeabilitas
- d. Di sekeliling sambungan antara tabung ukur dan pipa uji diberi lem silikon agar pada saat pengujian tidak keluar air diantara sela-sela sambungan

- e. Pastikan posisi alat uji permeabilitas dalam keadaan datar dengan menggunakan waterpass sehingga data yang didapatkan lebih akurat.
- f. Pengisian air dilakukan pada tabung akrilik (1) sampai penuh hingga air keluar pada sisi tersebut kemudian tutup katup air. Selanjutnya air diisi kembali pada tabung ukur (2) sampai ketinggian 29 cm.
- g. Buka katup air secara bersamaan dengan menekan stopwatch kemudian hitung waktu pengaliran air hingga air yang ada didalam tabung akrilik (1) berhenti keluar atau sampai permukaan benda uji 0 cm dan catat waktu yang telah dilakukan pengujian.

Berikut ini proses pengujian permeabilitas beton *pervious concrete* seperti terlihat pada gambar 3.27.



Gambar 3.27. Proses Pengujian Permeabilitas *Pervious Concrete*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian *Slump Pervious Concrete*

Pengujian *slump* bertujuan untuk mengetahui kelecakan (*consistency*) pada beton segar. Dengan pemeriksaan *slump*, maka kita dapat memperoleh nilai *slump* yang dipakai sebagai tolak ukur atau standar kelecakan beton segar. Karena didalam nilai *slump* tersebut terdapat sifat *workability* yaitu kemudahan dalam pengerjaan adukan beton. Nilai slump pada *pervious concrete* berdasarkan spesifikasi standar ACI 522R-10 sangat kecil yaitu >20 mm dan bahkan tidak mengalami penurunan sama sekali atau nol. Hal ini dilakukan agar menghindari terjadinya penumpukan pasta pada dasar beton dan segregasi sehingga dapat menurunkan kinerja sifat permeabilitas pada *pervious concrete*. Pada penelitian ini nilai uji slump setiap variasi tidak mengalami penurunan sama sekali atau nol sehingga memenuhi kriteria *pervious concrete* berdasar standar ACI 522R-10 yang terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Hasil pengujian *slump pervious concrete*

4.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Pervious Concrete*

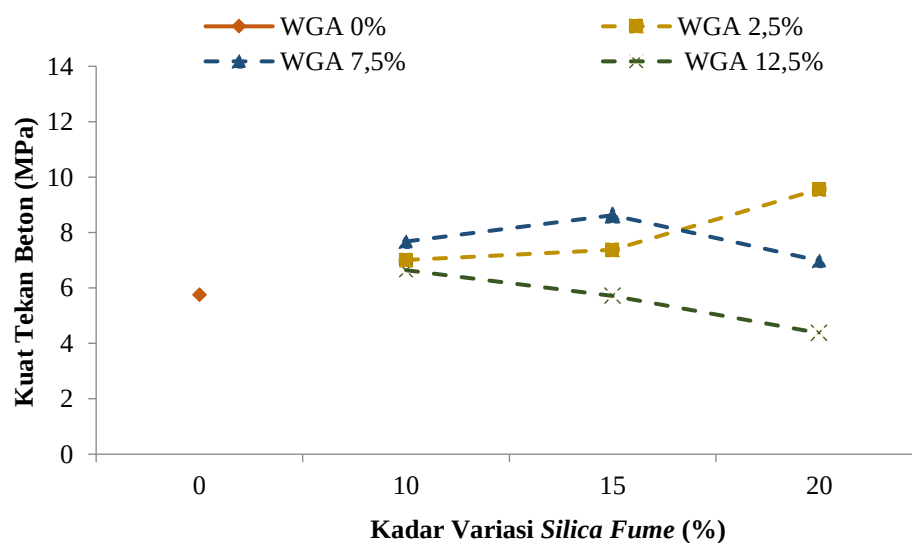
Hasil pengujian kuat tekan beton *pervious concrete* diperoleh dari hasil rata-rata pengujian kuat tekan pada 3 sampel beton. Pengujian kuat tekan beton

dilakukan untuk membandingkan nilai kuat tekan berdasarkan substitusi variasi *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) dan *silica fume*. Berikut ini hasil pengujian kuat tekan beton *pervious concrete* pada umur 7,14, dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton *pervious concrete* pada umur 7,14, dan 28 hari

Kode	Silica Fume (%)	WGA (%)	Kuat Tekan Beton		
			7 Hari	14 Hari	28 Hari
SF ₀ WG ₀	0	0	5,763	6,319	6,876
SF ₁₀ WG _{2,5}	10	2,5	7,008	8,223	8,810
SF ₁₀ WG _{7,5}	10	7,5	7,675	8,656	9,504
SF ₁₀ WG _{12,5}	10	12,5	6,642	7,278	7,936
SF ₁₅ WG _{2,5}	15	2,5	7,379	8,567	9,574
SF ₁₅ WG _{7,5}	15	7,5	8,625	9,322	10,431
SF ₁₅ WG _{12,5}	15	12,5	5,719	6,068	7,543
SF ₂₀ WG _{2,5}	20	2,5	9,565	10,886	11,548
SF ₂₀ WG _{7,5}	20	7,5	6,982	8,161	9,645
SF ₂₀ WG _{12,5}	20	12,5	4,734	5,22	6,461

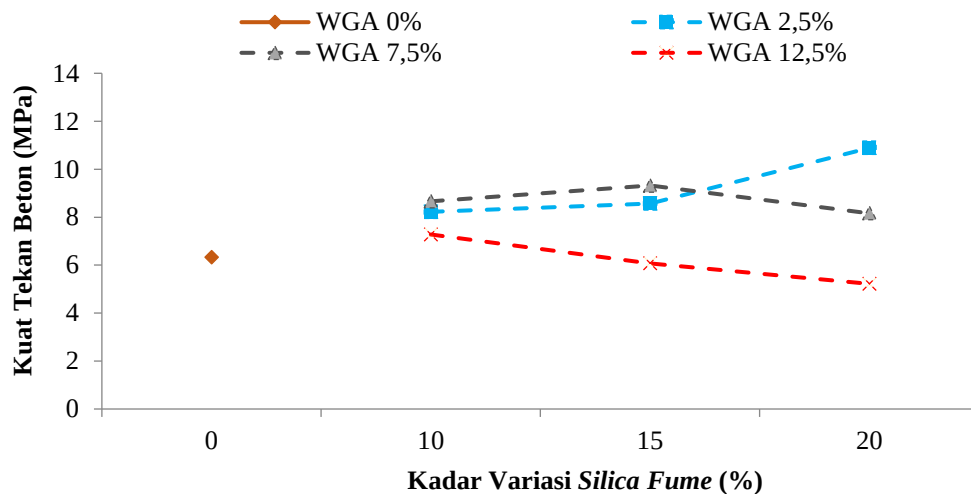
Berikut ini merupakan penjabaran grafik hubungan antara variasi beton dengan kuat tekan beton pada umur 7 hari. Hasil pengujian kuat tekan umur 7 hari dapat dilihat pada lampiran 1.



Gambar 4.2. Grafik kuat tekan *pervious concrete* pada umur 7 hari

Berdasarkan grafik tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan pada umur 7 hari memiliki nilai kuat tekan tertinggi pada variasi SF₂₀WG_{2,5} dengan *kadar silica fume* 20% dan *waste glass aggregate* 2,5% sebesar 9,565 MPa.

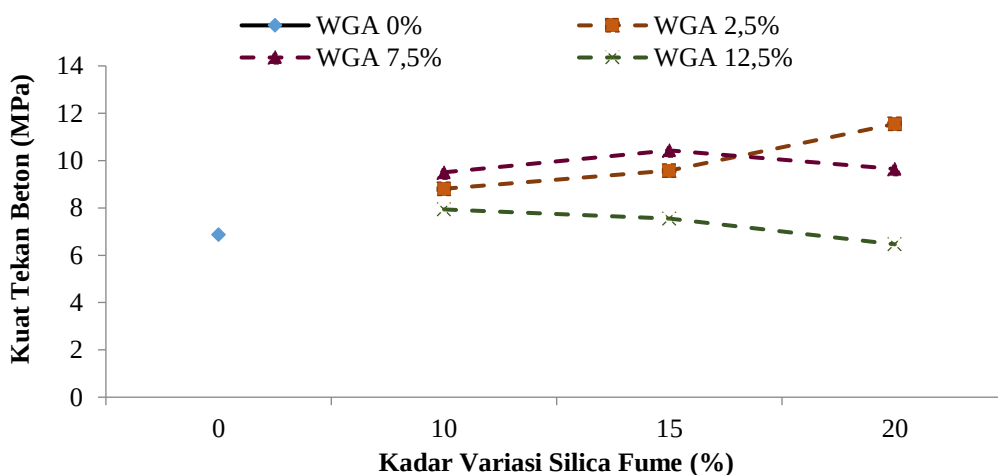
Berikut ini penjabaran grafik hubungan antara variasi beton dengan kuat tekan beton pada umur 14 hari. Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 2.



Gambar 4.3. Grafik kuat tekan *pervious concrete* pada umur 14 hari

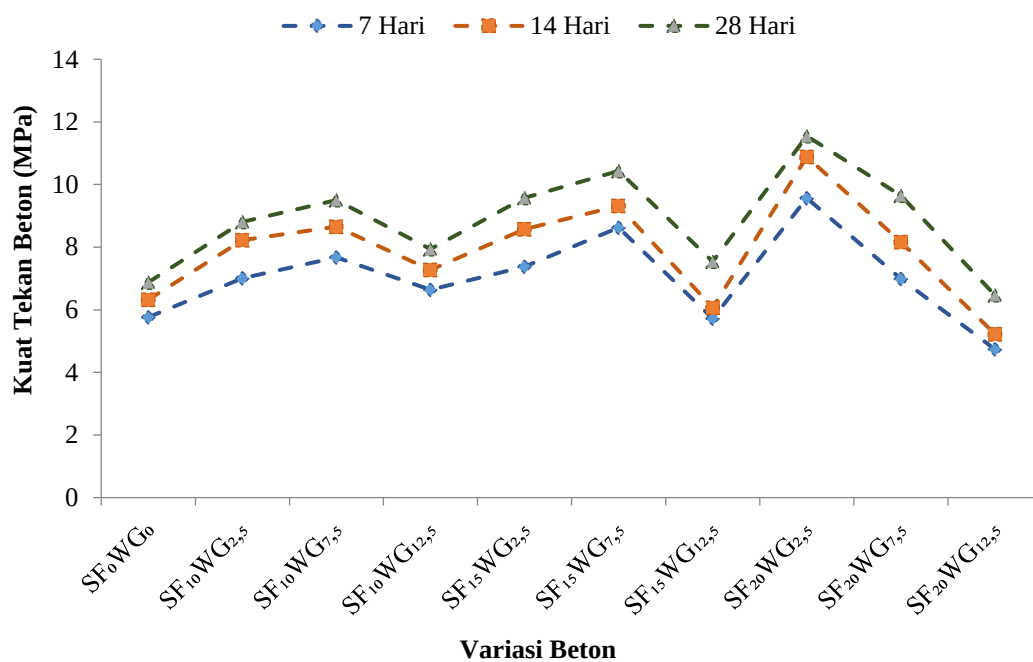
Dari grafik 4.3. terlihat perbandingan antara kuat tekan beton umur 7 hari dengan kuat tekan beton umur 14 hari. Seperti halnya pada kode variasi SF₁₀WG_{2,5} dengan kuat tekan pada umur 7 hari mencapai 7,008 MPa kemudian dilakukan pengujian pada umur 14 hari meningkat menjadi 8,223 MPa.

Berikut ini merupakan hasil penjabaran grafik hubungan antara variasi beton dengan kuat tekan beton pada umur 28 hari.



Gambar 4.4. Grafik kuat tekan *pervious concrete* pada umur 28 hari

Berdasarkan grafik 4.4. bahwa kuat tekan beton pada umur 28 hari sudah mencapai 99%. Pada penelitian ini kombinasi campuran SF₂₀WG_{2,5} memiliki kuat tekan optimum yaitu 11, 548 MPa dengan penambahan kadar *silica fume* 20% dan *waste glass aggregate* 2,5%. Dan untuk kuat tekan terendah pada kombinasi campuran SF₂₀WG_{12,5} yaitu 6,461 MPa dengan kadar 20% *silica fume* dan 2,5% kadar *waste glass aggregate*. Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 3.



Gambar 4.5. Grafik kuat tekan *pervious concrete* pada umur 7,14, dan 28 hari

Berdasarkan grafik 4.5. bahwa kuat tekan rata-rata beton *pervious concrete* pada umur 7, 14 dan 28 hari menunjukkan hasil yang meningkat. Hal itu disebabkan karena secara umum pada umur 7 hari kekuatan beton meningkat sebesar 65%, kemudian pada umur 14 hari kekuatan meningkat sebesar 90% dan pada umur 28 hari kekuatan meningkat sebesar 99% dan terus meningkat kekuatannya selama masa penggunaan. Namun, peningkatan kekuatan di masa yang akan datang tidak secepat dan sebanyak peningkatan pada umur 28 hari pertama. sebab kekuatan beton 99% pada umur 28 hari, hasil ini sangat mendekati kekuatan akhir yang mana dapat dicapai sebenarnya dalam waktu 1 atau 2 tahun kemudian.

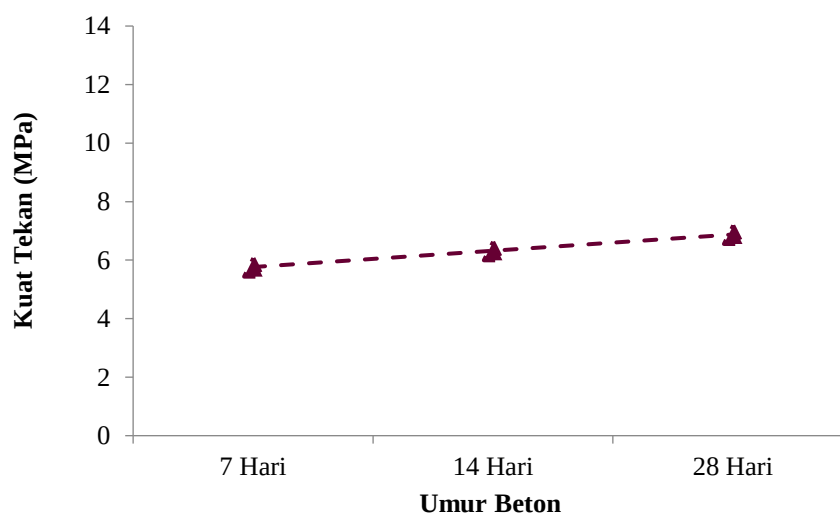
Substitusi campuran *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) dan *silica fume* menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi daripada *pervious normal* yaitu dengan kombinasi *waste glass aggregate* 2,5% dengan *silica fume* 20% menjadi sebesar 11,548 MPa.

4.2.1. Substitusi *Silica Fume* 0% dengan Kadar *Waste Glass Aggregate* 0%

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton *pervious normal* dengan menggunakan *silica fume* dengan kadar 0% dan *waste glass aggregate* 0% dapat dilihat pada Tabel 4.2, sedangkan pada gambar 4.6. menunjukkan hubungan antara substitusi *silica fume* 0% dan *waste glass aggregate* 0%.

Tabel 4.2. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 0% dan *waste glass aggregate* 0%

Kode	WGA (%)	Kuat tekan rata-rata (MPa)		
		7 Hari (MPa)	14 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
SF ₀ WG ₀	0	5,763	6,319	6,876



Gambar 4.6. Grafik kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 0%

Berdasarkan Tabel 4.2. dan Gambar 4.6. dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah umur beton maka semakin besar kuat tekan beton yang dihasilkan. Pada campuran *pervious concrete* yang tidak mengandung *silica fume* dan *waste glass aggregate* pada umur 28 hari menghasilkan kuat tekan sebesar 6,876 MPa.

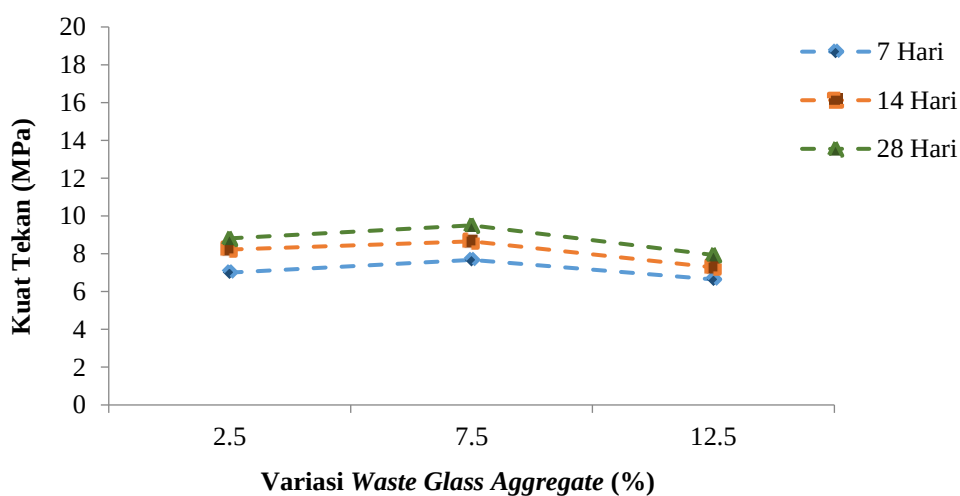
4.2.2. Pengaruh Substitusi *Silica Fume* 10% dengan Variasi *Waste Glass Aggregate* (WGA)

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata *pervious concrete* dengan variasi *waste glass aggregate* 2,5% , 7,5% , dan 12,5% dengan kadar *silica fume* 10% dapat dilihat pada Tabel 4.3. sedangkan, pada gambar 4.8. menunjukkan hubungan antara substitusi *silica fume* 10% dengan variasi *waste glass aggregate*.

Tabel 4.3. Hasil pengujian kuat tekan dengan substitusi *silica fume* 10% dan variasi *waste glass aggregate*

Kode	WGA (%)	Kuat tekan rata-rata (MPa)		
		7 Hari (MPa)	14 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
SF ₁₀ WG _{2,5}	2,5	7,008	8,223	8,81
SF ₁₀ WG _{7,5}	7,5	7,675	8,656	9,504
SF ₁₀ WG _{12,5}	12,5	6,642	7,278	7,936

Pada tabel 4.8. Campuran *pervious concrete* dengan kadar *silica fume* 10% mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kadar *waste glass aggregate* 2,5%, 7,5% namun dengan penambahan kadar *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) 12,5% mengalami penurunan kuat tekan beton. Pada gambar 4.7 menunjukkan grafik hubungan antara substitusi *silica fume* 10% dengan variasi *waste glass aggregate* 2,5%, 7,5%, dan 12,5%.



Gambar 4.7. Grafik kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 10% dan variasi *waste glass aggregate*

Berdasarkan grafik hasil pengujian rerata kuat tekan beton pada campuran *pervious concrete* kode SF₁₀WG_{7,5} dengan substitusi *silica fume* 10% dan *waste glass aggregate* (agregat kaca) 7,5% menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi yaitu sebesar 9,504 MPa dan kuat tekan terendah berada pada variasi SF₁₀WG_{12,5} yaitu 7,936 MPa dengan kadar *silica fume* 10% dan *waste glass aggregate* 12,5%. Adapun persentase perubahan kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari terhadap beton *pervious concrete* normal dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Persentase perubahan kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 10% dan variasi *waste glass aggregate*

Kode	WGA (%)	Kuat Tekan 7 Hari (MPa)	Persentase Perubahan (%)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Persentase Perubahan (%)
SF ₁₀ WG _{2,5}	2,5	7,008	21,603	8,81	28,127
SF ₁₀ WG _{7,5}	7,5	7,675	33,177	9,504	38,336
SF ₁₀ WG _{12,5}	12,5	6,642	15,252	7,936	15,416

Berdasarkan tabel 4.4. dapat terlihat bahwa kuat tekan SF₁₀WG_{2,5} dengan substitusi *silica fume* 10% dan penambahan kadar agregat kaca 2,5% mengalami peningkatan sebesar 28,127% terhadap *pervious concrete* normal, sedangkan untuk kuat tekan SF₁₀WG_{7,5} dan SF₁₀WG_{12,5} dengan substitusi 10% *silica fume* yang ditambah dengan agregat kaca 7,5% dan 12,5% mengalami peningkatan kuat tekan hanya 38,220% dan 15,416% terhadap *pervious concrete* normal.

4.2.3. Pengaruh Substitusi Silica Fume 15% dengan Variasi Waste Glass

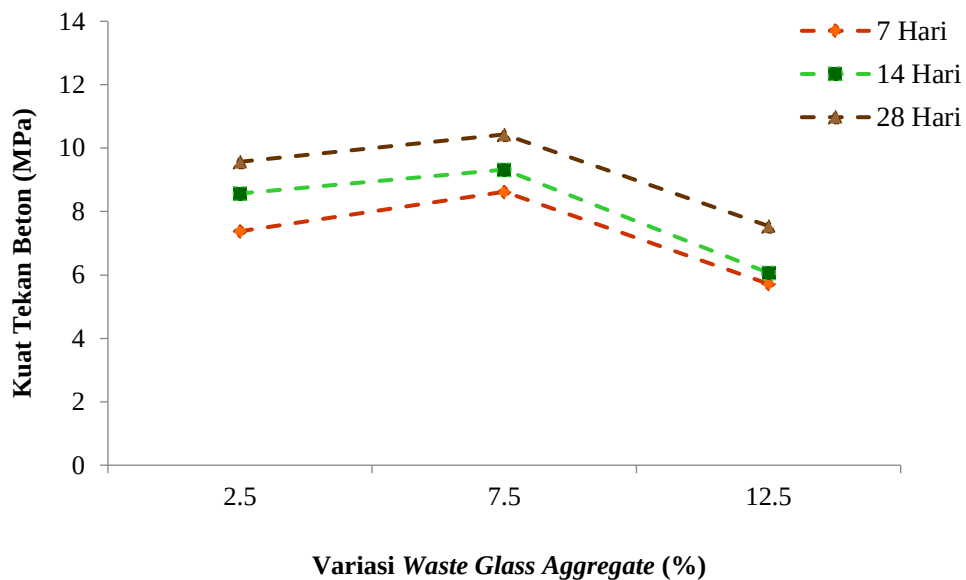
Aggregate (WGA)

Pada tabel 4.5. menampilkan hasil pencapaian kuat tekan rata-rata beton *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* sebesar 15% dan penambahan variasi *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) sebesar 2,5%, 7,5%, dan 12,5%, sedangkan pada gambar 4.8. Menampilkan grafik hubungan antara kuat tekan *pervious concrete* pada umur 7, 14, dan 28 hari dengan substitusi *silica fume* 15% dan variasi kadar *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca)

Tabel 4.5. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 15% dan variasi *waste glass aggregate*

Kode	WGA (%)	Kuat tekan rata-rata (MPa)		
		7 Hari (MPa)	14 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
SF ₁₅ WG _{2,5}	2,5	7,379	8,567	9,574
SF ₁₅ WG _{7,5}	7,5	8,625	9,322	10,431
SF ₁₅ WG _{12,5}	12,5	5,719	6,068	7,543

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang dicapai pada umur 28 hari dengan variasi SF₁₅WG_{2,5}, SF₁₅WG_{7,5}, SF₁₅WG_{12,5} secara berturut-turut adalah 9,574 MPa, 10,431 MPa, dan 7,543 MPa.



Gambar 4.8. Grafik kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 15% dan variasi *waste glass aggregate*

Dari grafik 4.8 terjadi peningkatan kuat tekan dengan substitusi *silica fume* sebesar 15% pada penambahan 2,5% dan 7,5% *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca), tetapi pada penambahan 12,5% *waste glass aggregate* mengalami penurunan kuat tekan. Variasi penggunaan *waste glass aggregate* dengan *silica fume* 15% memberikan hasil kuat tekan optimum pada SF₁₅WG_{7,5}. Kuat tekan pada SF₁₅WG_{7,5} mencapai 10,431 MPa dengan kadar *waste glass aggregate* 7,5%.

