

TUGAS AKHIR

PENGARUH PRESENTASE AGREGAT KASAR BATU KARANG TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS BETON FAST TRACK POROUS DENGAN PENAMBAHAN FILLER SILICA FUME

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Akademis
Dalam menyelesaikan pendidikan Tingkat Sarjana (Strata-1) Teknik Sipil – Fakultas Teknik
Universitas Sangga Buana - YPKP Bandung*

Disusun Oleh :

Gunawan

2112241128



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP
BANDUNG**

2026

LEMBAR PENGESAHAN & PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR

PENGARUH PRESENTASE AGREGAT KASAR BATU KARANG
TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS BETON
FAST TRACK POROUS

DENGAN PENAMBAHAN FILLER SILICA FUME

Disusun Oleh :

Nama : Gunawan

NPM : 2112241128

Naskah Tugas Akhir ini diperiksa dan disetujui sebagai kelengkapan persyaratan kelulusan, guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.

Menyetujui & Mengesahkan,

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. H. R Didin Kudian, M.T.
NIK. 432.200.091

Mengetahui : Ketua Prodi Teknik Sipil
Universitas Sangga Buana YPKP



Muhammad Syukri, ST., MT
NIK. 432.200.200

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PRESENTASE AGREGAT KASAR BATU KARANG
TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS
BETON FAST TRACK POROUS
DENGAN PENAMBAHAN FILLER SILICAFUME**

Disusun Oleh

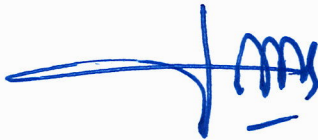
Gunawan

2112241128

Naskah Tugas Akhir ini Diperiksa dan Disetujui Sebagai Kelengkapan Persyaratan Kelulusan, Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sangga Buana YPKP Bandung

Mengetahui

Disetujui Oleh
Dosen Penguji 1



Ir. Doni Rhomdoni Witarsa, ST., MT., IPM.
NIP. 432.200.226

Disetujui Oleh
Dosen Penguji 2



Dea Yunita Sari, ST., MT.
NIK. 432.200.241

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Universitas Sangga Buana YPKP



Muhammad Syukri, ST., MT
NIK. 432.200.200

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa tugas akhir yang berjudul “ ***PENGARUH PRESENTASE AGREGAT KASAR BATU KARANG TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS BETON FAST TRACK POROUS DENGAN TAMBAHAN FILLER SILICA FUME***” ini

sepenuhnya karya saya sendiri. Tidak ada bagian didalamnya yang merupakan plagiat dari karya orang lain dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko / sanksi di jatuhkan kepada saya apa bila kemudian di temukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya ini, atau ada klaim dari pihak terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Februari 2026

Pembuat pernyataan



Gunawan

2112241128

**PENGARUH PRESENTASE AGREGAT KASAR BATU KARANG
TERHADAP KUAT TEKAN DA PERMEABILITAS BETON FAST
TRACK POROUS
DENGAN TAMBAHAN FILLER SILICA FUME**

Oleh Gunawan

Sebuah skripsi yang di ajukan untuk memenuhi
salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Fakultas Teknik