Kuat tekan terendah yang dicapai adalah sebesar 7,543 MPa pada SF₁₅WG_{12,5} dengan substitusi *waste glass aggregate* 12,5%. Persentase perubahan kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari terhadap beton *pervious concrete* normal dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Persentase perubahan kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 15% dan variasi *waste glass aggregate*

Kode	WGA (%)	Kuat Tekan 7 Hari (MPa)	Persentase Perubahan (%)	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Persentase Perubahan (%)
SF ₁₅ WG _{2,5}	2,5	7,379	28,041	9,574	39,238
SF ₁₅ WG _{7,5}	7,5	8,625	49,662	10,431	51,702
SF ₁₅ WG _{12,5}	12,5	5,719	-0,763	7,543	9,700

Berdasarkan hasil kuat tekan pada variasi SF₁₅WG_{2,5} dengan substitusi *silica fume* 15% dan *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 39,238% terhadap beton *pervious* normal, sedangkan untuk kuat tekan variasi SF₁₅WG_{7,5} dengan kadar *silica fume* 15% dan penambahan *waste glass aggregate* 7,5% meningkat sebesar 51,702% dari *pervious concrete* normal, angka ini lebih tinggi dibandingkan dengan dengan SF₁₅WG_{2,5}. Persentase perubahan kuat tekan terhadap *pervious concrete* normal hanya mengalami peningkatan sebesar 9,7% pada variasi SF₁₅WG_{12,5} dengan substitusi *silica fume* 15% dan dengan penambahan kadar *waste glass aggregate* 12,5%.

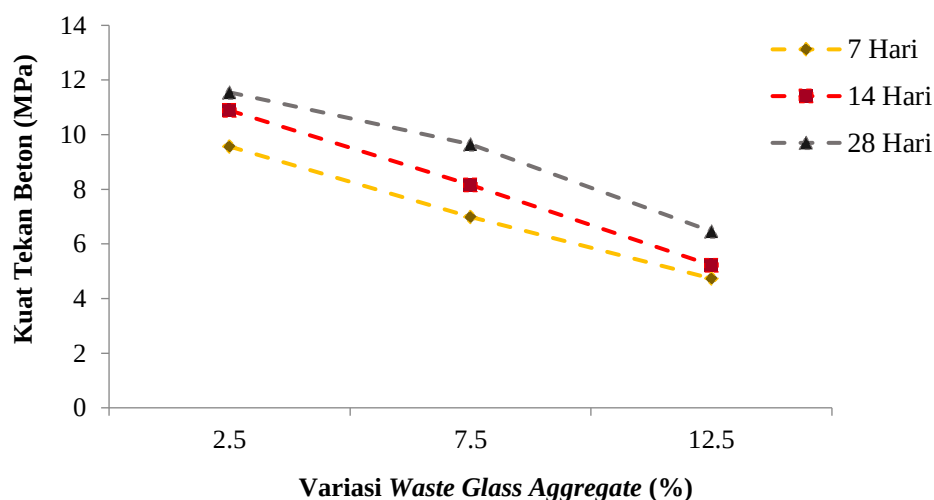
4.2.4. Pengaruh Subtitusi *Silica Fume* 20% dengan Variasi *Waste Glass Aggregate (WGA)*

Pada campuran beton *pervious concrete* dengan substitusi pengganti semen berupa *silica fume* sebesar 20% dan penambahan *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) 2,5%, 7,5%, dan 12,5%, didapatkan hasil kuat tekan rata-rata beton yang dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.9.

Tabel 4.7. Hasil pengujian kuat tekan dengan substitusi *silica fume* 20% dan variasi *waste glass aggregate*

Kode	WGA (%)	Kuat tekan rata-rata (MPa)		
		7 Hari (MPa)	14 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
SF ₂₀ WG _{2,5}	2,5	9,565	10,886	11,548
SF ₂₀ WG _{7,5}	7,5	6,982	8,161	9,645
SF ₂₀ WG _{12,5}	12,5	4,734	5,22	6,461

Berdasarkan hasil kuat tekan *pervious concrete* umur 28 hari, campuran substitusi *silica fume* 20% dengan penambahan *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) 2,5% menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Namun mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar variasi agregat kaca sebesar 7,5% dan 12,5%. Grafik hubungan antara substitusi *silica fume* 20% dengan variasi kadar agregat kaca 2,5%, 7,5%, dan 12,5% dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 20% dan variasi *waste glass aggregate*

Berdasarkan hasil kuat tekan beton pada variasi campuran SF₂₀WG_{2,5} dengan kadar *silica fume* 20%, *pervious concrete* mengalami peningkatan dengan penambahan kadar *waste glass aggregate* 2,5% yang merupakan kuat tekan optimum pada penelitian ini yaitu mencapai 11,548 MPa, namun mengalami penurunan ketika penambahan kadar *waste glass aggregate* 7,5% dan 12,5%.

Kuat tekan terendah berada pada variasi campuran SF₂₀WG_{12,5} yaitu 6,461 MPa dengan substitusi 20% *silica fume* dengan penambahan 12,5% *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca). Persentase perubahan kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari terhadap beton *pervious concrete* normal dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Persentase perubahan kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 20% dan variasi *waste glass aggregate*

Kode	WGA (%)	7 Hari (MPa)	Persentase Perubahan (%)	28 Hari (MPa)	Persentase Perubahan (%)
SF ₂₀ WG _{2,5}	2,5	9,565	65,973	11,548	67,946
SF ₂₀ WG _{7,5}	7,5	6,982	21,152	9,645	40,271
SF ₂₀ WG _{12,5}	12,5	4,734	-17,855	6,461	-6,035

Hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari pada SF₂₀WG_{2,5} dengan substitusi *silica fume* 20% dan kadar agregat kaca 2,5% mengalami peningkatan yang tinggi sebesar 67,946% terhadap *pervious concrete* normal, sedangkan pada kuat tekan SF₂₀WG_{7,5} dengan substitusi 20% *silica fume* yang ditambah dengan agregat kaca 7,5% hanya meningkat 40,271% dari *pervious concrete* normal. Sedangkan pada SF₂₀WG_{12,5} dengan penambahan kadar agregat kaca yang lebih tinggi yaitu 12,5% pada *pervious concrete* yang mengandung 20% *silica fume* tidak mengalami peningkatan kuat tekan, akan tetapi terjadi penurunan sebesar 6,035 % dari *pervious concrete* normal.

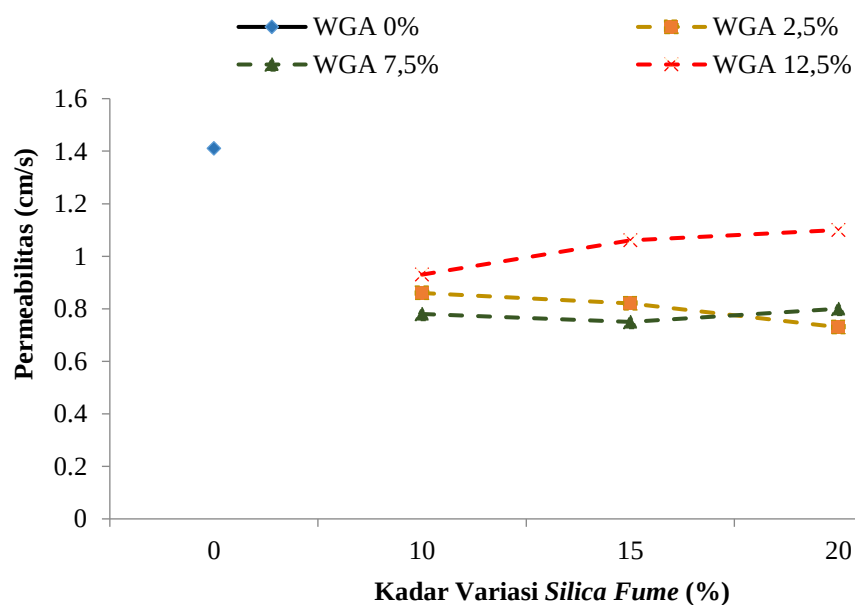
4.3. Hasil Pengujian Permeabilitas *Pervious Concrete*

Hasil pengujian permeabilitas beton *pervious concrete* diperoleh dari hasil rata-rata pengujian permeabilitas pada 3 sampel beton pada umur 28 hari. Pengujian permeabilitas beton dilakukan untuk membandingkan nilai permeabilitas berdasarkan substitusi variasi agregat limbah botol kaca dan *silica fume*. Pada Tabel 4.9. menampilkan hasil pengujian permeabilitas beton *pervious* pada umur 28 hari.

Tabel 4.9. Hasil pengujian permeabilitas rata-rata beton *pervious concrete* pada umur 28 hari

Kode	<i>Silica Fume</i> (%)	WGA (%)	Permeabilitas (Cm/s)	Persentase Perubahan (%)
SF ₀ WG ₀	0	0	1,41	0,000
SF ₁₀ WG _{2,5}	10	2,5	0,86	-39,007
SF ₁₀ WG _{7,5}	10	7,5	0,78	-44,681
SF ₁₀ WG _{12,5}	10	12,5	0,93	-34,043
SF ₁₅ WG _{2,5}	15	2,5	0,82	-41,844
SF ₁₅ WG _{7,5}	15	7,5	0,75	-46,809
SF ₁₅ WG _{12,5}	15	12,5	1,06	-24,823
SF ₂₀ WG _{2,5}	20	2,5	0,73	-48,227
SF ₂₀ WG _{7,5}	20	7,5	0,8	-43,262
SF ₂₀ WG _{12,5}	20	12,5	1,1	-21,986

Dari hasil tabel 4.9. menunjukkan bahwa pengujian permeabilitas rata-rata beton *pervious* pada kondisi normal adalah sebesar 1,12 cm/s. Pada variasi SF₀WG₀ dengan kombinasi agregat kaca 0% dan *silica fume* 0% menghasilkan nilai permeabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan *pervious concrete* yang bervariasi pada penelitian ini yaitu sebesar 1,1 cm/s. Grafik hasil pengujian permeabilitas *pervious concrete* dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Grafik hasil pengujian permeabilitas

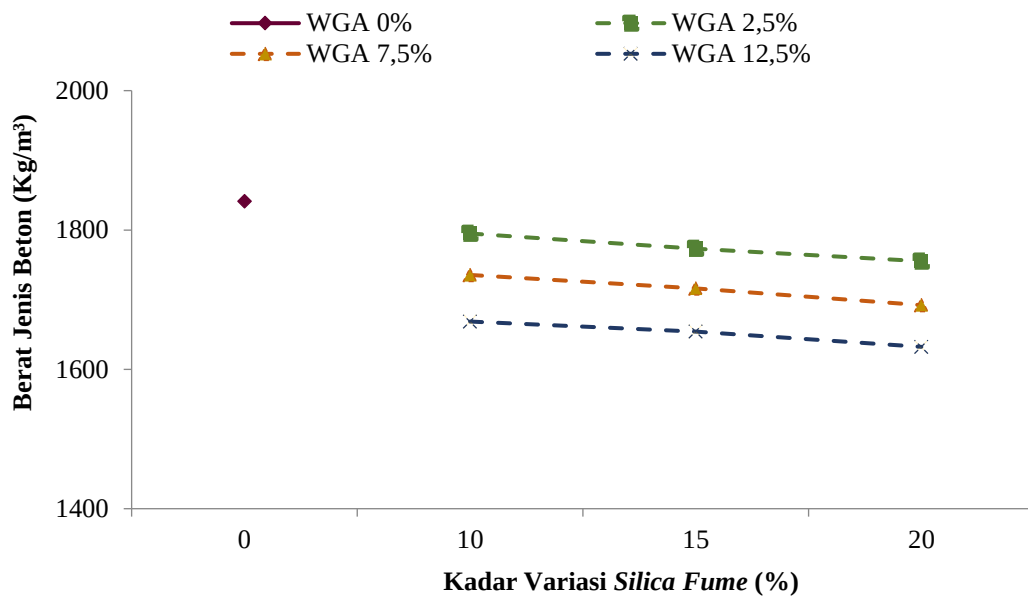
Berdasarkan acuan nilai permeabilitas pada standar ACI 522R (2010) berkisar pada rentang 0,14 – 1,22 cm/s. Pada variasi penggunaan agregat limbah botol kaca dengan kadar 12,5% dan *silica fume* 20% pada kode SF₂₀WG_{12,5} memiliki nilai permeabilitas sebesar 1,1 cm/s. Untuk nilai permeabilitas terendah berada pada variasi campuran SF₂₀WG_{2,5} yaitu 0,73 cm/s dan dikategorikan masuk dalam rentang standar ACI 522R-10

4.4. Hasil Berat Jenis Beton *Pervious Concrete*

Data hasil berat jenis beton *pervious concrete* didapatkan dari hasil penimbangan sampel beton setelah dilakukan proses perawatan beton pada umur 28 hari. Data hasil berat jenis sampel beton *pervious concrete* ini digunakan sebagai acuan untuk menganalisa data berat jenis setiap variasi campuran yang paling ringan dan yang paling tinggi. Pengujian berat jenis beton *pervious concrete* juga digunakan untuk menganalisis pengaruh penggunaan *waste glass aggregate* pada campuran terhadap berat beton *pervious concrete*. Nilai berat jenis didapat dari rata-rata berat untuk 3 benda uji. Pada tabel 4.10. merupakan rekapitulasi hasil pengujian berat jenis *pervious concrete* pada umur 28 hari. Dan pada gambar 4.11. menunjukkan grafik hubungan antara variasi agregat limbah kaca dan terhadap berat jenis *pervious concrete*.

Tabel 4.10. Hasil pengujian berat jenis sampel pada *pervious concrete* umur 28 hari

Kode	<i>Silica Fume</i> (%)	WGA (%)	Berat Jenis Beton(Kg/m ³)	Persentase Perubahan
SF ₀ WG ₀	0	0	1840,977	0,000
SF ₁₀ WG _{2,5}	10	2,5	1794,904	-2,503
SF ₁₀ WG _{7,5}	10	7,5	1735,456	-5,732
SF ₁₀ WG _{12,5}	10	12,5	1668,577	-9,365
SF ₁₅ WG _{2,5}	15	2,5	1773,248	-3,679
SF ₁₅ WG _{7,5}	15	7,5	1716,136	-6,781
SF ₁₅ WG _{12,5}	15	12,5	1654,352	-10,137
SF ₂₀ WG _{2,5}	20	2,5	1755,202	-4,659
SF ₂₀ WG _{7,5}	20	7,5	1692,144	-8,084
SF ₂₀ WG _{12,5}	20	12,5	1632,272	-11,337



Gambar 4.11. Grafik berat jenis *pervious concrete*

Berdasarkan data berat sampel *pervious concrete* yang diperoleh dari hasil pengujian pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa variasi penggunaan agregat kaca dan *silica fume* berpengaruh terhadap berat *beton pervious concrete*. Penggunaan agregat limbah kaca dan *silica fume* pada $SF_{20}WG_{12,5}$ menghasilkan berat jenis beton yang lebih ringan dibandingkan dengan SF_0WG_0 . Hal ini disebabkan oleh berat jenis *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) yang lebih ringan dibandingkan dengan berat jenis agregat kasar, selain itu juga disebabkan karena semakin besar penambahan kadar *silica fume* maka berat beton semakin ringan mengingat berat jenis *silica fume* lebih kecil daripada berat jenis semen. Jadi, dapat disimpulkan bahwa semakin besar variasi *waste glass aggregate* dan kadar *silica fume* yang digunakan maka semakin ringan berat beton yang dihasilkan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh substitusi *waste glass aggregate* atau agregat limbah botol kaca dan *silica fume* pada hasil uji *slump* untuk setiap variasi menghasilkan nilai *slump* nol atau tidak mengalami penurunan sama sekali, sehingga memenuhi kriteria *pervious concrete* berdasarkan standar ACI 522R-10
2. Pengaruh substitusi *waste glass aggregate* atau agregat limbah botol kaca dan *silica fume* terhadap kuat tekan beton *pervious concrete* antara lain:
 - a. Penggunaan *silica fume* dengan kadar 20% dan penambahan kadar *waste glass aggregate* 2,5% dapat menambah kuat tekan beton *pervious concrete* dan menghasilkan kuat tekan maksimum yaitu sebesar 11,548 MPa.
 - b. Pada kombinasi campuran *silica fume* 10%, 15% dan 20% dan dengan kadar *waste glass aggregate* 2,5% mengalami peningkatan kuat tekan *pervious concrete*. Selain itu pada kombinasi campuran *silica fume* 10% dan 15% dengan kadar *waste glass aggregate* 7,5% juga mengalami peningkatan kuat tekan *pervious concrete*. Akan tetapi seiring dengan penambahan variasi *waste glass aggregate* lebih dari 7,5% kuat tekan mengalami penurunan. Kombinasi substitusi *waste glass aggregate* 2,5% dengan kadar *silica fume* 20 % menghasilkan kuat tekan paling maksimum pada penelitian ini yaitu sebesar 11,548 MPa dan yang paling minimum adalah 6,641 MPa yang menggunakan substitusi *waste glass aggregate* 12,5% dan *silica fume* 20%.
3. Hasil nilai permeabilitas maksimum pada penelitian ini yaitu sebesar 1,41 cm/s pada *pervious concrete* normal. Dan hasil nilai permeabilitas minimum pada penelitian ini yaitu berada pada kadar 2,5% *waste glass aggregate* dan 20% kadar *silica fume* yaitu 0,73 cm/s.

4. Semakin tinggi penggunaan kadar substitusi *waste glass aggregate* dan *silica fume* berat beton menjadi semakin ringan, hal ini disebabkan oleh *silica fume* memiliki berat jenis yang lebih rendah dibandingkan semen begitupula dengan *waste glass aggregate* memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan agregat kasar.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penambahan variasi *silica fume* 0% dengan kadar *waste glass aggregate* 2,5%, 7,5%, dan 12,5% guna mengetahui perbandingan hasil berat beton, hasil uji kuat tekan dan hasil uji permeabilitas.
2. Pada proses pencetakan benda uji di *bekisting* sebaiknya permukaan di atasnya diratakan agar dapat menjaga keakuratan data yang dihasilkan.
3. Untuk penelitian selanjutnya harus lebih memperhatikan tekstur dan kekuatan dari *waste glass aggregate* agar diperoleh hasil yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 522R-10. 2010. *Pervious Concrete*. USA: American Concrete Institute.
- ASTM C 494, 2004. *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 136, 2014. *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 127, 2015. *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 29, 2016. *Standard Test Method of Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 33, 2003. *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete*, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.
- Silica Fume Association. 2005. *Silica Fume User's Manual*. Virginia: U.S. Dept of Transportation.
- Aoki, Yukari. 2009. *Development of Pervious Concrete*. A Thesis Submitted to Fulfilment of The Requirements for The Degree of Master of Engineering. Sydney : University of Technology.
- Mann, Allen, Daniel. 2012. The Effect of Utilizing Silica Fume in Portland Cement Pervious Concrete. *A Thesis in Civil Engineering*. Kansas : University of Missouri.
- Sonebi, Mohammed., Bassuoni, Mohamed., dan Yahla, Ammar. 2016. Pervious Concrete : Mix Design, Properties and Applications. *A Journal of Civil Engineering*. Rilem Technical Letters.
- Eme D.B., dan Ekwulo E.O., 2018. Effect of Crushed Glass as Coarse Aggregate for Concrete Pavement. *American Journal of Engineering Research (AJER)*
- Talsania, Er. Siddharth., Pitroda, Jayeshkumar., dan Vyas, Chetna Mukeshkumar. 2015. A Review Of Pervious Concrete By Using Various Industrial Waste Materials. *Journal Of International Academic For Multidiciplinary*.

Obla, H., Kartihik. 2007. Pervious Concrete for Sustainable Development. *A Journal of Civil Engineering*. Maryland : Research and Materials Engineering Silver Spring.

Srivastava, Vikas., Gautam, S.P., Agarwal, dan V.C., Mehta, P.K. 2014. Glass Wastes as Coarse Aggregate in Concrete. *Journal Enviromental Nanotechnology*.

Navada, Karthik., BM, Mithun., dan Marathe, Shriram. 2018. Pervious Concrete for Transportation Application. *International Research Jorunal Of Engineering and Technology (IRJET)*.

Al-Shafi'i, Nagham Tariq., Al-Busaltan, Shakir Falih., dan Abdulwahid, Ali Adnan. 2018. Experimental Study On Properties Of Pervious Concrete Pavment Comprising Sustainable Materials. *Journal Of Engineering and Sustainable Development*.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil pengujian kuat tekan *pervious concrete* umur 7 hari

Kode	Kuat Tekan Beton (MPa)			Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
SF ₀ WG ₀	5,723	5,405	6,161	5,763
SF ₁₀ WG _{2,5}	6,677	7,101	7,247	7,008
SF ₁₀ WG _{7,5}	7,101	7,711	8,214	7,675
SF ₁₀ WG _{12,5}	6,942	6,333	6,651	6,642
SF ₁₅ WG _{2,5}	7,472	7,234	7,432	7,379
SF ₁₅ WG _{7,5}	8,810	8,373	8,691	8,625
SF ₁₅ WG _{12,5}	5,803	6,028	5,326	5,719
SF ₂₀ WG _{2,5}	9,618	9,764	9,314	9,565
SF ₂₀ WG _{7,5}	6,810	6,982	7,154	6,982
SF ₂₀ WG _{12,5}	4,650	4,995	4,557	4,734

Lampiran 2. Hasil pengujian kuat tekan *pervious concrete* umur 14 hari

Kode	Kuat Tekan Beton (MPa)			Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
SF ₀ WG ₀	6,439	6,863	5,657	6,319
SF ₁₀ WG _{2,5}	8,055	8,360	8,254	8,223
SF ₁₀ WG _{7,5}	8,691	8,320	8,956	8,656
SF ₁₀ WG _{12,5}	7,459	7,167	7,207	7,278
SF ₁₅ WG _{2,5}	8,545	8,916	8,241	8,567
SF ₁₅ WG _{7,5}	9,274	8,996	9,698	9,322
SF ₁₅ WG _{12,5}	5,631	6,518	6,055	6,068
SF ₂₀ WG _{2,5}	11,168	10,797	10,691	10,886
SF ₂₀ WG _{7,5}	8,280	8,373	7,830	8,161
SF ₂₀ WG _{12,5}	5,525	5,207	4,928	5,220

Lampiran 3. Hasil pengujian kuat tekan *pervious concrete* umur 28 hari

Kode	Kuat Tekan Beton (MPa)			Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
SF ₀ WG ₀	6,598	7,101	6,929	6,876
SF ₁₀ WG _{2,5}	8,784	9,075	8,572	8,810
SF ₁₀ WG _{7,5}	9,420	9,764	9,327	9,504
SF ₁₀ WG _{12,5}	8,015	7,711	8,082	7,936
SF ₁₅ WG _{2,5}	9,353	9,764	9,605	9,574
SF ₁₅ WG _{7,5}	10,506	10,532	10,254	10,431
SF ₁₅ WG _{12,5}	6,783	7,128	6,558	6,823
SF ₂₀ WG _{2,5}	11,632	11,327	11,685	11,548
SF ₂₀ WG _{7,5}	10,042	9,300	9,592	9,645
SF ₂₀ WG _{12,5}	6,960	6,439	6,253	6,461

Lampiran 4. Hasil pengujian berat jenis *pervious concrete* umur 28 hari

Kode	Kuat Tekan Beton (MPa)			Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
SF ₀ WG ₀	1867,516	1830,573	1824,841	1840,977
SF ₁₀ WG _{2,5}	1784,713	1824,204	1775,796	1794,904
SF ₁₀ WG _{7,5}	1716,561	1745,86	1743,949	1735,456
SF ₁₀ WG _{12,5}	1664,958	1668,153	1672,611	1668,577
SF ₁₅ WG _{2,5}	1798,726	1775,159	1745,86	1773,248
SF ₁₅ WG _{7,5}	1721,656	1714,65	1712,102	1716,136
SF ₁₅ WG _{12,5}	1667,516	1645,223	1650,318	1654,352
SF ₂₀ WG _{2,5}	1772,611	1754,14	1738,854	1755,202
SF ₂₀ WG _{7,5}	1688,535	1684,076	1703,822	1692,144
SF ₂₀ WG _{12,5}	1615,287	1635,032	1646,497	1632,272

Lampiran 5. Hasil pengujian permeabilitas *pervious concrete* umur 28 hari

Kode	Permeabilitas (cm/s)			Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
SF ₀ WG ₀	1,36	1,40	1,46	1,41
SF ₁₀ WG _{2,5}	0,89	0,86	0,84	0,86
SF ₁₀ WG _{7,5}	0,77	0,81	0,78	0,78
SF ₁₀ WG _{12,5}	0,87	0,94	0,97	0,93
SF ₁₅ WG _{2,5}	0,82	0,79	0,84	0,82
SF ₁₅ WG _{7,5}	0,75	0,74	0,77	0,75
SF ₁₅ WG _{12,5}	1,07	1,05	1,06	1,06
SF ₂₀ WG _{2,5}	0,70	0,75	0,72	0,73
SF ₂₀ WG _{7,5}	0,82	0,78	0,80	0,80
SF ₂₀ WG _{12,5}	1,04	1,10	1,15	1,10

Lampiran 6. Hasil Pengujian *Silica Fume*
(Data Teknis Sika Fume®, PT. Sika Indonesia)

Bahan Kimia	Komposisi
SiO ₂	93.0% min
CaO	0.60% max
Fe ₂ O ₃	0.80 % max
K ₂ O	1.2% max
MgO	0.60% max
Al ₂ O ₃	0.40% max
Na ₂ O	0.20% max
Free CaO	2.0% max
SO ₃	0.40% max
LOI	3.5% max

Lampiran 7. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil
<i>Apparent specific gravity</i>	2,72
<i>Bulk specific gravity (SSD)</i>	2,65
<i>Bulk specific gravity (kering)</i>	2,61
Persentase penyerapan air (%)	1,01%
Kadar air (%)	3,34%
Kadar Lumpur	0,61%
Berat volume padat	1451,52 kg/m ³
Berat volume gembur	1396,97 kg/m ³

Lampiran 8. Komposisi Campuran

Kode	% SF	% WGA	Semen (Kg/m ³)	SF (Kg/m ³)	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Air (Kg/m ³)	WGA (Kg/m ³)	SP (Kg/m ³)
SF ₀ ,G ₀	0	0	373,6	0	1980,8	119,5	0	0
SF ₁₀ ,WG _{2,5}	10	2,5	336,2	37,4	1918,3	117,8	49,2	1,7
SF ₁₀ ,WG _{7,5}	10	7,5	336,2	37,4	1820,0	117,8	147,6	1,7
SF ₁₀ ,WG _{12,5}	10	12,5	336,2	37,4	1721,6	117,8	245,9	1,7
SF ₁₅ ,WG _{2,5}	15	2,5	317,5	56,0	1911,8	117,9	49,0	1,6
SF ₁₅ ,WG _{7,5}	15	7,5	317,5	56,0	1813,8	117,9	147,1	1,6
SF ₁₅ ,WG _{12,5}	15	12,5	317,5	56,0	1715,8	117,9	245,1	1,6
SF ₂₀ ,WG _{2,5}	20	2,5	298,9	74,7	1905,4	118,0	48,9	1,5
SF ₂₀ ,WG _{7,5}	20	7,5	298,9	74,7	1807,6	118,0	146,6	1,5
SF ₂₀ ,WG _{12,5}	20	12,5	298,9	74,7	1709,9	118,0	244,3	1,5

Dengan mengacu pada standar ACI 522R (2010) pada tabel 2.7. mengenai rentang proporsi semen yaitu berkisar antara 270 kg/m³ - 415 kg/m³, dan untuk rasio air semen (*w/c*) berkisar antara 0,27-0,34. Sehingga dari kisaran antara semen dan rasio air semen tersebut dilakukan interpolasi agar mendapatkan berat semen yang akan digunakan dalam campuran *pervious concrete*. Adapun penjabarannya sebagai berikut :

1. Interpolasi untuk mendapatkan berat semen ($w/c=0,32$)

Terlebih dahulu menetapkan kisaran w/c yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan w/c yaitu 0,32. Selanjutnya dilakukan interpolasi untuk mendapatkan berat semen yaitu sebagai berikut :

$$\begin{array}{ll} \text{Diketahui :} & X_1 = 415 \qquad Y = 0,32 \\ & X_2 = 270 \qquad Y_1 = 0,34 \\ & X = ? \qquad Y_2 = 0,27 \end{array}$$

Penyelesaian :

$$\frac{X - X_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} \longrightarrow X = X_1 + \frac{(X_2 - X_1) \times (Y - Y_1)}{Y_2 - Y_1}$$

$$X = 415 + \frac{(270 - 415) \times (0,32 - 0,34)}{0,27 - 0,34} = 373,6$$

Maka, didapat berat semen yaitu sebesar 373,5714 kg/m³

2. Perhitungan Berat Air Normal

$$\text{Diketahui : } \frac{w}{c} = 0,32, \text{ dengan berat semen } 373,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Maka, } \frac{w}{373,6} = 0,32 \longrightarrow \text{didapat } w = 119,5$$

Sehingga didapat berat air normal yaitu sebesar 119,5 kg/m³.

3. Perhitungan Berat Semen dan *Silica Fume*

a. Substitusi 90% semen dan substitusi 10% *silica fume*

Untuk mendapatkan berat *silica fume* yaitu berat semen dikalikan dengan persentase *silica fume*.

$$\begin{array}{ll} \text{Berat semen awal (100\%)} & = 373,5714 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Berat } \textit{silica fume} \text{ (10\%)} & = 373,5714 \times 10\% = 37,3571 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Berat semen yang digunakan (90\%)} & = 373,5714 - 37,3571 \\ & = 336,2143 \text{ kg/m}^3 \end{array}$$

b. Substitusi 85% semen dan substitusi 15% *silica fume*

$$\text{Berat semen awal (100\%)} = 373,5714 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat silica fume (15\%)} = 373,5714 \times 15\% = 56,0357 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat semen yang digunakan (85\%)} &= 373,5714 - 56,0357 \\ &= 317,5357 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

c. Substitusi 80% semen dan substitusi 20% silica fume

$$\text{Berat semen awal (100\%)} = 373,5714 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat silica fume (20\%)} = 373,5714 \times 20\% = 74,714 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat semen yang digunakan (80\%)} &= 373,5714 - 74,714 \\ &= 298,857 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Berat Agregat Kasar dan Waste Glass Aggregate

Untuk mendapatkan berat agregat kasar dan waste glass aggregate yaitu volume $1\text{m}^3 - (\text{volume semen} + \text{volume silica fume} + \text{volume air})$. Adapun Penjabaran perhitungan berat agregat kasar dan waste glass aggregate sebagai berikut :

➤ Berat Jenis berdasarkan komposisi bahan :

- Air = 1000 kg/m^3
- Semen = 3150 kg/m^3
- Silica Fume = 2200 kg/m^3
- Agregat Kasar = 2600 kg/m^3

a. Penjabaran perhitungan silica fume 0% dan waste glass aggregate 0%

$$\text{Volume} = \text{Berat} / \text{Berat Jenis}$$

$$\text{Volume semen} = 373,571 \text{ kg} / 3150 \text{ kg/m}^3 = 0,11859 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume air} = 119,543 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0,11954 \text{ m}^3$$

$$\bullet \text{ Maka, Total Volume} = 0,11859 \text{ m}^3 + 0,11954 \text{ m}^3 = 0,23813 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume agregat kasar (100\%)} = 1\text{m}^3 - 0,23813 \text{ m}^3 = 0,76187 \text{ m}^3$$

$$\bullet \text{ Kontrol volume komposisi} = (1 \text{ m}^3)$$

$$= \text{Volume semen} + \text{Volume air} + \text{Volume agregat kasar}$$

$$= 0,23813 \text{ m}^3 + 0,76187 \text{ m}^3 = 1\text{m}^3 \text{ (Ok)}$$

• Sehingga, didapat komposisi berat agregat kasar dan waste glass aggregate yang digunakan sebagai berikut :

$$\text{Berat} = \text{Volume} \times \text{berat jenis}$$

$$\text{Berat agregat kasar (100 \%)} = 0,76187 \text{ m}^3 \times 2600 \text{ kg/m}^3 = 1980,8 \text{ kg}$$

b. Penjabaran perhitungan *silica fume* 10% dan *waste glass aggregate* 2,5%

Volume = Berat / Berat Jenis

Volume semen = $336,214 \text{ kg} / 3150 \text{ kg/m}^3 = 0,10673 \text{ m}^3$

Volume *silica fume* = $37,357 \text{ kg} / 2200 \text{ kg/m}^3 = 0,01698 \text{ m}^3$

Volume air = $119,543 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0,119543 \text{ m}^3$

• Maka, Total Volume = $0,10673 + 0,01698 + 0,119543 = 0,24326 \text{ m}^3$

Volume agregat kasar awal (100%) = $1 \text{ m}^3 - 0,24326 \text{ m}^3$
 $= 0,75674 \text{ m}^3$

Volume agregat kasar yg digunakan (97,5%) = $0,75674 \text{ m}^3 \times 0,975$
 $= 0,73782 \text{ m}^3$

Volume *waste glass aggregate* (2,5%) = $0,75674 \text{ m}^3 \times 0,025$
 $= 0,01829 \text{ m}^3$

• Kontrol volume komposisi = (1 m^3)

= Volume semen + Volume *silica fume* + Volume air + Volume agregat kasar + Volume *waste glass aggregate*

= $0,24326 \text{ m}^3 + 0,73782 \text{ m}^3 + 0,01829 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3$ (Ok)

• Sehingga, didapat komposisi berat agregat kasar dan *waste glass aggregate* yang digunakan sebagai berikut :

Berat = Volume x berat jenis

Berat agregat kasar (97,5%) = $0,73782 \times 2600 = 1918,3 \text{ kg}$

Berat *waste glass aggregate* (2,5%) = $0,01892 \times 2600 = 49,2 \text{ kg}$

c. Penjabaran perhitungan *silica fume* 10% dan *waste glass aggregate* 7,5%

Volume = Berat / Berat Jenis

Volume semen = $336,214 \text{ kg} / 3150 \text{ kg/m}^3 = 0,10673 \text{ m}^3$

Volume *silica fume* = $37,357 \text{ kg} / 2200 \text{ kg/m}^3 = 0,01698 \text{ m}^3$

Volume air = $119,543 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0,119543 \text{ m}^3$

• Maka, Total Volume = $0,10673 + 0,01698 + 0,119543 = 0,24326 \text{ m}^3$

Volume agregat kasar awal (100%) = $1 \text{ m}^3 - 0,24326 \text{ m}^3$
 $= 0,75674 \text{ m}^3$

$$\begin{aligned}\text{Volume agregat kasar yg digunakan (92,5\%)} &= 0,75674 \text{ m}^3 \times 0,925 \\ &= 0,69999 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume waste glass aggregate (7,5\%)} &= 0,75674 \text{ m}^3 \times 0,075 \\ &= 0,05676 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- Kontrol volume komposisi = (1 m³)

$$\begin{aligned}&= \text{Volume semen} + \text{Volume silica fume} + \text{Volume air} + \text{Volume agregat kasar} \\ &\quad + \text{Volume waste glass aggregate}\end{aligned}$$

$$= 0,24326 \text{ m}^3 + 0,69999 \text{ m}^3 + 0,05676 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3 \text{ (Ok)}$$

- Sehingga, didapat komposisi berat agregat kasar dan waste glass aggregate yang digunakan sebagai berikut :

$$\text{Berat} = \text{Volume} \times \text{berat jenis}$$

$$\text{Berat agregat kasar (92,5\%)} = 0,69999 \times 2600 = 1820,0 \text{ kg}$$

$$\text{Berat waste glass aggregate (7,5\%)} = 0,05676 \times 2600 = 147,6 \text{ kg}$$

d. Penjabaran perhitungan silica fume 10% dan waste glass aggregate 12,5%

$$\text{Volume} = \text{Berat} / \text{Berat Jenis}$$

$$\text{Volume semen} = 336,214 \text{ kg} / 3150 \text{ kg/m}^3 = 0,10673 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume silica fume} = 37,357 \text{ kg} / 2200 \text{ kg/m}^3 = 0,01698 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume air} = 119,543 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0,119543 \text{ m}^3$$

- Maka, Total Volume = 0,10673 + 0,01698 + 0,119543 = 0,24326 m³

$$\begin{aligned}\text{Volume agregat kasar awal (100\%)} &= 1 \text{ m}^3 - 0,24326 \text{ m}^3 \\ &= 0,75674 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume agregat kasar yg digunakan (87,5\%)} &= 0,75674 \text{ m}^3 \times 0,875 \\ &= 0,66215 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume waste glass aggregate (12,5\%)} &= 0,75674 \text{ m}^3 \times 0,125 \\ &= 0,09459 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- Kontrol volume komposisi = (1 m³)

$$\begin{aligned}&= \text{Volume semen} + \text{Volume silica fume} + \text{Volume air} + \text{Volume agregat kasar} \\ &\quad + \text{Volume waste glass aggregate}\end{aligned}$$

$$= 0,24326 \text{ m}^3 + 0,66215 \text{ m}^3 + 0,09459 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3 \text{ (Ok)}$$

- Sehingga, didapat komposisi berat agregat kasar dan *waste glass aggregate* yang digunakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Berat} &= \text{Volume} \times \text{berat jenis} \\ \text{Berat agregat kasar (87,5\%)} &= 0,66215 \times 2600 = 1721,6 \text{ kg} \\ \text{Berat } \textit{waste glass aggregate} \text{ (12,5\%)} &= 0,09459 \times 2600 = 245,9 \text{ kg}\end{aligned}$$

e. Penjabaran perhitungan *silica fume* 15% dan *waste glass aggregate* 2,5%

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \text{Berat} / \text{Berat Jenis} \\ \text{Volume semen} &= 317,535 \text{ kg} / 3150 \text{ kg/m}^3 = 0,1008 \text{ m}^3 \\ \text{Volume } \textit{silica fume} &= 56,036 \text{ kg} / 2200 \text{ kg/m}^3 = 0,02547 \text{ m}^3 \\ \text{Volume air} &= 119,543 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0,11954 \text{ m}^3 \\ \bullet \text{ Maka, Total Volume} &= 0,1008 + 0,0255 + 0,1195 = 0,24582 \text{ m}^3 \\ \text{Volume agregat kasar awal (100\%)} &= 1 \text{ m}^3 - 0,24582 \text{ m}^3 \\ &= 0,75418 \text{ m}^3 \\ \text{Volume Agregat kasar yg digunakan (97,5\%)} &= 0,75418 \text{ m}^3 \times 0,975 \\ &= 0,73533 \text{ m}^3 \\ \text{Volume } \textit{waste glass aggregate} \text{ (2,5\%)} &= 0,75418 \text{ m}^3 \times 0,025 \\ &= 0,01885 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- Kontrol volume komposisi = (1 m³)

$$= \text{Volume semen} + \text{Volume } \textit{silica fume} + \text{Volume air} + \text{Volume agregat kasar} + \text{Volume } \textit{waste glass aggregate}$$

$$= 0,24582 \text{ m}^3 + 0,7353 \text{ m}^3 + 0,0189 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3 \text{ (Ok)}$$

- Sehingga, didapat komposisi berat agregat kasar dan *waste glass aggregate* yang digunakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Berat} &= \text{Volume} \times \text{berat jenis} \\ \text{Berat agregat kasar (97,5\%)} &= 0,73533 \times 2600 = 1911,8 \text{ kg} \\ \text{Berat agregat kaca (2,5\%)} &= 0,01885 \times 2600 = 49,0 \text{ kg}\end{aligned}$$

f. Penjabaran perhitungan *silica fume* 15% dan *waste glass aggregate* 7,5%

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \text{Berat} / \text{Berat Jenis} \\ \text{Volume semen} &= 317,535 \text{ kg} / 3150 \text{ kg/m}^3 = 0,1008 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Volume silica fume} = 56,036 \text{ kg} / 2200 \text{ kg m}^3 = 0,02547 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume air} = 119,543 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0,11954 \text{ m}^3$$

$$\bullet \text{ Maka, Total Volume} = 0,1008 + 0,0255 + 0,1195 = 0,24582 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume agregat kasar awal (100\%)} &= 1 \text{ m}^3 - 0,24582 \text{ m}^3 \\ &= 0,75418 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume agregat kasar yg digunakan (92,5\%)} &= 0,75418 \text{ m}^3 \times 0,925 \\ &= 0,69762 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume waste glass aggregate (7,5\%)} &= 0,75418 \text{ m}^3 \times 0,075 \\ &= 0,05656 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\bullet \text{ Kontrol volume komposisi} = (1 \text{ m}^3)$$

$$\begin{aligned} &= \text{Volume semen} + \text{Volume silica fume} + \text{Volume air} + \text{Volume agregat} \\ &\quad \text{kasar} + \text{Volume waste glass aggregate} \\ &= 0,24582 \text{ m}^3 + 0,69762 \text{ m}^3 + 0,05656 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3 \text{ (Ok)} \end{aligned}$$

• Sehingga, didapat komposisi berat agregat kasar dan waste glass aggregate yang digunakan sebagai berikut :

$$\text{Berat} = \text{Volume} \times \text{berat jenis}$$

$$\text{Berat agregat kasar (92,5\%)} = 0,69762 \times 2600 = 1813,8 \text{ kg}$$

$$\text{Berat agregat kaca (7,5\%)} = 0,05656 \times 2600 = 147,1 \text{ kg}$$

g. Penjabaran perhitungan silica fume 15% dan waste glass aggregate 12,5%

$$\text{Volume} = \text{Berat} / \text{Berat Jenis}$$

$$\text{Volume semen} = 317,535 \text{ kg} / 3150 \text{ kg/m}^3 = 0,1008 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume silica fume} = 56,036 \text{ kg} / 2200 \text{ kg/m}^3 = 0,02547 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume air} = 119,543 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0,11954 \text{ m}^3$$

$$\bullet \text{ Maka, Total Volume} = 0,1008 + 0,0255 + 0,1195 = 0,24582 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume agregat kasar awal (100\%)} &= 1 \text{ m}^3 - 0,24582 \text{ m}^3 \\ &= 0,75418 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume agregat kasar yg digunakan (87,5\%)} &= 0,75418 \text{ m}^3 \times 0,875 \\ &= 0,65991 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume waste glass aggregate (12,5\%)} &= 0,75418 \text{ m}^3 \times 0,125 \\ &= 0,09427 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Kontrol volume komposisi = (1 m³)
 = Volume semen + Volume *silica fume* + Volume air + Volume agregat kasar + Volume *waste glass aggregate*
 = 0,24582 m³ + 0,65991 m³ + 0,09427 m³ = 1m³ (Ok)
- Sehingga, didapat komposisi berat agregat kasar dan *waste glass aggregate* yang digunakan sebagai berikut :
 Berat = Volume x berat jenis
 Berat agregat kasar (87,5%) = 0,65991 x 2600 = 1715,8 kg
 Berat agregat kaca (12,5 %) = 0,09427 x 2600 = 245,1 kg

h. Penjabaran perhitungan *silica fume* 20% dan *waste glass aggregate* 2,5%

- Volume = Berat / Berat Jenis
 Volume semen = 298,857 kg / 3150 kg/m³ = 0,09488 m³
 Volume *silica fume* = 74,714 kg / 2200 kg/m³ = 0,03396 m³
 Volume air = 119,543 kg / 1000 kg/m³ = 0,11954 m³
- Maka, Total Volume = 0,09488 + 0,03396 + 0,11954 = 0,24838 m³
 Volume agregat kasar awal (100%) = 1m³ - 0,24838 m³
 = 0,75162 m³
 Volume agregat kasar yg digunakan (97,5%) = 0,75162 m³ x 0,975
 = 0,73283 m³
 Volume *waste glass aggregate* (2,5%) = 0,75162 m³ x 0,025
 = 0,01879 m³
- Kontrol volume komposisi = (1 m³)
 = Volume semen + Volume *silica fume* + Volume air + Volume agregat kasar + Volume *waste glass aggregate*
 = 0,24838 m³ + 0,73283 m³ + 0,01879 m³ = 1m³ (Ok)
- Sehingga, didapat komposisi berat agregat kasar dan *waste glass aggregate* yang digunakan sebagai berikut :
 Berat = Volume x berat jenis
 Berat agregat kasar (97,5%) = 0,73283 x 2600 = 1905,4 kg
 Berat agregat kaca (2,5%) = 0,01879 x 2600 = 48,9 kg

i. Penjabaran perhitungan *silica fume* 20% dan *waste glass aggregate* 7,5%

Volume = Berat / Berat Jenis

Volume semen = $298,857 \text{ kg} / 3150 \text{ kg/m}^3 = 0,09488 \text{ m}^3$

Volume *silica fume* = $74,714 \text{ kg} / 2200 \text{ kg/m}^3 = 0,03396 \text{ m}^3$

Volume air = $119,543 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0,11954 \text{ m}^3$

• Maka, Total Volume = $0,09488 + 0,03396 + 0,1195 = 0,24838 \text{ m}^3$

Volume agregat kasar awal (100%) = $1 \text{ m}^3 - 0,24838 \text{ m}^3$
 $= 0,75162 \text{ m}^3$

Volume agregat kasar yg digunakan (92,5%) = $0,75162 \text{ m}^3 \times 0,925$
 $= 0,69525 \text{ m}^3$

Volume *waste glass aggregate* (7,5%) = $0,75162 \text{ m}^3 \times 0,075$
 $= 0,05637 \text{ m}^3$

• Kontrol volume komposisi = (1 m^3)

= Volume semen + Volume *silica fume* + Volume air + Volume agregat kasar + Volume *waste glass aggregate*

= $0,24838 \text{ m}^3 + 0,69525 \text{ m}^3 + 0,05637 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3$ (Ok)

• Sehingga, didapat komposisi berat agregat kasar dan *waste glass aggregate* yang digunakan sebagai berikut :

Berat = Volume x berat jenis

Berat agregat kasar (92,5%) = $0,69525 \times 2600 = 1807,65 \text{ kg}$

Berat agregat kaca (7,5%) = $0,05637 \times 2600 = 146,6 \text{ kg}$

j. Penjabaran perhitungan *silica fume* 20% dan *waste glass aggregate* 7,5%

Volume = Berat / Berat Jenis

Volume semen = $298,857 \text{ kg} / 3150 \text{ kg/m}^3 = 0,09488 \text{ m}^3$

Volume *silica fume* = $74,714 \text{ kg} / 2200 \text{ kg/m}^3 = 0,03396 \text{ m}^3$

Volume air = $119,543 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0,11954 \text{ m}^3$

• Maka, Total Volume = $0,09488 + 0,03396 + 0,1195 = 0,24838 \text{ m}^3$

Volume agregat kasar awal (100%) = $1 \text{ m}^3 - 0,24838 \text{ m}^3$
 $= 0,75162 \text{ m}^3$

$$\begin{aligned}\text{Volume agregat kasar yg digunakan (87,5\%)} &= 0,75162 \text{ m}^3 \times 0,875 \\ &= 0,65767 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume waste glass aggregate (12,5\%)} &= 0,75162 \text{ m}^3 \times 0,125 \\ &= 0,09395 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- Kontrol volume komposisi = (1 m³)

$$\begin{aligned}&= \text{Volume semen} + \text{Volume silica fume} + \text{Volume air} + \text{Volume agregat} \\ &\quad \text{kasar} + \text{Volume waste glass aggregate}\end{aligned}$$

$$= 0,24838 \text{ m}^3 + 0,65767 \text{ m}^3 + 0,09395 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3 \text{ (Ok)}$$

- Sehingga, didapat komposisi berat agregat kasar dan waste glass aggregate yang digunakan sebagai berikut :

$$\text{Berat} = \text{Volume} \times \text{berat jenis}$$

$$\text{Berat agregat kasar (87,5\%)} = 0,65767 \times 2600 = 1709,9 \text{ kg}$$

$$\text{Berat waste glass aggregate (12,5 \%)} = 0,09395 \times 2600 = 244,3 \text{ kg}$$

5. Perhitungan Berat Superplasticizer dan Air

Superplasticizer yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0,5%. Untuk mendapatkan berat *superplasticizer* yaitu mengkalikan dengan berat semen.

- Berat air = 119,543 kg

- Berat semen setiap variasi

SF ₀ WG ₀	=	373,6
SF ₁₀ WG _{2,5}	=	336,214
SF ₁₀ WG _{7,5}	=	336,214
SF ₁₀ WG _{12,5}	=	336,214
SF ₁₅ WG _{2,5}	=	317,536
SF ₁₅ WG _{7,5}	=	317,536
SF ₁₅ WG _{12,5}	=	317,536
SF ₂₀ WG _{2,5}	=	298,857
SF ₂₀ WG _{7,5}	=	298,857
SF ₂₀ WG _{12,5}	=	298,857

- Berat *superplasticizer* = (berat semen x 0,5%)

SF ₁₀ WG _{2,5}	=	(336,2 x 0,5%) = 1,68
SF ₁₀ WG _{7,5}	=	(336,2 x 0,5%) = 1,68
SF ₁₀ WG _{12,5}	=	(336,2 x 0,5%) = 1,68
SF ₁₅ WG _{2,5}	=	(317,5 x 0,5%) = 1,59

$$\begin{aligned}
 SF_{15}WG_{7,5} &= (317,5 \times 0,5\%) = 1,59 \\
 SF_{15}WG_{12,5} &= (317,5 \times 0,5\%) = 1,59 \\
 SF_{20}WG_{2,5} &= (298,9 \times 0,5\%) = 1,49 \\
 SF_{20}WG_{7,5} &= (298,9 \times 0,5\%) = 1,49 \\
 SF_{20}WG_{12,5} &= (298,9 \times 0,5\%) = 1,49
 \end{aligned}$$

- Berat air setiap variasi = berat air campuran normal – *berat superplasticizer*

$$\begin{aligned}
 SF_{10}WG_{2,5} &= 119,5 - 1,68 = 117,8 \\
 SF_{10}WG_{7,5} &= 119,5 - 1,68 = 117,8 \\
 SF_{10}WG_{12,5} &= 119,5 - 1,68 = 117,8 \\
 SF_{15}WG_{2,5} &= 119,5 - 1,59 = 117,9 \\
 SF_{15}WG_{7,5} &= 119,5 - 1,59 = 117,9 \\
 SF_{15}WG_{12,5} &= 119,5 - 1,59 = 117,9 \\
 SF_{20}WG_{2,5} &= 119,5 - 1,49 = 118,0 \\
 SF_{20}WG_{7,5} &= 119,5 - 1,49 = 118,0 \\
 SF_{20}WG_{12,5} &= 119,5 - 1,49 = 118,0
 \end{aligned}$$

6. Rekapitulasi Volume Material (m³)

KODE	% SF	% WGA	volume semen	volume silica fume	volume agregat kasar	volume air	volume agregat kaca	Total (m ³)
SF ₀ WG ₀	0	0	0,11859	0	0,76187	0,11954	0	1
SF ₁₀ WG _{2,5}	10	2,5	0,10673	0,01698	0,73782	0,11954	0,01892	1
SF ₁₀ WG _{7,5}	10	7,5	0,10673	0,01698	0,69999	0,11954	0,05676	1
SF ₁₀ WG _{12,5}	10	12,5	0,10673	0,01698	0,66215	0,11954	0,09459	1
SF ₁₅ WG _{2,5}	15	2,5	0,10080	0,02547	0,73533	0,11954	0,01885	1
SF ₁₅ WG _{7,5}	15	7,5	0,10080	0,02547	0,69762	0,11954	0,05656	1
SF ₁₅ WG _{12,5}	15	12,5	0,10080	0,02547	0,65991	0,11954	0,09427	1
SF ₂₀ WG _{2,5}	20	2,5	0,09488	0,03396	0,73283	0,11954	0,01879	1
SF ₂₀ WG _{7,5}	20	7,5	0,09488	0,03396	0,69525	0,11954	0,05637	1
SF ₂₀ WG _{12,5}	20	12,5	0,09488	0,03396	0,65767	0,11954	0,09395	1

Dapat disimpulkan bahwa dari tabel tersebut perbedaan antara berat agregat kasar dan *waste glass aggregate* dipengaruhi oleh persentase *waste glass aggregate* dan *silica fume* yang bervariasi.



KARTU ASISTENSI

NAMA : DEA PRATIWI
NIM : 03011181520047
DOSEN PEMBIMBING : IR. SUTANTO MULIAWAN, M.ENG.
JUDUL : PENGARUH VARIASI *SILICA FUME* DAN *WASTE GLASS AGGREGATE* PADA CAMPURAN *PERVIOUS CONCRETE* DENGAN *CURING*

NO	HARI/TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	15 - 4	Hasil pengujian hasil lab 15 - 4	A
2	20 - 4	Hasil pengujian hasil lab 20 - 4	A
3	22 - 4	Hasil pengujian hasil lab 22 - 4	A
4	27 - 4	Hasil pengujian hasil lab 27 - 4	A
5	29 - 4	Hasil pengujian hasil lab 29 - 4	A
6	30 - 4	Hasil pengujian hasil lab 30 - 4	A

Pengaruh Variasi Silica Fume Dan Waste Glass Aggregate Pada Campuran Pervious Concrete Dengan Curing

by Dea Pratiwi

Submission date: 30-Jul-2019 10:49AM (UTC+0700)

Submission ID: 1156135034

File name: Laporan_Tugas_Akhir-dikonversi_1.pdf (1.72M)

Word count: 13125

Character count: 72078

SKRIPSI

**¹
PENGARUH VARIASI *SILICA FUME* DAN *WASTE GLASS AGGREGATE* PADA CAMPURAN *PERVIOUS CONCRETE* DENGAN *CURING***



**DEA PRATIWI
03011181520047**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2019

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan zaman proses pembangunan dibidang konstruksi semakin hari kian meningkat sehingga terjadinya perubahan tata guna fungsi lahan hijau menjadi suatu daerah pembangunan. Dengan semakin minimnya lahan hijau akan menyebabkan berkurangnya daerah resapan air sehingga dapat memungkinkan terjadinya banjir. Maka dari itu diperlukan inovasi baru dalam pembangunan kualitas infrastruktur yang mempertimbangkan aspek berwawasan lingkungan sehingga tetap terjaganya keseimbangan alam dan memberikan daya guna yang tinggi.

Salah satu cara yang dapat dilakukan dalam bidang konstruksi untuk menyelesaikan masalah ini adalah merealisasikan infrastruktur lapisan perkerasan jalan dengan menggunakan material beton yaitu *Pervious Concrete*. *Pervious concrete* merupakan inovasi baru beton berongga yang memiliki keunikan bila dibandingkan dengan beton normal yang ada yaitu memiliki rongga-rongga yang dapat dilalui oleh air. Selain berfungsi sebagai komponen struktural pada lapisan perkerasan jalan *pervious concrete* ini juga dapat berfungsi sebagai drainase karena kemampuannya yang dapat menyerap air yang berada di permukaan.

Pervious concrete terdiri dari semen Portland, agregat kasar, sedikit atau tidak ada agregat halus, bahan tambahan (*admixture*), dan air. Kombinasi bahan ini ketika ditempatkan, dipadatkan dan dilakukan perawatan dengan benar, menghasilkan bahan dengan permeabilitas mulai dari 0,14 hingga 1,22 cm/s bersama dengan kuat tekan 2,8 hingga 28 MPa. Beton *pervious concrete* ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, meskipun penggunaan utamanya pada area trotoar yang berada di jalan perumahan, gang dan jalan masuk, area pertamanan, lahan parkir, lapangan tenis, stabilisasi lereng, sub-base untuk trotoar beton konvensional dll (Pitroda dkk, 2015). Dengan demikian dalam campuran *pervious concrete* diperlukan inovasi dan komposisi yang tepat untuk meningkatkan kuat tekan dan menghasilkan nilai permeabilitas yang memenuhi persyaratan.

Pervious concrete termasuk ke dalam jenis beton yang ringan karena komposisi bahannya tanpa menggunakan agregat halus sehingga dapat mengurangi berat sendiri dari beton tersebut. Pada penelitian ini memanfaatkan limbah botol kaca atau disebut sebagai *waste glass aggregate* (WGA) sebagai substitusi sebagian komposisi agregat kasar. Limbah botol kaca termasuk limbah yang tidak bisa terurai dan jika memiliki jumlah yang banyak dapat merusak lingkungan. Maka dari itu dengan memanfaatkan limbah kaca pada beton ini selain memberikan dampak positif terhadap lingkungan, limbah kaca pada beton dapat memiliki keunggulan yang tahan terhadap abrasi, cuaca atau serangan zat kimia (Fikriansyah dan Tanzil, 2013).

Adapun penggunaan bahan additif yang bersifat mineral yaitu berupa *silica fume*. *Silica fume* memiliki unsur silika yang sangat tinggi karena mengandung kadar SiO_2 yang mencapai 98% sehingga dapat digunakan sebagai alternatif substitusi semen yang dapat memperbaiki kinerja beton seperti meningkatkan kuat tekan, kuat lentur serta meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan unsur kimia dari *pervious concrete*.

Pada penelitian ini memanfaatkan *silica fume* pada campuran *pervious concrete* sebagai substitusi sebagian semen dan agregat limbah kaca (*waste glass aggregate*) sebagai substitusi sebagian agregat kasar. *Silica fume* dan *waste glass aggregate* diharapkan dapat memperbaiki kinerja dan karakteristik beton *pervious*. Selain itu juga diperlukannya perawatan (*Curing*) pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari guna menjaga beton dari kehilangan air semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete* serta menambah kuat tekan beton.

1.2. Rumusan Masalah

Berikut ini merupakan rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu diantaranya:

1. Bagaimana kadar optimum *silica fume* 0%, 10%, 15%, 20% sebagai substitusi semen dan *waste glass aggregate* 0%, 0.25%, 7.5%, 12.5% sebagai substitusi sebagian agregat kasar terhadap kuat tekan dan permeabilitas pada *pervious concrete* ?

2. Bagaimana pengaruh variasi *silica fume* dan *waste glass aggregate* terhadap kuat tekan umur 7, 14 dan 28 hari pada campuran *pervious concrete* dengan *curing* ?
3. Bagaimana pengaruh variasi *silica fume* dan *waste glass aggregate* terhadap permeabilitas umur 28 hari pada campuran *pervious concrete* dengan *curing* ?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini yakni, sebagai berikut:

1. Memahami dan menganalisis kadar optimum dengan variasi *silica fume* 0%, 10% , 15%, 20% sebagai substitusi semen dan *waste glass aggregate* 0%, 0.25%, 7.5%, 12.5% sebagai substitusi sebagian agregat kasar terhadap kuat tekan dan permeabilitas pada *pervious concrete*.
2. Memahami dan menganalisis pengaruh variasi *silica fume* dan *waste glass aggregate* terhadap kuat tekan umur 7, 14 dan 28 hari pada campuran *pervious concrete* dengan *curing*.
3. Memahami dan menganalisis pengaruh variasi *silica fume* dan *waste glass aggregate* terhadap permeabilitas umur 28 hari pada campuran *pervious concrete* dengan *curing*.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Berikut ini merupakan ruang lingkup penelitian mengenai pengaruh penambahan *silica fume* dan *waste glass aggregate* pada campuran *pervious concrete* adalah:

1. Rasio air semen yang digunakan adalah 0,32
2. Variasi persentase *silica fume* sebagai substitusi sebagian 0%, 10% , 15%, 20% sebagai substitusi sebagian semen
3. Variasi persentase penggunaan agregat kaca 0%, 0.25%, 7.5%, 12.5% sebagai substitusi sebagian agregat kasar
4. Pengujian beton segar meliputi *slump test*.
5. Benda Uji Silinder dengan ukuran bekisting 10 x 20 cm.

6. Standar yang digunakan dalam membuat benda uji berdasarkan *American Concrete Institute (ACI)*.
7. Standar yang digunakan dalam pengujian material berdasarkan *American Standard Testing and Material (ASTM)*.
8. Standar yang digunakan dalam kuat tekan benda uji berdasarkan *American Standard Testing and Material (ASTM)*.
9. Perawatan benda uji dengan cara merendam benda uji didalam bak air yang dijaga suhu kelembapannya.
10. Pengujian kuat tekan beton menggunakan alat pengujian kuat tekan pada umur 7, 14 dan 28 hari.
11. Pengujian permeabilitas pada campuran beton segar pada umur 28 hari menggunakan alat pengujian *Falling Head*.

1.5. Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini sumber pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan dua cara, yaitu:

1. Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari objek penelitian di laboratorium. Data primer pada penelitian ini adalah data hasil percobaan, pengamatan dan pengujian di laboratorium.

2. Data sekunder

Data sekunder pada penelitian ini adalah studi pustaka sebagai referensi yang berkaitan dengan pembahasan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan susunan atau tahapan dalam menulis suatu karya ilmiah. Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, metode pengumpulan data dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan kajian literatur dan membahas tentang landasan teori yang berasal dari pustaka dan literatur tentang definisi *pervious concrete*, bahan penyusun *pervious concrete*, karakteristik *pervious concrete*, komposisi campuran dan pengujian benda uji *pervious concrete* serta berisi penelitian terdahulu yang menjadi acuan berkaitan dengan penelitian ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai material dan alat yang digunakan, pelaksanaan penelitian meliputi pengujian material, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pengolahan data dan pembahasan berupa hasil pengujian *slump*, permeabilitas, dan kuat tekan umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini membahas kesimpulan yang diambil dari penelitian serta saran untuk perbaikan penelitian di masa yang datang.

DAFTAR PUSTAKA

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

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 membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan kataristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan (Mc.Cormac, 2004).

Secara Sederhana beton dibentuk oleh pengkerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah kerikil). Kadang- kadang ditambahkan campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton (Asroni, 2010).

Menurut Tjokrodinuljo (1996), macam-macam beton sebagai berikut:

a. Beton normal

Merupakan beton yang cukup berat, dengan Berat Volume 2400 kg/m^3 dengan nilai kuat tekan 15 – 40 MPa dan dapat menghantar panas.

b. Beton ringan

Merupakan beton dengan berat kurang dari 1800 kg/m^3 . Nilai kuat tekannya lebih kecil dari beton biasa dan kurang baik dalam menghantarkan panas.

c. Beton massa

Beton massa adalah beton yang dituang dalam volume besar yaitu perbandingan antara volume dan luas permukaannya besar. Biasanya dianggap beton massa jika dimensinya lebih dari 60 cm.

d. Beton bertulang

Beton biasa sangat lemah dengan gaya tarik, namun sangat kuat dengan gaya tekan, batang baja dapat dimasukkan pada bagian beton yang tertarik untuk membantu beton. Beton yang dimasuki batang baja pada bagian tariknya ini disebut beton bertulang.

e. **Beton prategang**

Jenis beton ini sama dengan beton bertulang, perbedaannya adalah batangnya baja yang dimasukkan ke dalam beton ditegangkan dahulu. batang baja ini tetap mempunyai tegangan sampai beton yang dituang mengeras. bagian balok beton ini walaupun menahan lenturan tidak akan terjadi retak.

f. **Beton pracetak**

Beton biasa dicetak /dituang di tempat. namun dapat pula dicetak di tempat lain. fungsinya di cetak di tempat lain agar memperoleh mutu yang lebih baik. selain itu dipakai jika tempat pembuatan beton sangat terbatas. sehingga sulit menyediakan tempat pencetakan perawatan betonnya.

g. **Beton serat**

Beton serat adalah beton komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Bahan serat dapat berupa serat asbes, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bamboo, ijuk), serat plastik (*polypropylene*) atau potongan kawat logam.

h. **Beton non pasir**

Beton non pasir adalah suatu bentuk sederhana dan jenis beton ringan yang diperoleh menghilangkan bagian halus agregat pada pembuatannya. Rongga dalam beton mencapai 20-25 %.

i. **Beton siklop**

Beton ini sama dengan beton biasa, bedanya digunakan agregat dengan ukuran besar-besar. Ukurannya bisa mencapai 20 cm. Namun, proporsi agregat yang lebih besar tidak boleh lebih dari 20 %.

j. **Beton hampa (*Vacuum Concrete*)**

Beton ini dibuat seperti beton biasa, namun setelah tercetak padat kemudian air sisa reaksi disedot dengan cara khusus, disebut cara *vakum* (*vacuum method*). Dengan demikian air yang tinggal hanyalah air yang dipakai sebagai reaksi dengan semen sehingga beton yang diperoleh sangat kuat.

k. Mortar

Mortar sering disebut juga mortel atau spesi ialah adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat, kapur dan semen portland.

2.2. ¹ *Pervious Concrete*

Pervious concrete adalah salah satu jenis beton yang permukaannya dapat dilewati oleh air karena memiliki kadar pori yang tinggi atau disebut sebagai beton berongga. *Pervious concrete* termasuk ke dalam jenis beton yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Komposisi campuran beton ini terdiri dari semen Portland, agregat kasar, sedikit atau tidak ada agregat halus, bahan tambahan (*admixture*), dan air. Kombinasi bahan ini ketika ditempatkan, dipadatkan dan dilakukan perawatan dengan benar, menghasilkan bahan dengan permeabilitas yang tinggi dari 81-730 L/min/m² bersama dengan kuat tekan 2,8 hingga 28 MPa. Beton pervious ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, meskipun penggunaan utamanya pada area trotoar yang berada di jalan perumahan, gang, jalan masuk, jalan dengan volume lalu lintas rendah, area pertamanan, lahan parkir, lapangan tenis, stabilisasi lereng, sub-base untuk trotoar beton konvensional dll (Pitroda *et al*, 2015).



Gambar 2.1. *Pervious concrete* (Jj Harison, 2016)

Menurut ACI 522R (2010) tingkat kemerosotan (*slump*) pada *pervious concrete* mendekati nol. Jika dibandingkan dengan beton konvensional beton ini memiliki kuat tekan yang terbatas dengan berat unit yang lebih rendah (sekitar 70% dari beton konvensional) tetapi memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi

karena terdapat rongga-rongga sehingga air dapat mengalir kedalam beton dan dapat langsung menyerap kedalam tanah.

Pervious concrete memiliki kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihan dari *pervious concrete* adalah sebagai berikut (Aoki, 2009) :

1. Menurunkan kemungkinan adanya banjir, terutama pada area pemukiman.
2. Mengisi kembali air tanah yang telah digunakan.
3. Mengurangi genangan air di jalan.
4. Meningkatkan kualitas air melalui perkolasi.
5. Menyerap suara.
6. Menyerap panas.
7. Mendukung pertumbuhan vegetasi tanaman.

Kelemahan dari *pervious concrete* adalah sebagai berikut:

1. Kuat tekan yang rendah dengan porositas yang tinggi.
2. Memerlukan perawatan yang mahal.
3. Penggunaan yang terbatas karena kuat tekan yang masih lemah.

Penyumbatan yang terjadi pada beton *pervious* menjadi masalah yang sangat signifikan karena dapat menyebabkan penurunan permeabilitas beton dan juga menyebabkan penurunan dari kinerja beton itu sendiri sehingga dibutuhkan perbaikan dan perawatan secara berkala.

Akan tetapi, berdasarkan penelitian sebelumnya karakteristik *pervious concrete* dengan berbagai kecepatan antara ban dan jenis kendaraan, hasil menunjukkan bahwa *pervious concrete* dapat mengurangi kebisingan dari 3% sampai 10% dibandingkan dengan perkerasan aspal padat (Kajio *et al*, 1998). Perbedaan beton berpori dengan beton normal terletak pada :

- a. Penggunaan agregatnya dapat menggunakan agregat kasar saja atau dengan sedikit agregat halus.
- b. Setelah beton mengeras, rasio air semen (w/c) harus dijaga sedemikian rupa agar rongga-rongga yang terbentuk tidak tertutup oleh campuran pasta semen yang mengeras. Selain itu juga bertujuan agar butir-butir agregat dapat terikat kuat satu sama lain.

Beton berongga ini memiliki kinerja yang hampir sama seperti drainase yaitu sama-sama sebagai tempat menampung dan mengalirkan air. Ketika air

hujan turun langsung menyusup ke tanah pada daerah yang luas, sehingga memfasilitasi pengisian persediaan air tanah lokal. Perkerasan beton ini memudahkan pemindahan baik air dan udara ke sistem akar yang memungkinkan pohon tumbuh subur bahkan di daerah yang sangat maju.



Gambar 2.2. Lapisan Pada *Pervious Concrete* (Sonebi et al, 2016)

2.3. Material Penyusun

Adapun material penyusun *pervious concrete* yang terdiri dari semen *Portland*, agregat kasar, limbah agregat kaca sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan *admixture*. Uraian dari material penyusun *pervious concrete* adalah sebagai berikut:

2.3.1. Semen *Portland*

Semen *Portland* adalah bahan yang paling penting digunakan untuk semua jenis konstruksi dan telah diproduksi di seluruh dunia. Produksi semen global tahunan telah mencapai 2,8 miliar ton dan diperkirakan akan meningkat lebih dari 4 miliar ton / tahun karena pertumbuhan besar di berbagai negara, seperti China, India, Timur Tengah dan Afrika Utara (Jani dan Hogland, 2014). Bahan baku untuk produksi semen *Portland* adalah: Terdapat beberapa material penyusun semen *Portland* diantaranya kapur (CaO), silica (SiO_3), alumina (Al_2O_3), magnesia (MgO), dan alkali. Penggunaan semen *Portland* di Indonesia harus memenuhi syarat ASTM C-150 yang diadopsi dalam SII. 0013-81. Terdapat sembilan jenis semen *Portland* berdasarkan klasifikasi dan persyaratannya, yaitu sebagai berikut:

1. *Semen Portland tipe I*
Semen Portland tipe I adalah semen normal yang tidak memiliki karakteristik khusus terhadap panas hidrasi maupun kekuatan tekan awal yang tinggi.
2. *Semen Portland tipe II*
Semen Portland tipe II adalah semen yang digunakan pada campuran beton yang membutuhkan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang. Semen jenis ini sering diaplikasikan pada konstruksi beton di pantai, lepas pantai dan rawa.
3. *Semen Portland tipe III*
Semen Portland tipe III semen yang dalam penggunaannya memerlukan kuat tekan awal yang tinggi. Biasanya diaplikasikan pada bangunan tingkat tinggi dan bangunan air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap serangan sulfat.
4. *Semen Portland tipe IV*
Semen Portland tipe IV adalah semen yang menghasilkan panas hidrasi rendah, semen jenis ini sering diaplikasikan pada struktur beton masif seperti dam gravitasi besar.
5. *Semen Portland tipe V*
Semen Portland tipe V semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat tinggi ($>0,2\%$), contohnya pada beton untuk instalasi pengolahan limbah.
6. *SuperMansory Cement*
Super Mansory Cement adalah semen yang dalam penggunaannya hanya pada struktur beton dengan mutu maksimal K-225.
7. *Oil Well Cement, Class G-HSR (High Sulfate Resistance)*
Oil Well Cement adalah semen yang dalam penggunaannya untuk pembuatan sumur minyak dan gas alam untuk pemakaian pada kedalaman dan temperatur tertentu.
8. *Portland Composite Cement (PCC)*
Berdasarkan SNI-15-7064-2004 dan ASTM C 595-03 semen *Portland* komposit merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan dengan terak semen *portland* dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik dengan kadar total 6 - 35% .

9. Portland Pozzolan Cement (PPC)

Berdasarkan SNI-15-0302-2004 dan ASTM C 595-03 semen *pozzolan* merupakan campuran antara semen *Portland* dan *pozzolan* halus dalam semen hidrolis, dimana kadar *pozzolan* 6 - 40% massa semen *Portland pozzolan*.

2.3.2. Air

Air merupakan bahan dasar yang penting dalam pembuatan beton. Penggunaan air diperlukan agar dapat bereaksi dengan semen, serta menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat sehingga memudahkan dalam pengerjaan (*workability*) dan pemadatan.

Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih, tidak mengandung minyak, alkali, asam, zat organis atau bahan lain yang merusak kinerja beton. Air bereaksi dengan semen menghasilkan CSH dan CaOH. Kadar CaOH dapat merusak tulangan pada beton. Maka, untuk meminimalisir adanya kadar CaOH, air yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat tertentu. Berdasarkan ASTM C 1602 (2006) kriteria kandungan zat kimia yang terdapat dalam air dengan batasan tingkat konsentrasi tertentu dalam adukan beton, dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1. Batasan maksimum kandungan zat kimia dalam air (ASTM C1602, 2006)

No.	Kandungan unsur kimia	Konsentrasi maksimum (ppm)
	Chlorida (Cl ⁻):	
1.	Untuk beton prategang	500
	Untuk beton bertulang	1.000
2.	Sulfat (SO ₄)	3.000
3.	Alkali (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O)	600
4.	Total Solid	50.000

2.3.3. Agregat Kasar

Agregat sebagai material penyusun berfungsi sebagai pengisi dalam campuran beton. Menurut ACI 522R (2010) bahwa gradasi agregat yang digunakan dalam *pervious concrete* biasanya berupa agregat kasar berukuran tunggal antara gradasi 3/4inci dan 3/8 inci (19 dan 9,5 mm). Agregat bulat dan

hancur baik untuk dengan berat yang ringan dan normal untuk digunakan membuat beton *pervious*.

Menurut ASTM C33 dan PBI 1971 Bab 3.4 agregat kasar harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Kekerasan dari butir-butir agregat diperiksa dengan bejana penguji dari *Rudeloff*, atau dengan mesin pangaus *Los Angeles* dimana tidak boleh kehilangan berat lebih dari 50%.
2. Berat jenis (*specific Gravity*)
Pengujian berat jenis agregat kasar ditujukan untuk mendapatkan *Bulk specific gravity*, *Bulk specific gravity SSD*, *Apparent specific gravity* dan *Absorbtion*. Nilai *Bulk specific gravity SSD* agregat kasar yang disyaratkan 2,5-2,7 gr/cc.
3. Terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Kerikil yang berpori akan mudah menghasilkan beton yang mudah ditembus air. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai jika jumlah butirannya tidak melebihi 20% berat agregat seluruhnya.
4. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu.

Aoki (2009) mengemukakan bahwa beton *pervious* ini sangat sensitif dengan jumlah air yang di gunakan dalam pencampuran. Oleh karena itu, untuk menghindari kelebihan dan kekurangan air pada campuran *pervious concrete* penggunaan agregat kasar harus dalam keadaan SSD atau *saturated surface-dry condition* (Tennis et al, 2007). Dalam menentukan porositas sebagai karakteristik dari beton *pervious*, agregat halus dihindari atau digunakan dengan jumlah yang sangat sedikit.

2.3.4. Admixture

Bahan campuran tambahan (*admixture*) adalah bahan yang bukan air, agregat, maupun semen, yang ditambahkan ke dalam campuran beton sesaat atau selama pencampuran. Fungsi bahan campuran tambahan tersebut adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomis, atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi. Bahan tambah

pemercepat ditambahkan ke dalam campuran beton untuk mengurangi waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan. (Nawy, 1990). Bahan tambahan (*admixture*) pada beton terbagi menjadi 2 yaitu *chemical admixture* dan *mineral admixture* sebagai berikut :

2.3.4.1. Chemical Admixture

Mengacu pada klasifikasi ASTM C494-82, dikenal 7 jenis *chemical admixture* sebagai berikut :

a. Tipe A : *Water Reducer (WR)* atau *plasticizer*.

Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang digunakan. Dengan pemakaian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen yang sama.

b. Tipe B : *Retarder*

Bahan kimia untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini diperlukan apabila dibutuhkan waktu yang cukup lama antara pencampuran/pengadukan beton dengan penuangan adukan. Atau dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan cukup jauh.

c. Tipe C : *Accelerator*

Bahan kimia untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan dibawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan pengerasan segera.

d. Tipe D : *Water Reducer Retarder (WRR)*

Bahan kimia tambahan berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan.

e. Tipe E : *Water Reducer Accelerator*

Bahan kimia tambahan berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan.

f. Tipe F : *High Range Water Reducer (Superplasticizer)*

Bahan kimia yang berfungsi mengurangi air sampai 12 % atau bahkan lebih.

g. Tipe G : *High Range Water Reducer (HRWR)*

Bahan kimia tambahan berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

Penggunaan bahan tambah kimia pada *pervious concrete* sangat diperlukan untuk meningkatkan kuat tekan pada saat kondisi beton segar. Bahan tambah kimia tersebut berupa *superplasticizer*. Menurut ASTM C494 dan *British Standard 5075*, *Superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang kandungan air (*water-reducing admixture*) yang sangat efektif. Walaupun kandungan air dalam beton mengalami pengurangan, dengan bahan tambah ini tingkat kemudahan dalam pengerjaannya (*workability*) menjadi lebih tinggi. Dari hasil studi Lian et al. (2010) menyelidiki bahwa jika sejumlah kecil *superplasticizer* yang ditambahkan pada campuran yang mengandung *silica fume*, baik permeabilitas dan kuat tekan *pervious concrete* ditingkatkan.

2.3.4.2. Mineral Admixture

Bahan tambah mineral berfungsi untuk memperbaiki karakteristik dan sifat pada beton segar. Adapun contoh dari bahan tambahan mineral yang sering digunakan antara lain, *fly ash*, *silica fume*, dan *slag*.

Silica fume adalah hasil produksi sampingan dari pemurnian silika dengan batu bara di tanur listrik tinggi dalam pembuatan campuran silikon atau ferrosilikon (ACI 234R, 1996). Selain itu, *silica fume* adalah partikel kecil yang memiliki ukuran kurang dari 0,1 mikrometer. Ukurannya lebih kecil dari ukuran *Portland cement* pada umumnya, sehingga *silica fume* dapat mengisi ruang pada beton. *Silica fume* mengandung kadar SiO₂ yang tinggi dan merupakan bahan yang sangat halus, bentuk bulat dan berdiameter yang sangat kecil sekali yaitu 1/100 kali diameter semen (ACI, Committee, 1986 dan Modul Silica). Bahkan, *American Concrete Institute (ACI)* memperkirakan bahwa ketika semen diganti 15% *silica fume* dalam beton, ada sekitar 2.000.000 butir *silica fume* untuk setiap butir semen (*American Concrete Institute*, 1996). Sehingga *silica fume* dalam jumlah tertentu dapat menggantikan jumlah semen, selain itu juga karena *silica*

fume mempunyai diameter sangat kecil, maka *silica fume* dapat juga berperan sebagai pengisi diantara partikel-partikel semen.

Selama bertahun-tahun, *silica fume* (*smoke*) dibiarkan terbang di atmosfir. Sekarang, *silica fume* di tangkap agar tidak terbang ke atmosfir sehingga bisa dimanfaatkan (Holland, 2005). *Silica fume* bersifat amorf dan memiliki kandungan silika oksida yang sangat tinggi sekitar 85 - 98 % (Holland, 2005). Dengan adanya sifat amorf ini *silica fume* dapat bereaksi dengan sangat baik pada campuran beton. Kandungan SiO₂ dalam *silica fume* akan bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen pada saat proses pembentukan senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) yang berpengaruh dalam proses pengerasan semen.

Pemilihan penggunaan *silica fume* sebagai *mineral admixture* pada campuran beton memiliki keunggulan-keunggulan diantaranya sebagai berikut :

1. Meningkatkan kuat tekan beton;
2. Meningkatkan kuat lentur beton;
3. Memperbesar modulus elastisitas beton;
4. Mengecilkan regangan beton;
5. Meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan unsur kimia;
6. Mencegah reaksi *alkali silica* dalam beton;
7. Meningkatkan kepadatan (density) beton;
8. Meningkatkan ketahanan terhadap abrasi dan korosi;
9. Menyebabkan temperatur beton menjadi lebih rendah sehingga mencegah terjadinya retak pada beton

Berdasarkan spesifikasi dari *Silica Fume Association* (2005), sifat fisik *silica fume* dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Sifat-sifat fisik *silica fume* (*Silica Fume Association*, 2005)

Sifat	Spesifikasi
Ukuran butiran	< 1 μm
Berat volume produksi	130 – 430 kg/m ³
Berat volume dipadatkan	480 – 720 kg/m ³
Berat jenis	2,2
Luas permukaan	15.0 – 30.000 m ² /kg

¹ 2.4. Penelitian Terdahulu

2.4.1. Pemanfaatan *Waste Glass Agreggate* Sebagai Subtitusi Agregat pada *Pervious Concrete*

Kaca adalah campuran yang terdiri dari silika, soda dan kapur. Berdasarkan komposisi utama, kaca dapat diklasifikasikan ke dalam kategori berikut: silika vitreous, silikat alkali, gelas soda-kapur, gelas borosilikat, gelas barium, dan kaca aluminosilikat. Gelas soda-kapur terdiri dari kurang lebih 73% SiO₂, 13-13% Na₂O dan 10% CaO. Kaca terbentuk secara alami ketika batu tinggi di silikat meleleh pada suhu tinggi dan pada suhu rendah sebelum membentuk struktur Kristal (Bajad et al, 2016).

¹ Berdasarkan studi Fikkriansyah dan Tanzil (2013) mengemukakan bahwa dengan bahan mentah yang berlimpah dan ekonomis, kaca memiliki banyak keunggulan yang tahan terhadap abrasi, cuaca, atau serangan kimia, karena dalam kandungan kaca memiliki persentase kandungan silika yang cukup tinggi, sehingga dalam perkembangannya kaca dapat digunakan sebagai alternatif bahan pembuatan beton

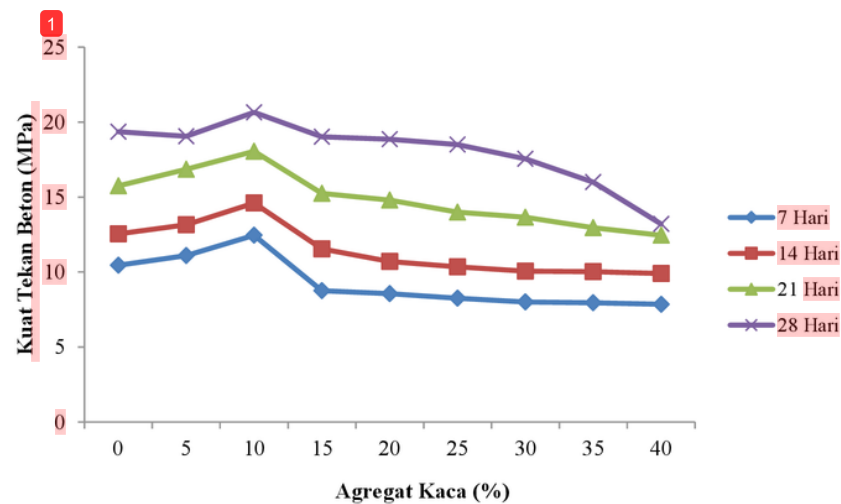
Karena pembuangan limbah kaca yang tinggi, penggunaan kaca sebagai agregat beton telah menarik perhatian peneliti. Pemanfaatan limbah kaca sebagai agregat ini diterapkan dalam pembangunan jalan dan juga digunakan untuk produksi ubin kaca, panel dinding, batubata, fiber glass, pertanian pupuk lansekap manik-manik reflektif dan pecah (Reindl, 1998). Adapun ¹ sifat fisik pada kaca dapat dilihat pada tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.4. Sifat Fisik Kaca (Ismail dan Al-Hashmi, 2009)

No	Sifat fisik	Spesifikasi
1.	<i>Specific gravity</i>	2,19
2.	<i>Density</i>	1672
3.	<i>Absorption</i>	0,39
4.	<i>Pozzolanic index</i>	80

Pada hasil penelitian dari Wisnuseputro (2009) bahwa pada kadar *waste glass aggregate* dengan kadar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 50% mendapatkan hasil kuat tekan yang tertinggi pada kadar *waste glass aggregate* 10% yaitu 35,32 MPa.

Penelitian tentang kadar variasi penambahan *waste glass as coarse aggregate* dibutuhkan untuk mengetahui kadar optimum penggunaannya. Berikut hasil kuat tekan berdasarkan penelitian Eme dan Ekwulo (2018) dengan menggunakan penambahan *waste glass* 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi limbah kaca sebagai agregat kasar

Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan meningkat dengan penambahan 5% dan 10% pada umur 7 dan 28 hari. Pada variasi 5% mengalami peningkatan sebesar 6,2% sedangkan pada variasi 10% terjadi peningkatan sebesar 19,1%.

Selain itu pula penggunaan kaca sebagai substitusi sebagian agregat kasar dalam campuran *pervious concrete* diharapkan dapat menghasilkan beton dengan berat jenis yang ringan.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh Srivastava (2014) pada penelitiannya menggunakan *waste glass* sebagai pengganti sebagian agregat kasar dengan variasi persentase kadar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Kuat tekan

optimum yang dihasilkan berada pada kadar waste glass 10% yaitu sebesar 31 MPa. Namun seiring dengan penambahan kadar lebih dari 10% mengalami penurunan kuat tekan secara terus menerus.

2.4.2. Pengaruh Penambahan *Silica Fume* pada *Pervious Concrete*

Berdasarkan penelitian terdahulu yang berhubungan dengan pengaruh penambahan bahan tambah mineral *silica fume* pada campuran beton sudah banyak dilakukan. *Silica fume* sebagai bahan semen dapat bereaksi dengan NaOH dan menghasilkan CSH yang berfungsi sebagai pengikat pada beton. Dikarenakan sifat dan karakteristik utama dari beton *pervious concrete* adalah permeabilitasnya tinggi, maka dalam menggunakan bahan tambahan mineral jumlahnya harus dibatasi.

Dari hasil studi yang dilakukan oleh Patel et al. (2014) menyelidiki sifat *pervious concrete* dengan mengganti konten semen dengan 20% *fly ash* dan 10% *silica fume*. Patel menggunakan rasio a/c 4: 1 dan rasio w/c 0,30, 0,35 dan 0,40. Patel menyimpulkan bahwa kuat tekan, kuat lentur dan perpecahan tarik kekuatan meningkat apabila w/c 0,30 ke 0,40 tetapi permeabilitas akan mengalami penurunan jika mengandung 20% *fly ash* dan 10% *silica fume*.

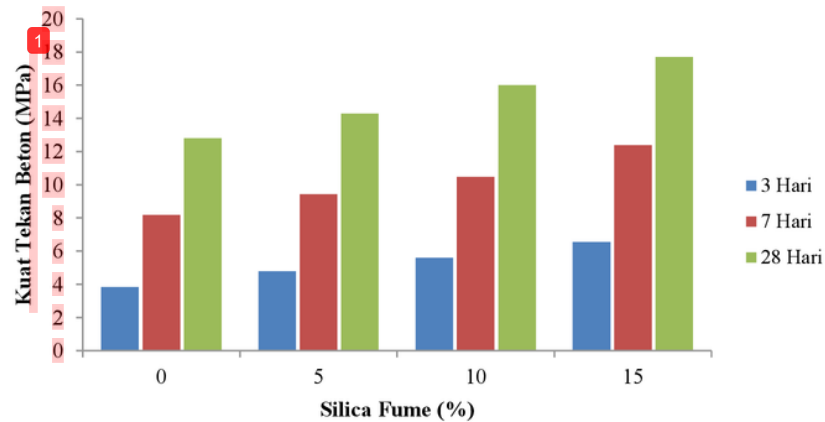
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Subramani, et al (2018) dengan menggunakan kadar 10% *silica fume* dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 36,6 N/mm dibandingkan dengan kuat tekan beton konvensional yaitu 33,65 N/mm pada umur 28 hari. Dan untuk hasil rata-rata nilai koefisien permeabilitas yaitu sebesar 0,165 cm/s.

Adapun penelitian yang juga dilakukan oleh Navada, et al (2018) tentang pengaruh variasi pada presentase *silica fume* pada campuran *pervious concrete* yaitu sebanyak 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Dengan pengujian kuat tekan yang dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari dan pengujian permeabilitas. Data hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5. Data hasil uji kuat tekan beton dengan variasi *silica fume*

<i>Silica Fume</i> (%)	Kuat Tekan Beton (MPa)			Porositas (%)
	3 Hari	7 Hari	28 Hari	

0	3.84	8.19	12.8	16.6
5	4.79	9.43	14.3	16.3
10	5.6	10.8	16.0	16.1
15	6.55	12.39	17.7	15.8

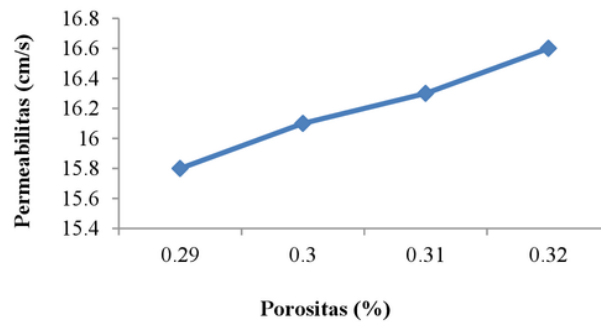


Gambar 2.4. Hubungan antara kuat tekan beton dan variasi *silica fume*

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton terlihat bahwa dengan seiring penambahan kadar silica fume 0%, 5%, 10%, dan 15% pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan beton. Pada kadar *silica fume* 15% dengan umur 28 hari memiliki kuat tekan optimum yaitu sebesar 17,7 MPa. Hal ini disebabkan karena mengingat kinerja dari bahan tambahan *silica fume* dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Tabel 2.6. Data hasil pengujian permeabilitas dengan variasi kadar *silica fume*

<i>Silica fume</i> (%)	Porositas (%)	Permeabilitas (cm/sec)
0	16.6	0.32
5	16.3	0.31
10	16.1	0.30
15	15.8	0.29



Gambar 2.5. Hubungan antara permeabilitas dan porositas terhadap variasi *silica fume*

Dalam penelitian ini, nilai permeabilitas ditentukan oleh Metode *Falling Head*. Dapat dilihat bahwa ketika semen diganti oleh *silica fume* tidak ada banyak variasi dalam permeabilitas. Beton pervious normal dengan 0% *silica fume* memiliki nilai permeabilitas paling optimum yaitu sebesar 0,32 cm/s.

Menurut penelitian Olafsson (1989) bahwa beton yang mengandung 5 hingga 10 persen *silica fume* telah berhasil digunakan di Islandia sejak tahun 1979 untuk mengontrol ekspansi ASR.

Pada hasil studi yang dilakukan oleh Al-Shafi'i, et al (2018) menyimpulkan bahwa pada setiap penambahan kadar *silica fume* 10%, 15% dan 20% mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Kuat tekan tertinggi pada kadar *silica fume* 20% mencapai 31 MPa. Seiring dengan meningkatnya hasil uji kuat tekan maka hasil nilai permeabilitas pada penelitian ini mengalami penurunan pada kadar *silica fume* 20% mencapai 2,286 cm/s.

2.4.3. Rasio Perbandingan Air Terhadap Semen

Rasio air semen merupakan salah satu parameter yang paling penting dalam menentukan perbandingan antara jumlah air dan semen dalam suatu campuran beton. Semakin tinggi nilai w/c yang digunakan maka tingkat kemudahan dalam pengerjaan campuran semakin mudah tetapi kuat tekan beton menurun, begitupun sebaliknya jika semakin rendah w/c maka kemudahan dalam pengerjaan campuran semakin sulit dan kuat tekan beton meningkat.

Tennis *et al.* (2004) menunjukkan bahwa tidak ada hubungan yang jelas antara kekuatan dan rasio w/c untuk *pervious concrete* karena total volume pasta kurang dari volume pori dalam beton ini. Oleh karena itu, pasta dalam beton berpori ini tidak selalu menyebabkan meningkatkan kekuatan.



Gambar 2.6. Sampel *pervious concrete* dengan jumlah air yang berbeda kemudian dibentuk menjadi bola: (a) terlalu sedikit air, (b) jumlah air yang tepat atau optimal, dan (c) terlalu banyak air (Tennis *et al.*, 2004)

Menurut Kevern *et al.* (2009) Untuk w/c kurang dari 0,27 dapat mengakibatkan kemampuan kerja yang sangat rendah untuk beton ini. Tetapi di sisi lain, rasio air semen tinggi selain kuat tekan yang menurun juga dapat menyebabkan campuran pasta yang berlebihan sehingga campuran antara pasta dan agregat terpisahkan di bagian bawah cetakan (*segregasi*) sehingga menyebabkan permeabilitas lebih rendah karena tertutupnya pori di salah satu sisi beton. Adapun kisaran atau rentang material yang digunakan dalam *pervious concrete* dapat dilihat pada table 2.5 Sebagai berikut.

Tabel 2.7. Kisaran proporsi material yang digunakan dalam *pervious concrete* (ACI 522R, 2010)

	Proportions, lb/yd ³ (kg/m ³)
Cementitious materials	450 to 700 (270 to 415)
Aggregate	2000 to 2500 (1190 to 1480)
w/c by mass	0.27 to 0.34
Aggregate : cement ratio, by mass	4 to 4:5:1
Fine : Course aggregate ratio, by mass	0 to 1:1

2.5. Pengujian Beton

Beberapa pengujian beton mengacu dan berpedoman terhadap standar-standar yang telah diatur dalam ASTM. Pengujian beton bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suatu sampel beton yang telah dibuat. Beberapa pengujiannya adalah sebagai berikut :

2.5.1. Pengujian *Slump*

Untuk menentukan kelecakan pada suatu campuran beton maka diperlukan uji *slump*. Berdasarkan standar ACI 522R (2010) tingkat kemerosotan (*slump*) pada *pervious concrete* mendekati nol atau sekitar 20 mm. Dari hasil studi Tennis *et al.* (2004) menunjukkan bahwa penilaian dari tingkat kelecakan (*workability*) dapat terlihat dengan membentuk campuran *pervious concrete* menjadi sebuah bola dengan menggunakan telapak tangan. Dari hasil penilaian tingkat kelecakan tersebut berpengaruh terhadap jumlah kadar air yang digunakan dalam campuran. Terjadinya perubahan kandungan air sangat sensitif pada *pervious concrete*, maka dari itu sangat diperlukannya kuantitas air yang benar. Dikatakan sensitif karena apabila *pervious concrete* terlalu banyak air dapat menyebabkan terjadinya segregasi tetapi terlalu sedikit air dapat mengurangi *workability* (kemudahan dalam pengerjaan) sehingga terjadi kesulitan pada pencampuran menggunakan *mixer* (Obla, 2007). Ketika beton ditempatkan dan dipadatkan, agregat saling melekat erat satu sama lain dan menunjukkan matriks yang terbuka. Secara umum kerapatannya berkisar 100 lb/ ft³ hingga 125 lb/ft³ (1600 kg/m³ hingga 2000 kg/m³). Tingkat infiltrasi (*permeabilitas*) dari *pervious concrete* akan bervariasi dengan ukuran agregat dan kepadatan campuran, tetapi akan jatuh ke kisaran 80 hingga 720 ltr/menit/m³. *Slump* yang disarankan pada *pervious concrete* pada umumnya lebih kecil dari 3/4 in (20 mm) (Obla, 2007).

Selain daripada itu, metode pengujian *slump test* dapat juga mengacu pada ASTM C143. Adapaun peralatan uji *slump* yaitu dengan menggunakan pan yang berukuran 50 cm x 50 cm, tongkat pemadat dengan ukuran 40 cm, dan kerucut (*slump cone*) dengan kedua sisi atas dan bawah kerucut terbuka. Dengan masing-masing dimensi pada sisi atas 10 cm dan sisi bawah 20 cm sedangkan tingginya berukuran 30 cm. Dengan menggunakan peralatan tersebut metode pengujian

slump nya dilakukan dengan melembabkan kerucut dan alat lainnya. Selanjutnya letakkan kerucut tersebut di atas plat baja pada permukaan yang datar, lembab, tidak menyerap dan kaku. Isi cetakan kerucut tersebut sebanyak 1/3 lapisan kemudian ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali tusukan dengan menggunakan tongkat pemadat. Ulangi prosedur tersebut sebanyak tiga kali pemadatan dengan ukuran yang sama hingga penuh. Setelah ditusuk, selanjutnya angkat kerucut tersebut untuk dilakukan pengukuran kemerosotan beton dengan menggunakan alat ukur berupa mistar atau rolmeter.

2.5.2. Kuat Tekan Beton

Metode pengujian kuat tekan *pervious concrete* sama seperti beton konvensional pada umumnya, namun hasil kuat tekan yang didapat *pervious concrete* memiliki kuat tekan yang relatif kecil dibandingkan beton normal. kuat tekan *pervious concrete* umumnya berkisar antara 400 – 400 psi atau 2,8 – 28 MPa. Hal yang biasanya mempengaruhi kuat tekan *pervious concrete* terletak pada komposisi material penyusunnya serta pemadatan pada proses pengecoran (ACI 522R, 2010)..

Kuat tekan yang digunakan dalam desain struktural perkerasan *pervious concrete* ditentukan berdasarkan ASTM C39 (2003). *Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens* dengan perhitungan untuk pengujian penkekuatan tekan beton terlihat pada Persamaan 2.1.

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

f_c' = kuat tekan (N/mm²)

P = gaya (N)

A = luas permukaan (mm²)

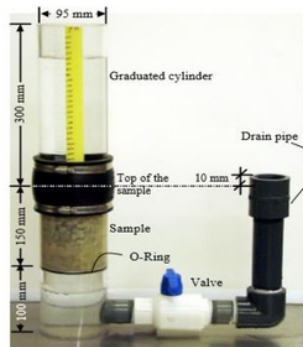
2.5.3. Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan yang dimiliki oleh suatu zat untuk meloloskan sejumlah partikel berupa air yang dapat menembus atau melaluinya.

Metode yang digunakan untuk menguji permeabilitas *pervious concrete* adalah dengan menggunakan alat uji *falling head* dan diperkirakan berdasarkan hukum Darcy. Permeabilitas merupakan parameter penting yang digunakan dalam desain hidrologi beton *pervious*. Tingkat permeabilitas dari *pervious concrete* akan bervariasi dengan ukuran agregat dan kepadatan campuran. Berdasarkan ACI 522R (2010) nilai permeabilitas biasanya akan jatuh dalam kisaran 2 hingga 18 gal/min ft² (81-730 L / min / m²) atau 192 -1724 in / h (0,14 hingga 1,22 cm /s).

Alat uji permeabilitas dapat dilihat pada gambar 2.7 Bagian-bagian *falling head* terdiri dari tabung akrilik atau tabung transparan sepanjang 300 mm dan diameter dalam 95 mm, tabung akrilik ini berfungsi untuk memantau ketinggian air pada saat pengujian dilakukan. Dibawah tabung diletakkan sampel dengan ketinggian 150 mm dan diatas dan bawah sampel tersebut terdapat tabung dengan diameter dalam 95 mm sehingga benda uji atau sampel dapat diletakkan pada cincin O dengan jarak 100 mm dari bawah. Untuk menghubungkan bagian bawah tabung ke pipa vertikal terdapat katup memiliki diameter 50 mm sehingga air dapat mengalir keluar. Di atas permukaan benda uji untuk bagian atas pipa vertikal dilebihkan 10 mm sehingga tidak ada aliran tak jenuh yang terjadi selama pengujian berlangsung.

Sebelum dilakukan pengujian, siapkan membran lateks untuk menyelimuti seluruh bagian benda uji benda kemudian diikat menggunakan pengikat karet sehingga tidak ada ruang keluarnya air selain pada pipa uji. Siapkan air untuk ditambahkan ke tabung akrilik untuk mengisi sel benda uji dan pipa pembuangan hingga penuh agar dapat menghilangkan gelembung udara pada benda uji dan memastikan benda uji itu benar-benar jenuh dari udara. Kemudian tutup katup air dan masukkan air hingga garis ukur mencapai 290 mm (h_1). Lalu buka katup dan hitung berapa waktu dalam detik (t) yang dibutuhkan untuk air jatuh dari kepala awal 290 mm (h_1) ke kepala akhir 70 mm (h_2). Prosedur percobaan ini diulang tiga kali, dan nilai rata-rata t yang digunakan.



1
Gambar 2.7. Alat uji permeabilitas (Neithalath *et al*, 2003)

Koefisien permeabilitas (K) dihitung menurut hukum Darcy. Persamaan hukum Darcy yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$k = \frac{A_1 l}{A_2 t} \log \left[\frac{h_1}{h_2} \right] \quad (2.2)$$

dimana:

A_1 = luas penampang benda uji (cm^3)

A_2 = luas penampang tabung ukur (cm^3)

t = waktu air mengalir (s)

l = tinggi benda uji (cm)

h_1 = ketinggian air awal (cm)

h_2 = ketinggian air akhir (cm)

Untuk geometri spesimen tertentu, koefisien permeabilitas (K) dapat diolah menggunakan metode kecepatan aliran (Persamaan 2.3).

$$k = \frac{s}{t} \quad (2.3)$$

dimana:

s = jarak permukaan air ke ujung sampel (cm)

t = waktu air mengalir (s)

Adapun kisaran atau rentang pengujian pada *pervious concrete* berdasarkan standar ACI 522R-10 dapat ditabulasikan pada tabel 2.6 Sebagai berikut.

Tabel 2.8. Kisaran hasil pengujian yang digunakan dalam *pervious concrete* (ACI522R, 2010)

Komponen Pengujian	Nilai persyaratan
Slump	0 - 20 mm
Kuat Tekan	2.8 - 28 Mpa
Permeabilitas	0,14 - 1,22 cm /s

2.6. Perawatan Beton

Pelaksanaan perawatan beton dilakukan pada saat beton mulai mengeras, yaitu ketika saat setelah dilakukan pembongkaran bekisting beton dengan durasi tertentu atau pada umur beton memasuki 7 hari pertama untuk memastikan kondisi yang terjaga agar dapat diperlukan untuk proses reaksi senyawa kimia yang terkandung dalam campuran beton. Perawatan beton *pervious* sama seperti beton konvensional. Adapun jenis-jenis perawatan (curing) pada beton diantaranya yaitu penyiraman, perendaman, pelapisan (*wet covering*), *steam curing*, *liquid membrane*, dan lain-lain. Tetapi, saat ini proses curing pada *pervious concrete* belum ada standar metode perawatan selain itu juga kurangnya referensi dalam mengevaluasi keefektifan dari proses perawatan. Proses curing pada beton memainkan peran penting pada pengembangan kekuatan dan daya tahan beton. Proses curing ini meliputi pemeliharaan kelembaban dan kondisi suhu, baik dalam beton maupun di permukaan beton dalam periode waktu tertentu. Secara umum tujuan perawatan beton adalah sebagai berikut :

- Menjaga beton dari kehilangan air semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete*.
- Menjaga perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar.
- Stabilitas dari dimensi struktur.
- Mendapatkan kekuatan beton yang tinggi.

- Menjaga beton dari kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama dan menjaganya dari keretakan.

Agar hidrasi pada beton terjadi secara optimal maka lakukan perawatan dengan tepat dan sesuai dengan prosedur, tetapi jika perawatan tidak dilakukan dengan benar maka ikatan agregatnya dapat mudah lepas. Seperti halnya dalam perawatan *pervious concrete* dengan metode perendaman maupun *steaming*. Adapun prosedur atau metode *curing* dijelaskan dalam ASTM C31 dimana saat umur beton dalam waktu 48 jam beton harus dijaga agar tetap dalam suhu 60 dan 80°F (16 dan 27°C). Alat pemanas maupun pendingin di laboratorium dapat digunakan untuk pengaturan suhu. Setelah itu masukkan sampel atau benda uji ke dalam tanki air atau ruang yang lembab dengan suhu 73±3°F (23±2°C) untuk dilakukan perawatan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

Metodologi penelitian adalah proses atau cara ilmiah untuk mendapatkan data yang akan digunakan untuk keperluan penelitian. Dalam metodologi penelitian terdiri dari suatu tahapan-tahapan yang akan digunakan untuk menentukan langkah-langkah didalam suatu penelitian. Adapun objek masalah dalam penelitian ini adalah *Pervious Concrete* dengan berfokus pada masalah pengaruh pada karakteristik campuran *pervious concrete* yang dilakukan perawatan (*curing*) dengan menggunakan bahan tambahan mineral berupa *silica fume* sebagai substitusi semen dan penggunaan agregat limbah botol kaca atau *waste glass aggregate (WGA)* sebagai substitusi sebagian agregat kasar.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat 10 variasi penambahan *silica fume* dan *waste glass aggregate* yaitu sebesar :

- 1) 0% *silica fume* dan 0% *waste glass aggregate*
- 2) 10% *silica fume* dan 2,5% *waste glass aggregate*
- 3) 10% *silica fume* dan 7,5% *waste glass aggregate*
- 4) 10% *silica fume* dan 12,5% *waste glass aggregate*
- 5) 15% *silica fume* dan 2,5% *waste glass aggregate*
- 6) 15% *silica fume* dan 7,5% *waste glass aggregate*
- 7) 15% *silica fume* dan 12,5% *waste glass aggregate*
- 8) 20% *silica fume* dan 2,5% *waste glass aggregate*
- 9) 20% *silica fume* dan 7,5% *waste glass aggregate*
- 10) 20% *silica fume* dan 12,5% *waste glass aggregate*

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah *slump* test pada beton segar, pengujian permeabilitas dan pengujian kuat tekan beton pada umur beton 7, 14 dan 28 hari.

3.2. Studi Literatur

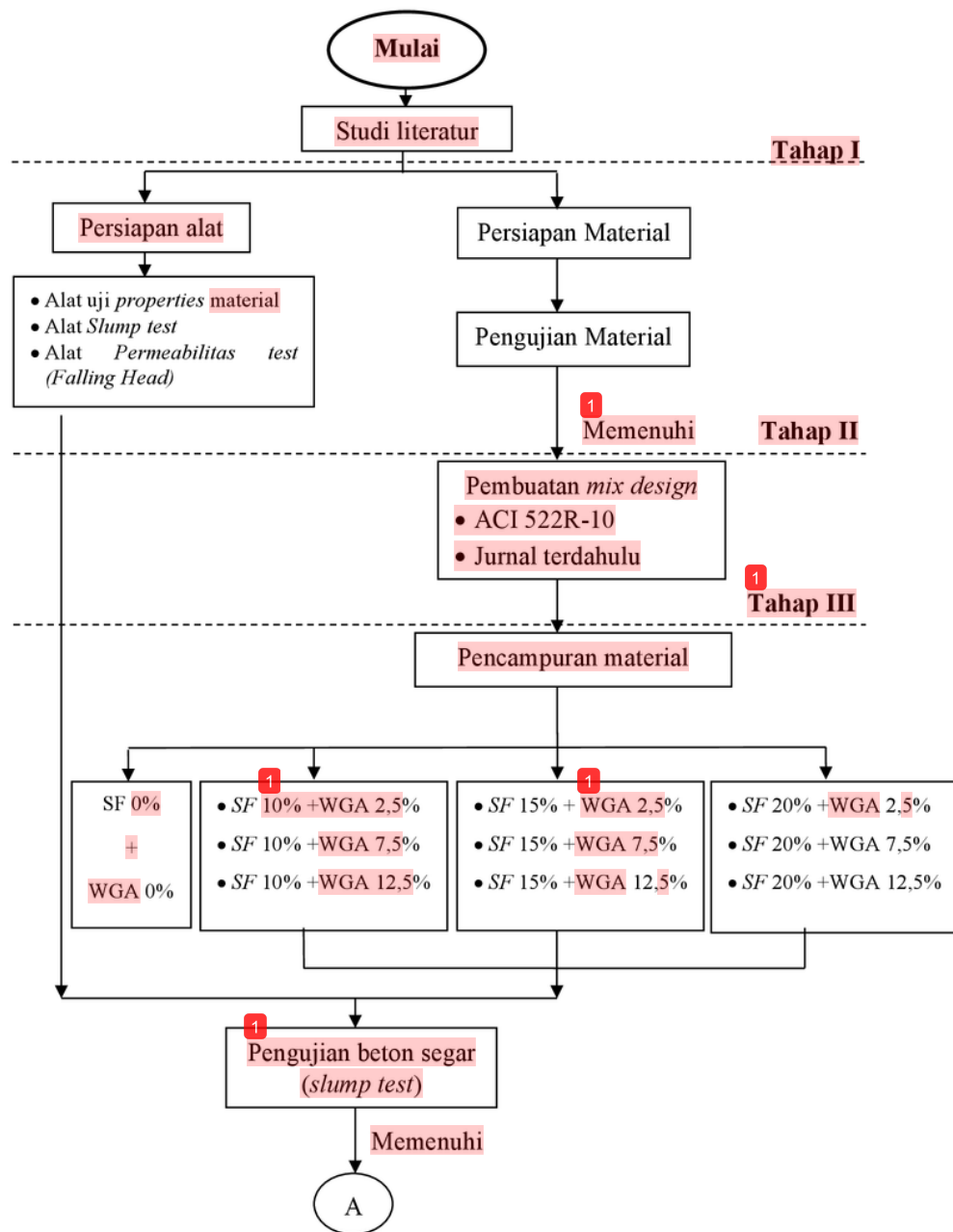
Studi literatur merupakan suatu tahapan pengumpulan data dan bahan acuan yang berkaitan dengan masalah dalam fokus penelitian. Dari data-data hasil penelitian tersebut kemudian dibahas, dianalisa, dan diolah sesuai dengan acuan yang ada dan pernah dilakukan oleh penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dibahas.

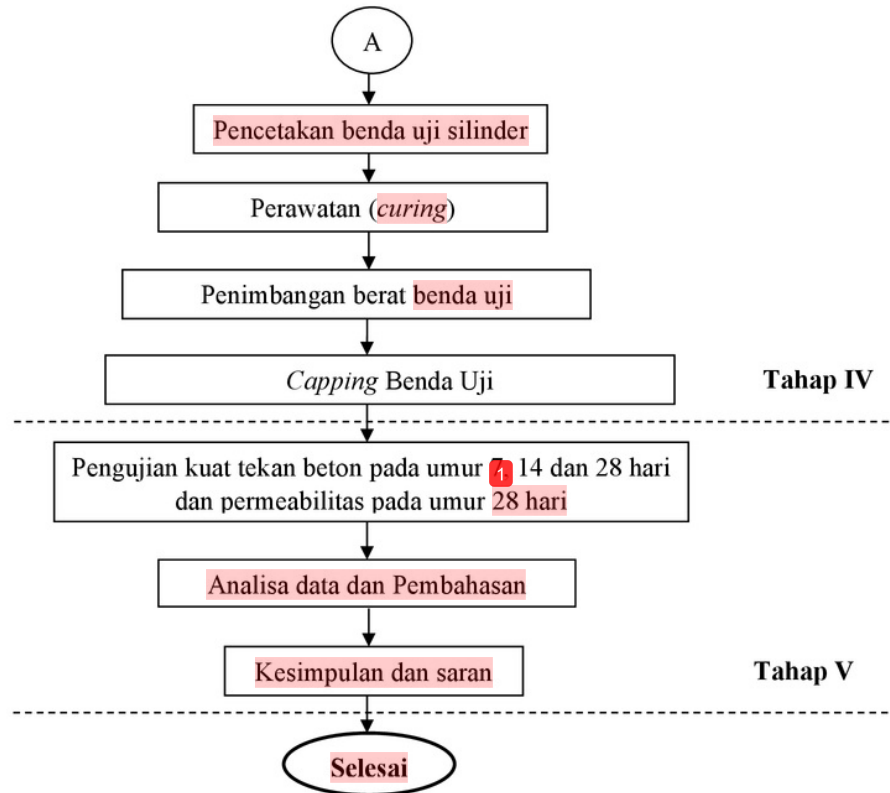
Pada tahapan ini, peneliti menghimpun dan menginventarisasi bahan acuan tersebut dari karya ilmiah, jurnal, *paper*, standar dan peraturan, buku, *project report*, naskah publikasi, tesis penelitian, diktat, internet standar-standar acuan dan referensi-referensi terpercaya lainnya. Untuk data yang didapat berupa literatur mengenai hal yang berhubungan dengan pengaruh penggunaan *silica fume* sebagai substitusi sebagian semen dan *waste glass aggregate* sebagai substitusi sebagian agregat kasar pada campuran *pervious concrete* dengan *curing*.

3.3. Alur Penelitian

Alur penelitian merupakan tahapan-tahapan metodologi yang disajikan dalam bentuk diagram alir (*flow chart*) yang digunakan sebagai panduan dalam melakukan penelitian.. *Flow chart* atau diagram alir adalah bagan-bagan berbentuk grafis yang terdiri dari simbol kotak yang beragam yang menyatakan proses atau langkah-langkah dari suatu pekerjaan dan disambungkan oleh garis alir yang menandakan bahwa antara satu pekerjaan dan pekerjaan yang lain saling berhubungan.

Pada penelitian ini terdapat lima tahap yaitu tahap pertama terdiri dari studi literatur dan persiapan penelitian. Tahap kedua terdiri dari persiapan alat dan bahan serta pengujian material terlebih dahulu (uji properties bahan-bahan yang akan digunakan dalam campuran *pervious concrete*). Tahap ketiga terdiri dari pembuatan *mix design pervious concrete*. Tahap keempat terdiri dari proses pencampuran lalu melakukan pengujian beton segar (*slump test*) kemudian melakukan perawatan (*curing*) benda uji hingga *capping* benda uji. Tahap kelima terdiri dari pengujian tekan beton dan pengujian permeabilitas pada benda uji selanjutnya menganalisa data dan menarik kesimpulan. Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1. Diagram tahap metodologi penelitian

3.4. ¹ Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini bertempat di PT. Waskita Beton Precast Tbk Batching Plant Jakabaring III yang terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Laboratorium PT. Waskita Beton Precast Tbk BP. Jakabaring III

3.5. Material Penyusun *Pervious Concrete*

Berikut ini merupakan material penyusun *pervious concrete* yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

3.5.1. Semen

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen padang dengan jenis OPC (*Ordinary Portland Cement*) Tipe 1 yang ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 3.3. *Ordinary Portland Cement*

3.5.2. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini adalah air PAM bersih yang telah memenuhi syarat ASTM C1602 berasal dari Laboratorium PT. Waskita Beton Precast Plant Jakabaring yang ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Air

3.5.3. ¹ Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah split Bojonegoro. Ukuran batu pecah yang digunakan pada penelitian ini adalah 1-2 cm yang ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Agregat Kasar

3.5.4. *Waste Glass Aggregate*

¹ *Waste Glass Aggregate* merupakan ¹ Limbah Botol kaca yang berasal dari botol minuman bekas hasil limbah rumah tangga. Kemudian dipecahkan menggunakan mesin *Los Angeles Abrasion* sehingga ukurannya menjadi 1-2 cm sebagai substitusi sebagian agregat kasar yang ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. *Waste Glass Aggregate*

3.5.5. *Silica Fume*

Bahan tambah *Silica Fume* adalah sisa produk industri silikon yang mengandung logam yang diproduksi oleh PT. SIKKA yang ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. *Silica Fume*

3.5.6. *Superplasticizer*

Penggunaan *superpalsticizer* berfungsi untuk mengurangi faktor air semen (w/c) tanpa mengurangi *workability* beton segar. Bahan tambah *superplasticizer* yang digunakan berbahan dasar *Sikament In* yaitu *superplasticizer* tipe F yang ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. *Superplasticizer*

3.5.7. ¹ Belerang

Belerang merupakan bahan yang digunakan untuk *capping* pada beton. Belerang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Belerang

3.6. Persiapan Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu alat untuk pengambilan material, saringan agregat, *los angeles abrasion machine*, *mixer*, gelas ukur, timbangan dengan kapasitas 5 kg dan 50 kg, alat uji slump, *bekisting* silinder, alat *capping* beton, alat pengujian kuat tekan beton, dan alat pengujian permeabilitas seperti berikut :

3.6.1. ¹ Saringan Agregat

Saringan agregat kasar berdiameter 3/4" sampai 3/8" diperlukan ¹ untuk mendapatkan ukuran butiran agregat kasar dan ukuran butiran limbah botol kaca yang sesuai dengan desain rencana campuran beton segar. Saringan agregat dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Saringan agregat

3.6.2. ¹ *Los Angeles Abrasion machine*

Los angeles abrasion machine adalah mesin yang diperlukan untuk menghancurkan limbah botol kaca. *Los Angeles Abrasion machine* ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. *Los Angeles Abrasion Machine*

3.6.3. *Mixer*

Mixer pada penelitian ini memiliki 2 blade yang berfungsi untuk mengaduk material agar material yang masuk kedalam *mixer* dapat tercampur dengan merata. *Mixer* ini berkapasitas 30 liter yang ¹ dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12. *Mixer*

3.6.4. Gelas Ukur

Gelas ukur pada penelitian ini digunakan untuk menimbang material berupa bahan tambahan *superplasticizer* yang ditunjukkan pada gambar 3.13.



Gambar 3.13. Gelas Ukur

3.6.5. Timbangan

Timbangan yang digunakan pada penelitian ini diperlukan untuk menimbang berat material sesuai dengan mix design. Timbangan yang ditunjukkan pada gambar 3.14 (a). memiliki ketelitian 0,5 berkapasitas 50 kg. Timbangan yang ditunjukkan pada gambar 3.14 (b). memiliki ketelitian 0,1 berkapasitas 5 kg



(a)



(b)

Gambar 3.14. (a) Timbangan kapasitas 50 kg dan (b) kapasitas 5 kg

3.6.6. *Slump Cone*

Slump cone adalah alat yang digunakan untuk uji slump yang bertujuan untuk menguji *workability* pada *pervious concrete*. *Slump cone* terdiri dari corong *slump*, *base plate*, tongkat pemadat, dan meteran. Berikut ini satu set *slump cone* dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15. *Slump Cone*

3.6.7. *Bekisting Silinder*

Bekisting silinder pada penelitian ini digunakan untuk mencetak beton segar. *Bekisting* silinder yang digunakan pada penelitian ini berukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm yang ditunjukkan pada gambar 3.16.



Gambar 3.16. *Bekisting Silinder*

3.6.8. *Vertical Cylinder Capping Set*

Vertical cylinder capping set digunakan untuk meratakan bagian ujung beton yang berbentuk silinder berdiameter 15 cm. Berdasarkan standar proses *capping* pada sampel beton bertujuan untuk menyeragamkan permukaan pembebanan pada saat dilakukan pengujian kuat tekan berdasarkan ASTM C-617. *Vertical cylinder capping set* dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17. *Vertical cylinder capping set*

3.7. Tahapan Pengujian di Laboratorium

Berikut ini tahapan yang harus dilakukan pada penelitian ini agar mendapatkan hasil penelitian yang diharapkan antara lain:

3.7.1. Tahapan Persiapan Peralatan dan Material

Pada tahap I hal yang harus dilakukan yaitu menyiapkan material dan peralatan yang akan digunakan pada penelitian ini. Material yang harus disiapkan antara lain agregat kasar, air, semen padang OPC tipe 1, *waste glass aggregate*, *silica fume*, dan *superplasticizer*. Peralatan yang harus disiapkan adalah alat pengujian material, saringan agregat, *concrete mixer*, timbangan, alat penguji *slump*, bekisting silinder, alat pengujian kuat tekan beton dan alat pengujian permeabilitas.

Pada tahapan persiapan ini, *waste glass aggregate* atau limbah botol kaca bening ini terlebih dahulu di bersihkan dan dicuci agar bau dan kotoran yang menempel di bagian luar dan dalam botol tersebut hilang. Pada gambar 3.20.

Limbah ¹botol kaca yang telah di cuci dan dibersihkan kemudian dijemur terlebih dahulu agar limbah botol kaca dalam keadaan kering. Setelah proses penjemuran, kemudian limbah botol kaca dilakukan proses penggilingan dengan ¹menggunakan mesin *los angeles abrasion* guna mendapatkan pecahan ukuran butiran kaca sehingga mempermudah pada saat proses penyaringan. Proses selanjutnya yaitu proses ¹penyaringan pada limbah botol kaca yang telah dihancurkan sebelumnya agar mendapatkan butiran kaca yang lolos saringan agregat berukuran 3/4" dan tertahan 3/8" atau ukuran butiran kaca sebesar 1-2 cm.



Gambar 3.18. Limbah botol kaca yang dijemur yang kemudian dihancurkan

Tahap selanjutnya dalam penggunaan agregat kasar pada penelitian ini menggunakan split bojonegoro dengan ukuran butiran 1-2 cm yang diperoleh dari laboratorium PT. Waskita Beton Precast Batching Plant Jakabaring III. Penggunaan agregat kasar berpengaruh pada kualitas dan mutu beton, maka dari itu untuk mendapatkan hasil yang optimal, agregat kasar terlebih dahulu harus dibersihkan dari kadar lumpur, senyawa kimia, dan unsur-unsur lain. Setelah agregat kasar dibersihkan dan dikeringkan, kemudian dilakukan penggetaran dan penyaringan menggunakan *sieve shaker* dan saringan agregat kasar guna mendapatkan ukuran butiran sebesar 1-2 cm.

Berikut ini pada gambar 3.19. terlihat proses pembersihan agregat kasar.



¹ Gambar 3.19. proses pembersihan agregat kasar

3.7.2. Tahap Pemeriksaan Karakteristik Material

Pada Tahap II merupakan tahap pemeriksaan karakteristik dari setiap material. Pemeriksaan karakteristik material penyusun beton (*uji properties*) dilakukan untuk mengetahui kandungan yang ada pada material. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada agregat kasar diantaranya pengujian kadar air berdasarkan referensi ASTM C 566, pengujian berat volume dalam kondisi padat dan gembur berdasarkan ASTM C 29/ C 29 M, pengujian SSD (*Saturated Surface Dry*) berdasarkan ASTM C 128, penyerapan agregat berdasarkan ASTM C 127, dan analisis saringan agregat kasar berdasarkan ASTM C 117. Hasil pengujian material terlampir.

3.7.3. Tahap Penentuan Komposisi Campuran *Pervious Concrete*

Pada Tahap III adalah tahap menentukan komposisi campuran *pervious concrete*. Komposisi campuran *pervious concrete* dilakukan dengan pengumpulan data dari jurnal dan mengacu pada standar ACI 522R-10 yang dapat dilihat pada tabel 2.6. Persentase variasi *waste glass aggregate* dan *silica fume* sebagai pada beton *pervious concrete* dapat dilihat pada Tabel 3.1. dan untuk komposisi campuran *pervious concrete* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1. Persentase Variasi *Silica Fume* dan *Waste Glass Aggregate*

Kode	Persentase Kadar (%)			Agregat Kasar
	<i>Silica Fume</i>	Semen	<i>Waste Glass Aggregate</i>	
SF ₀ WG ₀	0	100	0	100
SF ₁₀ WG _{2,5}	10	90	2,5	97,5
SF ₁₀ WG _{7,5}	10	90	7,5	92,5
SF ₁₀ WG _{12,5}	10	90	12,5	87,5
SF ₁₅ WG _{2,5}	15	85	2,5	97,5
SF ₁₅ WG _{7,5}	15	85	7,5	92,5
SF ₁₅ WG _{12,5}	15	85	12,5	87,5
SF ₂₀ WG _{2,5}	20	80	2,5	97,5
SF ₂₀ WG _{7,5}	20	80	7,5	92,5
SF ₂₀ WG _{12,5}	20	80	12,5	87,5

Tabel 3.2. Komposisi Campuran *Pervious Concrete*

Kode	% SF	% WGA	Semen (Kg/m ³)	SF (Kg/m ³)	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Air (Kg/m ³)	WGA (Kg/m ³)	SP (Kg/m ³)
SF ₀ WG ₀	0	0	373,6	0	1980,8	119,5	0	0
SF ₁₀ WG _{2,5}	10	2,5	336,2	37,4	1918,3	117,8	49,2	1,7
SF ₁₀ WG _{7,5}	10	7,5	336,2	37,4	1820,0	117,8	147,6	1,7
SF ₁₀ WG _{12,5}	10	12,5	336,2	37,4	1721,6	117,8	245,9	1,7
SF ₁₅ WG _{2,5}	15	2,5	317,5	56,0	1911,8	117,9	49,0	1,6
SF ₁₅ WG _{7,5}	15	7,5	317,5	56,0	1813,8	117,9	147,1	1,6
SF ₁₅ WG _{12,5}	15	12,5	317,5	56,0	1715,8	117,9	245,1	1,6
SF ₂₀ WG _{2,5}	20	2,5	298,9	74,7	1905,4	118,0	48,9	1,5
SF ₂₀ WG _{7,5}	20	7,5	298,9	74,7	1807,6	118,0	146,6	1,5
SF ₂₀ WG _{12,5}	20	12,5	298,9	74,7	1709,9	118,0	244,3	1,5

3.7.4. Tahap Pembuatan *Pervious Concrete*

Pada Tahap IV adalah tahap pengecoran benda uji *pervious concrete* di Laboratorium PT. Waskita Beton Precast Plant Jakabaring III. Proses pencampuran material dilakukan seperti pencampuran beton konvensional pada umumnya. Sebelum dilakukan pencampuran seluruh material, dipastikan agregat kasar harus dalam kondisi SSD. SSD atau *Saturated Surface Dry* adalah keadaan pada agregat dimana tidak terdapat air pada permukaannya tetapi pada rongganya

terisi oleh air sehingga tidak mengakibatkan penambahan maupun pengurangan kadar air dalam beton. Setelah agregat kasar sudah dalam kondisi SSD. Lalu dilakukan tahap proses pengecoran beton *pervious concrete* menggunakan *mixer* yang terlihat pada gambar 3.20.



Gambar 3.20. Proses Pengecoran *Pervious Concrete*

Setelah dilakukan pengecoran, maka sebagian campuran beton *pervious* tersebut dibentuk menjadi bola. Apabila pada sampel campuran tersebut saling mengikat antara pasta semen dan agregat maka tingkat rasio air semen dalam *mix design* sudah optimal sehingga memudahkan dalam pengerjaan campuran seperti yang terlihat pada gambar 3.21.



Gambar 3.21. Sampel campuran *pervious concrete* dibentuk menjadi bola

Proses selanjutnya dilakukan uji *slump*. Pengujian *slump* bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *silica fume* terhadap semen dan pengaruh penambahan *waste glass aggregate* terhadap agregat kasar pada perilaku *workability pervious concrete*. Syarat pengujian *slump pervious concrete* berbeda dengan beton konvensional. Uji *slump* pada *pervious concrete* mengacu pada standar ACI 522R-10 yaitu dengan syarat 0 atau >20 mm. Uji *slump* terlihat pada gambar 3.22.



Gambar 3.22. Uji *Slump Pervious Concrete*

Setelah dilakukan uji *slump*, benda uji di cetak dalam bekisting silinder ukuran 10 cm x 20 cm. Kemudian setelah bekisting dibuka, selanjutnya dilakukan curing jika beton sudah mencapai umur 7, 14 dan 28 hari. Curing dilakukan dengan cara benda uji direndam didalam bak berisi air untuk dijaga suhu kelembapannya yang terlihat pada gambar 3.23.



Gambar 3.23. Proses *Curing* beton dengan direndam di dalam air

3.7.5. Tahap Penimbangan Berat Benda Uji

Pada tahap V adalah tahap penimbangan berat benda uji menggunakan timbangan berkapasitas 5 kg. Hal ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan data berat dari setiap variasi persentase benda uji. Penimbangan berat benda uji terlihat pada gambar 3.24.



Gambar 3.24. Penimbangan berat benda uji

3.7.6. Tahap Pengujian *Pervious Concrete*

Pada Tahap VI adalah tahap pengujian kuat tekan dan permeabilitas pada benda uji. Sebelum beton di uji kuat tekannya terlebih dahulu beton harus di dilakukan *capping* beton. Berikut ini *capping* beton *pervious concrete* yang terlihat pada gambar 3.25.



Gambar 3.25. *Capping Pervious Concrete*

1. Pengujian Kuat Tekan *Pervious Concrete*

Setelah beton dilakukan capping kemudian beton diuji kuat tekannya pada umur 7,14, dan 28 hari dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine* seperti terlihat pada gambar 3.26. Hasil pengujian 3 sampel *pervious concrete* dapat dilihat pada lampiran 1 (kuat tekan umur 7 hari), lampiran 2 (kuat tekan umur 14 hari) dan lampiran 3 (kuat tekan umur 28 hari).



Gambar 3.26. Proses Pengujian Kuat Tekan *Pervious Concrete*

2. Pengujian Permeabilitas *Pervious Concrete*

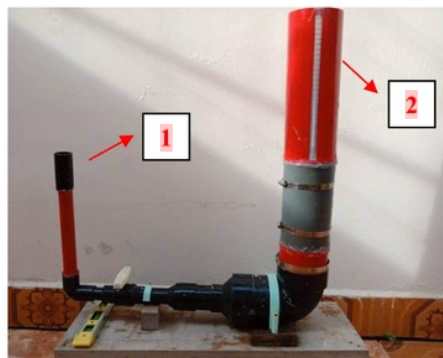
Pengujian permeabilitas dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan metode *Falling Head*.

Adapun tahapan-tahapan pengujian permeabilitas sebagai berikut :

- a. Persiapkan peralatan pengujian permeabilitas (seperti yang terlihat pada gambar 3.28.), benda uji (sampel beton), dan *stopwatch*.
- b. Sampel beton yang telah dipersiapkan kemudian dimasukkan ke pipa uji yang berukuran 10 cm x 20 cm
- c. Kemudian sampel beton tersebut disambungkan ke tabung ukur pada alat uji permeabilitas
- d. Di sekeliling sambungan antara tabung ukur dan pipa uji diberi lem silikon agar pada saat pengujian tidak keluar air diantara sela-sela sambungan

- e. ¹ Pastikan posisi alat uji permeabilitas dalam keadaan datar dengan menggunakan waterpass sehingga data yang didapatkan lebih akurat.
- f. Pengisian air dilakukan pada tabung akrilik (1) sampai penuh hingga air keluar pada sisi tersebut kemudian tutup katup air. Selanjutnya air diisi kembali pada tabung ukur (2) sampai ketinggian 29 cm.
- g. ¹ Buka katup air secara bersamaan dengan menekan stopwatch kemudian hitung waktu pengaliran air hingga air yang ada didalam tabung akrilik (1) berhenti keluar atau sampai permukaan benda uji 0 cm dan catat waktu yang telah dilakukan pengujian.

Berikut ini proses pengujian permeabilitas beton *pervious concrete* seperti terlihat pada gambar 3.27.



Gambar 3.27. Proses Pengujian Permeabilitas *Pervious Concrete*

HASIL DAN PEMBAHASAN**4.1. Hasil Pengujian *Slump Pervious Concrete***

Pengujian *slump* bertujuan untuk mengetahui kelecakan (*consistency*) pada beton segar. Dengan pemeriksaan *slump*, maka kita dapat memperoleh nilai *slump* yang dipakai sebagai tolak ukur atau standar kelecakan beton segar. Karena didalam nilai *slump* tersebut terdapat sifat *workability* yaitu kemudahan dalam pengerjaan adukan beton. Nilai *slump* pada *pervious concrete* berdasarkan spesifikasi standar ACI 522R-10 sangat kecil yaitu >20 mm dan bahkan tidak mengalami penurunan sama sekali atau nol. Hal ini dilakukan agar menghindari terjadinya penumpukan pasta pada dasar beton dan segregasi sehingga dapat menurunkan kinerja sifat permeabilitas pada *pervious concrete*. Pada penelitian ini nilai uji *slump* setiap variasi tidak mengalami penurunan sama sekali atau nol sehingga memenuhi kriteria *pervious concrete* berdasar standar ACI 522R-10 yang terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Hasil pengujian *slump pervious concrete*

4.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Pervious Concrete*

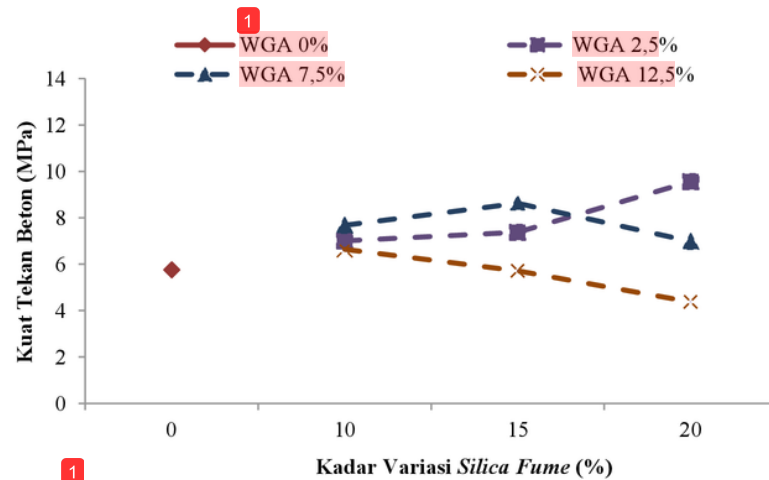
Hasil pengujian kuat tekan beton *pervious concrete* diperoleh dari hasil rata-rata pengujian kuat tekan pada 3 sampel beton. Pengujian kuat tekan beton

dilakukan untuk membandingkan nilai kuat tekan berdasarkan substitusi variasi *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) dan *silica fume*. Berikut ini hasil pengujian kuat tekan beton *pervious concrete* pada umur 7,14, dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton *pervious concrete* pada umur 7,14, dan 28 hari

Kode	Silica Fume (%)	WGA (%)	Kuat Tekan Beton		
			7 Hari	14 Hari	28 Hari
SF ₀ WG ₀	0	0	5,763	6,319	6,876
SF ₁₀ WG _{2,5}	10	2,5	7,008	8,223	8,810
SF ₁₀ WG _{7,5}	10	7,5	7,675	8,656	9,504
SF ₁₀ WG _{12,5}	10	12,5	6,642	7,278	7,936
SF ₁₅ WG _{2,5}	15	2,5	7,379	8,567	9,574
SF ₁₅ WG _{7,5}	15	7,5	8,625	9,322	10,431
SF ₁₅ WG _{12,5}	15	12,5	5,719	6,068	7,543
SF ₂₀ WG _{2,5}	20	2,5	9,565	10,886	11,548
SF ₂₀ WG _{7,5}	20	7,5	6,982	8,161	9,645
SF ₂₀ WG _{12,5}	20	12,5	4,734	5,22	6,461

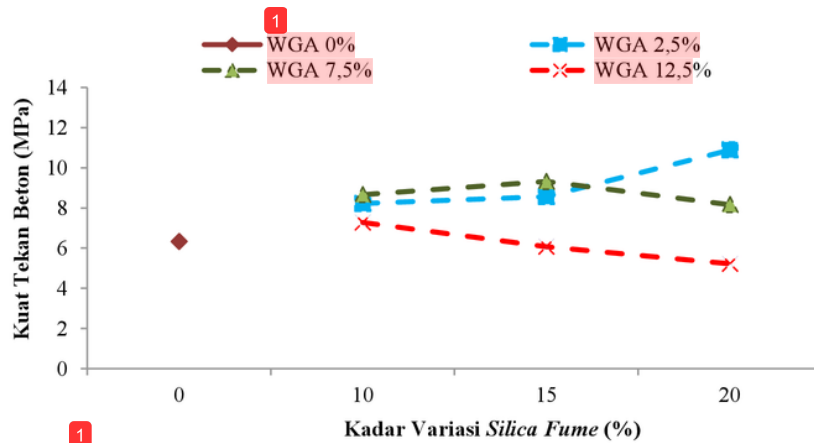
Berikut ini merupakan penjabaran grafik hubungan antara variasi beton dengan kuat tekan beton pada umur 7 hari. Hasil pengujian kuat tekan umur 7 hari dapat dilihat pada lampiran 1.



Gambar 4.2. Grafik kuat tekan *pervious concrete* pada umur 7 hari

Berdasarkan grafik tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan pada umur 7 hari memiliki nilai kuat tekan tertinggi pada variasi $SF_{20}WG_{2,5}$ dengan kadar silica fume 20% dan waste glass aggregate 2,5% sebesar 9,565 MPa.

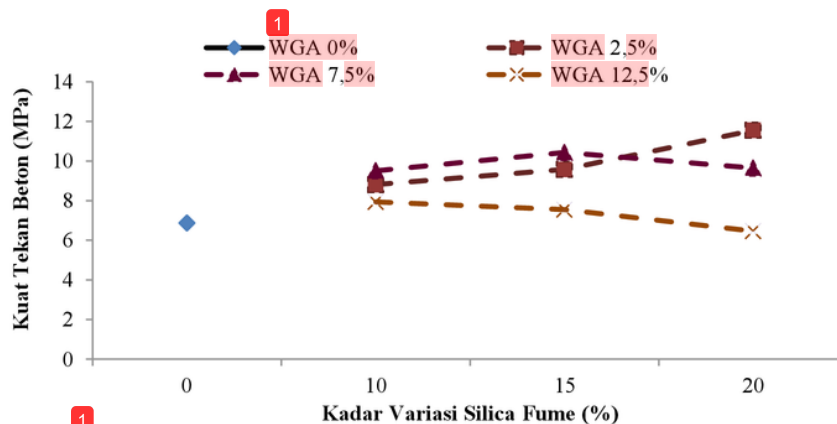
Berikut ini penjabaran grafik hubungan antara variasi beton dengan kuat tekan beton pada umur 14 hari. Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 2.



Gambar 4.3. Grafik kuat tekan pervious concrete pada umur 14 hari

Dari grafik 4.3, terlihat perbandingan antara kuat tekan beton umur 7 hari dengan kuat tekan beton umur 14 hari. Seperti halnya pada kode variasi $SF_{10}WG_{2,5}$ dengan kuat tekan pada umur 7 hari mencapai 7,008 MPa kemudian dilakukan pengujian pada umur 14 hari meningkat menjadi 8,223 MPa.

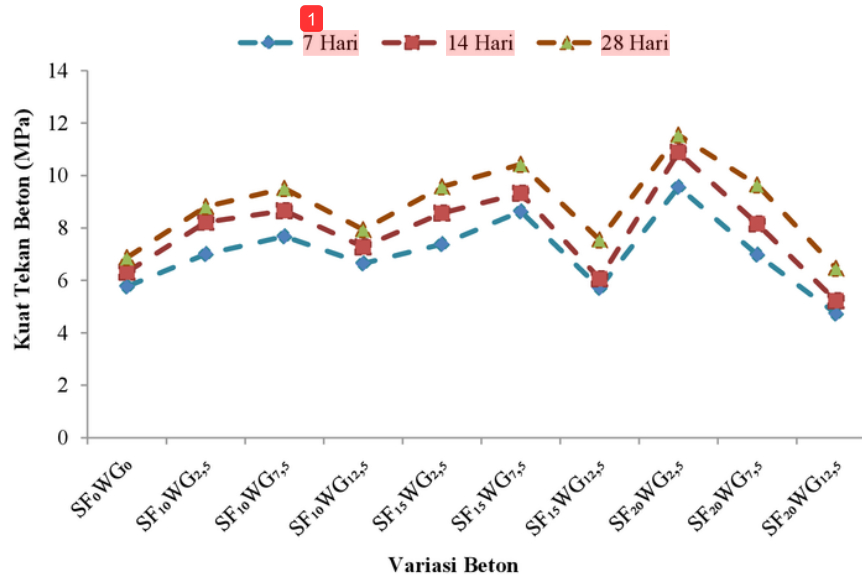
Berikut ini merupakan hasil penjabaran grafik hubungan antara variasi beton dengan kuat tekan beton pada umur 28 hari.



Gambar 4.4. Grafik kuat tekan pervious concrete pada umur 28 hari

Berdasarkan grafik 4.4, bahwa kuat tekan beton pada umur 28 hari sudah mencapai 99%. Pada penelitian ini kombinasi campuran $SF_{20}WG_{2,5}$ memiliki

kuat tekan optimum yaitu 11, 548 MPa dengan penambahan kadar ¹ *silica fume* 20% dan *waste glass aggregate* 2,5%. Dan untuk kuat tekan terendah pada kombinasi campuran $SF_{20}WG_{12,5}$ yaitu 6,461 MPa dengan kadar 20% *silica fume* dan 2,5% kadar *waste glass aggregate*. Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 3.



¹ Gambar 4.5. Grafik kuat tekan *pervious concrete* pada umur 7, 14, dan 28 hari

Berdasarkan grafik 4.5. bahwa kuat tekan rata-rata beton *pervious concrete* pada umur 7, 14 dan 28 hari menunjukkan hasil yang meningkat. Hal itu disebabkan karena secara umum pada umur 7 hari kekuatan beton meningkat sebesar 65%, kemudian pada umur 14 hari kekuatan meningkat sebesar 90% dan pada umur 28 hari kekuatan meningkat sebesar 99% dan terus meningkat kekuatannya selama masa penggunaan. Namun, peningkatan kekuatan di masa yang akan datang tidak secepat dan sebanyak peningkatan pada umur 28 hari pertama. sebab kekuatan beton 99% pada umur 28 hari, hasil ini sangat mendekati kekuatan akhir yang mana dapat dicapai sebenarnya dalam waktu 1 atau 2 tahun kemudian.

Substitusi campuran *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) dan *silica fume* menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi daripada *pervious normal*

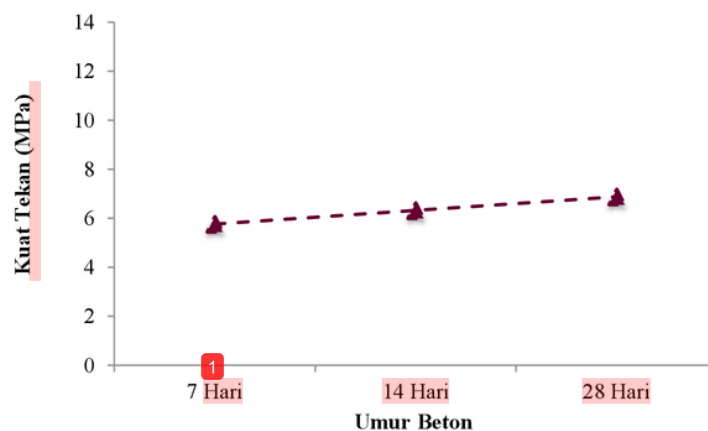
yaitu dengan kombinasi *waste glass aggregate* 2,5% dengan *silica fume* 20% menjadi sebesar 11,548 MPa.

4.2.1. Substitusi *Silica Fume* 0% dengan Kadar *Waste Glass Aggregate* 0%

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton *pervious* normal dengan menggunakan *silica fume* dengan kadar 0% dan *waste glass aggregate* 0% dapat dilihat pada Tabel 4.2, sedangkan pada gambar 4.6. menunjukkan hubungan antara substitusi *silica fume* 0% dan *waste glass aggregate* 0%.

Tabel 4.2. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 0% dan *waste glass aggregate* 0%

Kode	WGA (%)	Kuat tekan rata-rata (MPa)		
		7 Hari (MPa)	14 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
SF ₀ WG ₀	0	5,763	6,319	6,876



Gambar 4.6. Grafik kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 0%

Berdasarkan Tabel 4.2. dan Gambar 4.6. dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah umur beton maka semakin besar kuat tekan beton yang dihasilkan. Pada campuran *pervious concrete* yang tidak mengandung *silica fume* dan *waste glass aggregate* pada umur 28 hari menghasilkan kuat tekan sebesar 6,876 MPa.

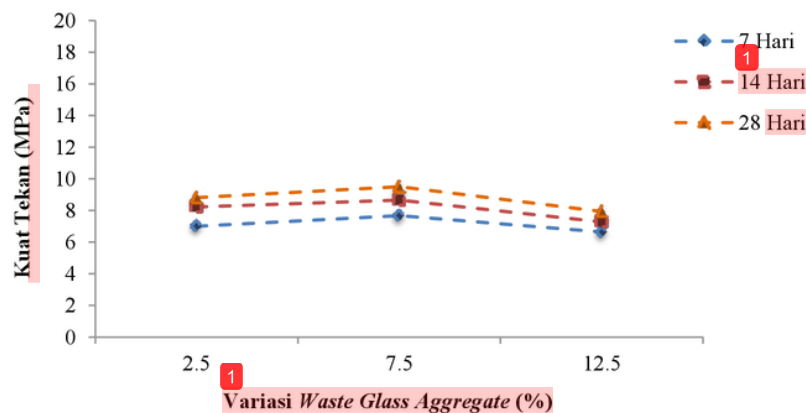
4.2.2. Pengaruh Substitusi *Silica Fume* 10% dengan Variasi *Waste Glass Aggregate (WGA)*

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata *pervious concrete* dengan variasi *waste glass aggregate* 2,5% , 7,5% , dan 12,5% dengan kadar *silica fume* 10% dapat dilihat pada Tabel 4.3. sedangkan, pada gambar 4.8. menunjukkan hubungan antara substitusi *silica fume* 10% dengan variasi *waste glass aggregate*.

Tabel 4.3. Hasil pengujian kuat tekan dengan substitusi *silica fume* 10% dan variasi *waste glass aggregate*

Kode	WGA (%)	Kuat tekan rata-rata (MPa)		
		7 Hari (MPa)	14 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
SF ₁₀ WG _{2,5}	2,5	7,008	8,223	8,81
SF ₁₀ WG _{7,5}	7,5	7,675	8,656	9,504
SF ₁₀ WG _{12,5}	12,5	6,642	7,278	7,936

Pada tabel 4.8. Campuran *pervious concrete* dengan kadar *silica fume* 10% mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kadar *waste glass aggregate* 2,5%, 7,5% namun dengan penambahan kadar *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) 12,5% mengalami penurunan kuat tekan beton. Pada gambar 4.7 menunjukkan grafik hubungan antara substitusi *silica fume* 10% dengan variasi *waste glass aggregate* 2,5%, 7,5%, dan 12,5%.



Gambar 4.7. Grafik kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 10% dan variasi *waste glass aggregate*

Berdasarkan grafik hasil pengujian rerata kuat tekan beton pada campuran *pervious concrete* kode SF₁₀WG_{7,5} dengan substitusi *silica fume* 10% dan *waste glass aggregate* (agregat kaca) 7,5% menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi yaitu sebesar 9,504 MPa dan kuat tekan terendah berada pada variasi SF₁₀WG_{12,5} yaitu 7,936 MPa dengan kadar *silica fume* 10% dan *waste glass aggregate* 12,5%. Adapun persentase perubahan kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari terhadap beton *pervious concrete* normal dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Persentase perubahan kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 10% dan variasi *waste glass aggregate*

Kode	WGA (%)	Kuat Tekan	Persentase	Kuat Tekan	Persentase
		7 Hari (MPa)	Perubahan (%)	28 Hari (MPa)	Perubahan (%)
SF ₁₀ ,WG _{2,5}	2,5	7,008	21,603	8,81	28,127
SF ₁₀ ,WG _{7,5}	7,5	7,675	33,177	9,504	38,336
SF ₁₀ ,WG _{12,5}	12,5	6,642	15,252	7,936	15,416

Berdasarkan tabel 4.4. dapat terlihat bahwa kuat tekan SF₁₀,WG_{2,5} dengan substitusi *silica fume* 10% dan penambahan kadar agregat kaca 2,5% mengalami peningkatan sebesar 28,127% terhadap *pervious concrete* normal, sedangkan untuk kuat tekan SF₁₀,WG_{7,5} dan SF₁₀,WG_{12,5} dengan substitusi 10% *silica fume* yang ditambah dengan agregat kaca 7,5% dan 12,5% mengalami peningkatan kuat tekan hanya 38,220% dan 15,416% terhadap *pervious concrete* normal.

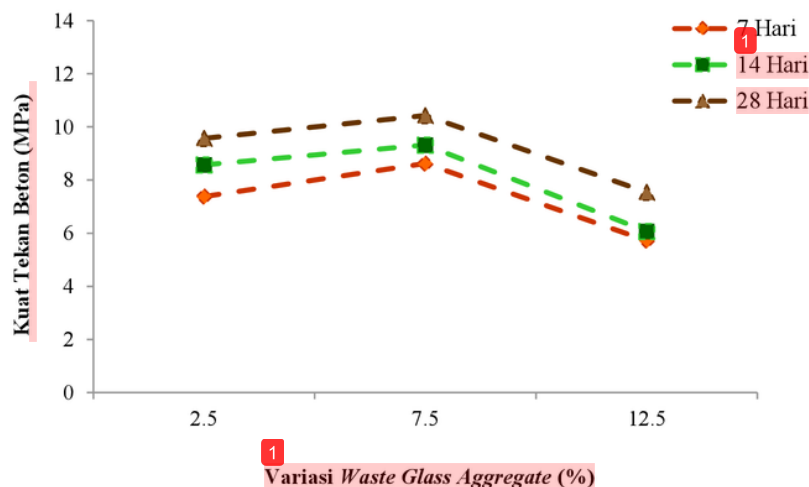
4.2.3. Pengaruh Substitusi *Silica Fume* 15% dengan Variasi *Waste Glass Aggregate* (WGA)

Pada tabel 4.5. menampilkan hasil pencapaian kuat tekan rata-rata beton *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* sebesar 15% dan penambahan variasi *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) sebesar 2,5%, 7,5%, dan 12,5%, sedangkan pada gambar 4.8. Menampilkan grafik hubungan antara kuat tekan *pervious concrete* pada umur 7, 14, dan 28 hari dengan substitusi *silica fume* 15% dan variasi kadar *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca)

1 Tabel 4.5. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 15% dan variasi *waste glass aggregate*

Kode	WGA (%)	Kuat tekan rata-rata (MPa)		
		7 Hari (MPa)	14 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
SF ₁₅ WG _{2,5}	2,5	7,379	8,567	9,574
SF ₁₅ WG _{7,5}	7,5	8,625	9,322	10,431
SF ₁₅ WG _{12,5}	12,5	5,719	6,068	7,543

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang dicapai pada umur 28 hari dengan variasi SF₁₅WG_{2,5}, SF₁₅WG_{7,5}, SF₁₅WG_{12,5} secara berturut-turut adalah 9,574 MPa, 10,431 MPa, dan 7,543 MPa.



1 Gambar 4.8. Grafik kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 15% dan variasi *waste glass aggregate*

Dari grafik 4.8 terjadi peningkatan kuat tekan dengan substitusi *silica fume* sebesar 15% pada penambahan 2,5% dan 7,5% *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca), tetapi pada penambahan 12,5% *waste glass aggregate* mengalami penurunan kuat tekan. Variasi penggunaan *waste glass aggregate* dengan *silica fume* 15% memberikan hasil kuat tekan optimum pada SF₁₅WG_{7,5}. Kuat tekan pada SF₁₅WG_{7,5} mencapai 10,431 MPa dengan kadar *waste glass aggregate* 7,5%.

Kuat tekan terendah yang dicapai adalah sebesar 7,543 MPa pada SF₁₅WG_{12,5} dengan substitusi waste glass aggregate 12,5%. Persentase perubahan kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari terhadap beton pervious concrete normal dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Persentase perubahan kuat tekan pervious concrete dengan substitusi silica fume 15% dan variasi waste glass aggregate

Kode	WGA (%)	Kuat Tekan	Persentase	Kuat Tekan	Persentase
		7 Hari (MPa)	Perubahan (%)	28 Hari (MPa)	Perubahan (%)
SF ₁₅ WG _{2,5}	2,5	7,379	28,041	9,574	39,238
SF ₁₅ WG _{7,5}	7,5	8,625	49,662	10,431	51,702
SF ₁₅ WG _{12,5}	12,5	5,719	-0,763	7,543	9,700

Berdasarkan hasil kuat tekan pada variasi SF₁₅WG_{2,5} dengan substitusi silica fume 15% dan waste glass aggregate (agregat limbah botol kaca) mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 39,238% terhadap beton pervious normal, sedangkan untuk kuat tekan variasi SF₁₅WG_{7,5} dengan kadar silica fume 15% dan penambahan waste glass aggregate 7,5% meningkat sebesar 51,702% dari pervious concrete normal, angka ini lebih tinggi dibandingkan dengan dengan SF₁₅WG_{2,5}. Persentase perubahan kuat tekan terhadap pervious concrete normal hanya mengalami peningkatan sebesar 9,7% pada variasi SF₁₅WG_{12,5} dengan substitusi silica fume 15% dan dengan penambahan kadar waste glass aggregate 12,5%.

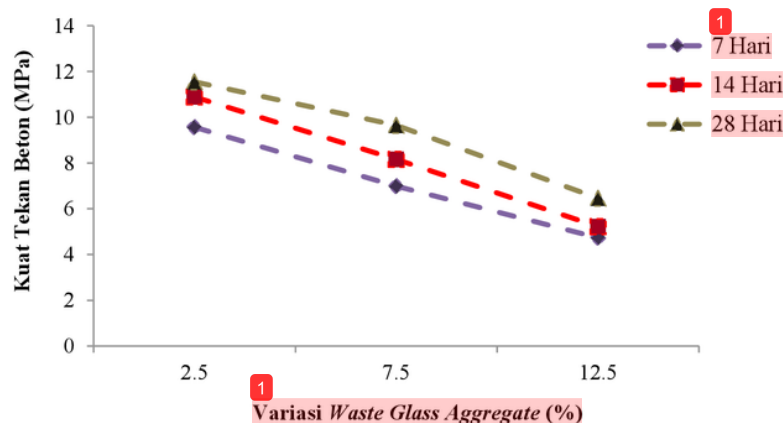
4.2.4. Pengaruh Substitusi Silica Fume 20% dengan Variasi Waste Glass Aggregate (WGA)

Pada campuran beton pervious concrete dengan substitusi pengganti semen berupa silica fume sebesar 20% dan penambahan waste glass aggregate (agregat limbah botol kaca) 2,5%, 7,5%, dan 12,5%, didapatkan hasil kuat tekan rata-rata beton yang dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.9.

Tabel 4.7. Hasil pengujian kuat tekan dengan substitusi *silica fume* 20% dan variasi *waste glass aggregate*

Kode	WGA (%)	Kuat tekan rata-rata (MPa)		
		7 Hari (MPa)	14 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
SF ₂₀ WG _{2,5}	2,5	9,565	10,886	11,548
SF ₂₀ WG _{7,5}	7,5	6,982	8,161	9,645
SF ₂₀ WG _{12,5}	12,5	4,734	5,22	6,461

Berdasarkan hasil kuat tekan *pervious concrete* umur 28 hari, campuran substitusi *silica fume* 20% dengan penambahan *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) 2,5% menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Namun mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar variasi agregat kaca sebesar 7,5% dan 12,5%. Grafik hubungan antara substitusi *silica fume* 20% dengan variasi kadar agregat kaca 2,5%, 7,5%, dan 12,5% dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 20% dan variasi *waste glass aggregate*

Berdasarkan hasil kuat tekan beton pada variasi campuran SF₂₀WG_{2,5} dengan kadar *silica fume* 20%, *pervious concrete* mengalami peningkatan dengan penambahan kadar *waste glass aggregate* 2,5% yang merupakan kuat tekan optimum pada penelitian ini yaitu mencapai 11,548 MPa, namun mengalami penurunan ketika penambahan kadar *waste glass aggregate* 7,5% dan 12,5%.

Kuat tekan terendah berada pada variasi campuran SF₂₀WG_{12,5} yaitu 6,461 MPa dengan substitusi 20% *silica fume* dengan penambahan 12,5% *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca). Persentase perubahan kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari terhadap beton *pervious concrete* normal dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Persentase perubahan kuat tekan *pervious concrete* dengan substitusi *silica fume* 20% dan variasi *waste glass aggregate*

Kode	WGA (%)	7 Hari (MPa)	Persentase Perubahan (%)	28 Hari (MPa)	Persentase Perubahan (%)
SF ₂₀ WG _{2,5}	2,5	9,565	65,973	11,548	67,946
SF ₂₀ WG _{7,5}	7,5	6,982	21,152	9,645	40,271
SF ₂₀ WG _{12,5}	12,5	4,734	-17,855	6,461	-6,035

Hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari pada SF₂₀WG_{2,5} dengan substitusi *silica fume* 20% dan kadar agregat kaca 2,5% mengalami peningkatan yang tinggi sebesar 67,946% terhadap *pervious concrete* normal, sedangkan pada kuat tekan SF₂₀WG_{7,5} dengan substitusi 20% *silica fume* yang ditambah dengan agregat kaca 7,5% hanya meningkat 40,271% dari *pervious concrete* normal. Sedangkan pada SF₂₀WG_{12,5} dengan penambahan kadar agregat kaca yang lebih tinggi yaitu 12,5% pada *pervious concrete* yang mengandung 20% *silica fume* tidak mengalami peningkatan kuat tekan, akan tetapi terjadi penurunan sebesar 6,035 % dari *pervious concrete* normal.

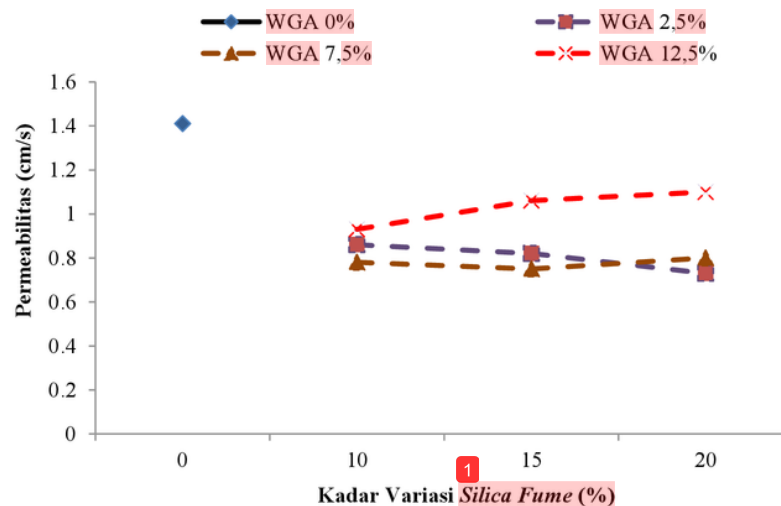
4.3. Hasil Pengujian Permeabilitas *Pervious Concrete*

Hasil pengujian permeabilitas beton *pervious concrete* diperoleh dari hasil rata-rata pengujian permeabilitas pada 3 sampel beton pada umur 28 hari. Pengujian permeabilitas beton dilakukan untuk membandingkan nilai permeabilitas berdasarkan substitusi variasi agregat limbah botol kaca dan *silica fume*. Pada Tabel 4.9. menampilkan hasil pengujian permeabilitas beton *pervious* pada umur 28 hari.

Tabel 4.9. Hasil pengujian permeabilitas rata-rata beton *pervious concrete* pada umur 28 hari

Kode	Silica Fume (%)	WGA (%)	Permeabilitas (Cm/s)	Persentase Perubahan (%)
SF ₀ WG ₀	0	0	1,41	0,000
SF ₁₀ WG _{2,5}	10	2,5	0,86	-39,007
SF ₁₀ WG _{7,5}	10	7,5	0,78	-44,681
SF ₁₀ WG _{12,5}	10	12,5	0,93	-34,043
SF ₁₅ WG _{2,5}	15	2,5	0,82	-41,844
SF ₁₅ WG _{7,5}	15	7,5	0,75	-46,809
SF ₁₅ WG _{12,5}	15	12,5	1,06	-24,823
SF ₂₀ WG _{2,5}	20	2,5	0,73	-48,227
SF ₂₀ WG _{7,5}	20	7,5	0,8	-43,262
SF ₂₀ WG _{12,5}	20	12,5	1,1	-21,986

Dari hasil tabel 4.9. menunjukkan bahwa pengujian permeabilitas rata-rata beton *pervious* pada kondisi normal adalah sebesar 1,12 cm/s. Pada variasi SF₀WG₀ dengan kombinasi agregat kaca 0% dan *silica fume* 0% menghasilkan nilai permeabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan *pervious concrete* yang bervariasi pada penelitian ini yaitu sebesar 1,1 cm/s. Grafik hasil pengujian permeabilitas *pervious concrete* dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Grafik hasil pengujian permeabilitas

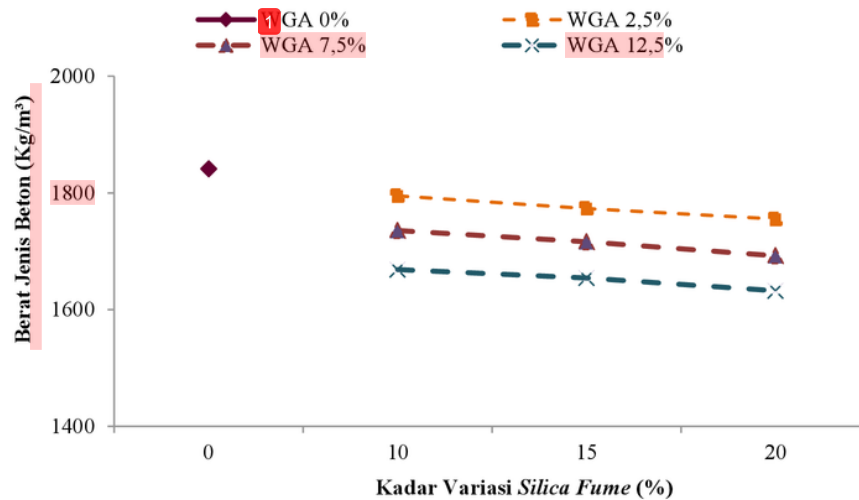
Berdasarkan acuan nilai permeabilitas pada standar ACI 522R (2010) berkisar pada rentang 0,14 – 1,22 cm/s. Pada variasi penggunaan agregat limbah botol kaca dengan kadar 12,5% dan *silica fume* 20% pada kode SF₂₀WG_{12,5} memiliki nilai permeabilitas sebesar 1,1 cm/s. Untuk nilai permeabilitas terendah berada pada variasi campuran SF₂₀WG_{2,5} yaitu 0,73 cm/s dan dikategorikan masuk dalam rentang standar ACI 522R-10

4.4. Hasil Berat Jenis Beton *Pervious Concrete*

Data hasil berat jenis beton *pervious concrete* didapatkan dari hasil penimbangan sampel beton setelah dilakukan proses perawatan beton pada umur 28 hari. Data hasil berat jenis sampel beton *pervious concrete* ini digunakan sebagai acuan untuk menganalisa data berat jenis setiap variasi campuran yang paling ringan dan yang paling tinggi. Pengujian berat jenis beton *pervious concrete* juga digunakan untuk menganalisis pengaruh penggunaan *waste glass aggregate* pada campuran terhadap berat beton *pervious concrete*. Nilai berat jenis didapat dari rata-rata berat untuk 3 benda uji. Pada tabel 4.10, merupakan rekapitulasi hasil pengujian berat jenis *pervious concrete* pada umur 28 hari. Dan pada gambar 4.11, menunjukkan grafik hubungan antara variasi agregat limbah kaca dan terhadap berat jenis *pervious concrete*.

Tabel 4.10. Hasil pengujian berat jenis sampel pada *pervious concrete* umur 28 hari

Kode	<i>Silica Fume</i> (%)	<i>WGA</i> (%)	Berat Jenis Beton(Kg/m ³)	Persentase Perubahan
SF ₀ WG ₀	0	0	1840,977	0,000
SF ₁₀ WG _{2,5}	10	2,5	1794,904	-2,503
SF ₁₀ WG _{7,5}	10	7,5	1735,456	-5,732
SF ₁₀ WG _{12,5}	10	12,5	1668,577	-9,365
SF ₁₅ WG _{2,5}	15	2,5	1773,248	-3,679
SF ₁₅ WG _{7,5}	15	7,5	1716,136	-6,781
SF ₁₅ WG _{12,5}	15	12,5	1654,352	-10,137
SF ₂₀ WG _{2,5}	20	2,5	1755,202	-4,659
SF ₂₀ WG _{7,5}	20	7,5	1692,144	-8,084
SF ₂₀ WG _{12,5}	20	12,5	1632,272	-11,337



Gambar 4.11. Grafik berat jenis *pervious concrete*

Berdasarkan data berat sampel *pervious concrete* yang diperoleh dari hasil pengujian pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa variasi penggunaan agregat kaca dan *silica fume* berpengaruh terhadap berat beton *pervious concrete*. Penggunaan agregat limbah kaca dan *silica fume* pada $SF_{20}WG_{12.5}$ menghasilkan berat jenis beton yang lebih ringan dibandingkan dengan SF_0WG_0 . Hal ini disebabkan oleh berat jenis *waste glass aggregate* (agregat limbah botol kaca) yang lebih ringan dibandingkan dengan berat jenis agregat kasar, selain itu juga disebabkan karena semakin besar penambahan kadar *silica fume* maka berat beton semakin ringan mengingat berat jenis *silica fume* lebih kecil daripada berat jenis semen. Jadi, dapat disimpulkan bahwa semakin besar variasi *waste glass aggregate* dan kadar *silica fume* yang digunakan maka semakin ringan berat beton yang dihasilkan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh substitusi *waste glass aggregate* atau agregat limbah botol kaca dan *silica fume* pada hasil uji *slump* untuk setiap variasi menghasilkan nilai *slump* nol atau tidak mengalami penurunan sama sekali, sehingga memenuhi kriteria *pervious concrete* berdasarkan standar ACI 522R-10
2. Pengaruh substitusi *waste glass aggregate* atau agregat limbah botol kaca dan *silica fume* terhadap kuat tekan beton *pervious concrete* antara lain:
 - a. Penggunaan *silica fume* dengan kadar 20% dan penambahan kadar *waste glass aggregate* 2,5% dapat menambah kuat tekan beton *pervious concrete* dan menghasilkan kuat tekan maksimum yaitu sebesar 11,548 MPa.
 - b. Pada kombinasi campuran *silica fume* 10%, 15% dan 20% dan dengan kadar *waste glass aggregate* 2,5% mengalami peningkatan kuat tekan *pervious concrete*. Selain itu pada kombinasi campuran *silica fume* 10% dan 15% dengan kadar *waste glass aggregate* 7,5% juga mengalami peningkatan kuat tekan *pervious concrete*. Akan tetapi seiring dengan penambahan variasi *waste glass aggregate* lebih dari 7,5% kuat tekan mengalami penurunan. Kombinasi substitusi *waste glass aggregate* 2,5% dengan kadar *silica fume* 20 % menghasilkan kuat tekan paling maksimum pada penelitian ini yaitu sebesar 11,548 MPa dan yang paling minimum adalah 6,641 MPa yang menggunakan substitusi *waste glass aggregate* 12,5% dan *silica fume* 20%.
3. Hasil nilai permeabilitas maksimum pada penelitian ini yaitu sebesar 1,41 cm/s pada *pervious concrete* normal. Dan hasil nilai permeabilitas minimum pada penelitian ini yaitu berada pada kadar 2,5% *waste glass aggregate* dan 20% kadar *silica fume* yaitu 0,73 cm/s.

4. ¹ Semakin tinggi penggunaan kadar substitusi *waste glass aggregate* dan *silica fume* berat beton menjadi semakin ringan, hal ini disebabkan oleh ¹ *silica fume* memiliki berat jenis yang lebih rendah dibandingkan semen ¹ begitupula dengan *waste glass aggregate* memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan agregat kasar.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian yang ¹ telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penambahan variasi *silica fume* 0% dengan kadar *waste glass aggregate* 2,5%, 7,5%, dan 12,5% guna mengetahui perbandingan hasil berat beton, hasil uji kuat tekan dan hasil uji permeabilitas.
2. Pada proses pencetakan benda uji di *bekisting* sebaiknya permukaan di atasnya diratakan agar dapat menjaga keakuratan data yang dihasilkan.
3. Untuk penelitian selanjutnya harus lebih memperhatikan tekstur dan kekuatan dari *waste glass aggregate* agar diperoleh hasil yang lebih baik lagi.

Pengaruh Variasi Silica Fume Dan Waste Glass Aggregate Pada Campuran Pervious Concrete Dengan Curing

ORIGINALITY REPORT

40%

SIMILARITY INDEX

8%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

36%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

33%

2

eprints.uns.ac.id

Internet Source

2%

3

www.ilmubeton.com

Internet Source

1%

4

id.scribd.com

Internet Source

1%

5

seputarbeton.blogspot.com

Internet Source

1%

6

www.hilongetextile.com

Internet Source

1%

7

jurnalteknik.janabadra.ac.id

Internet Source

1%

8

www.scribd.com

Internet Source

1%

Exclude quotes On

Exclude bibliography On

Exclude matches < 1%