Gunawan 2026
Universitas sangga buana – YPKP
2026

Hak Cipta dilindungi undang-undang
Skripsi ini tidak boleh di perbanyak seluruhnya atau sebagian,
Dengan di cetak ulang,di foto kopi, atau cara lainya tanpa ijin dari penulis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan dan menganalisis karakteristik beton fast track porous (*pervious*) sebagai solusi mitigasi limpasan air permukaan (*surface runoff*) dengan memanfaatkan material lokal berupa agregat kasar batu karang jahe, serta memodifikasi matriks pasta semen menggunakan bahan tambahan *silica fume* 5% dan *superplasticizer* (Conso N11 LN) 0,9% untuk mencapai kekuatan awal yang tinggi. Mengacu pada standar ACI 522R-10, penelitian ini menguji benda uji silinder (15x30 cm) dengan tiga variasi komposisi gradasi agregat kasar batu karang (1,5 cm : 2,5 cm) yaitu B1 KARANG (25% : 75%) B2 KARANG (50% : 50%), dan B3 KARANG (75% : 25%) pengujian kuat tekan di fokuskan pada umur 3 hari dan 7 hari untuk meninjau karakteristik *fast track*, serta umur 28 hari sebagai kontrol.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa batu karang memiliki karakteristik agregat ringan dengan berat jenis curah sebesar 1,20 berat isi pada rata-rata 650,6 kg/m³, dan penyerapan air yang sangat tinggi sebesar 28,78%. Nilai kuat tekan kuat tekan mekanis beton porous meningkat secara linear seiring bertambahnya persentase fraksi agregat yang lebih kecil (1,5cm) dan bertambahnya umur beton. Pada umur awal 3 hari, kuat tekan rata-rata yang di capai berturut-turut adalah 3,41 Mpa (B1), 3,58 Mpa (B2), dan tertinggi pada B3 sebesar 3,81 Mpa. Pada umur 7 hari, kuat tekan meningkat menjadi 3,92 Mpa (B1), 4,09 Mpa (B2), dan 4,28 Mpa (B3) puncak kekuatan mekanis mencapai 28 hari, di mana variasi B3 Karang menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 6,80 Mpa, diikuti oleh B2 Karang sebesar 6,19 Mpa, dan B1 Karang sebesar 5,98 Mpa. Dengan demikian, variasi Karang di simpulkan sebagai komposisi campuran optimum karena dominasi ukuran agregat yang lebih kecil mampu memperluas permukaan ikatan pasta semen dan mengoptimalkan epek saling kunci (*interlocking*) antar butiran batuan, sehingga menghasilkan kapasitas dukun beban mekanis tinggi pada umur awal maupun umur matang.

Kata Kunci : Beton porous, fast track, Batu Karang, Silica fume, Kuat Tekan

ABSTRACT

This study aims to design and analyze the characteristics of porous (pervious) fast track concrete as a surface runoff mitigation solution by utilizing local materials in the form of coarse aggregate made of ginger coral rock. The cement paste matrix was modified using 5% silica fume and 0.9% superplasticizer (Conso N11 LN) to achieve high early strength. Referring to the ACI 522R-10 standard, this study tested cylindrical specimens (15x30 cm) with three variations in coarse aggregate gradation (1.5 cm: 2.5 cm): B1 KARANG (25%: 75%), B2 KARANG (50%: 50%), and B3 KARANG (75%: 25%). Compressive strength testing focused on the 3- and 7-day ages to assess the fast track characteristics, with 28 days as a control.

The test results show that coral rock has the characteristics of lightweight aggregate with a bulk density of 1.20 unit weight at an average of 650.6 kg/m³, and very high water absorption of 28.78%. The compressive strength value of porous concrete mechanical compressive strength increases linearly with increasing percentage of smaller aggregate fractions (1.5cm) and increasing age of concrete. At the initial age of 3 days, the average compressive strength achieved was 3.41 Mpa (B1), 3.58 Mpa (B2), and the highest at B3 of 3.81 Mpa. At 7 days, the compressive strength increased to 3.92 MPa (B1), 409 MPa (B2), and 4.28 MPa (B3). The peak mechanical strength was reached at 28 days, with the B3 Karang variation producing the highest compressive strength of 6.80 MPa, followed by B2 Karang at 6.19 MPa, and B1 Karang at 5.98 MPa. Therefore, the Karang variation was concluded as the optimum mixture composition because the dominance of smaller aggregate sizes was able to expand the bonding surface of the cement concrete and optimize the interlocking effect between rock grains, resulting in a high mechanical load-bearing capacity at both early and mature ages.

Keywords: Porous concrete, fast track, Karang Rock, Silica fume, Compressive Strength

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, yang adalah sumber dari seluruh ilmu pengetahuan, pencipta cahaya ilham, dan asal dari segala kebenaran, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul.

“PENGARUH PRESENTASE AGREGAT KASAR BATU KARANG TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS BETON FAST TRACK POROUS DENGAN PENAMBAHAN FILLER SILICA FUME”.

Penulis menghaturkan banyak terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah membantu, tanpa Beliau-beliau ini, tidak akan dapat mencapai hasil dengan baik . Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Didin Saepudin, SE., M.Si, selaku Rektor Universitas Sangga Buana (USB) YPKP - Bandung.
2. Dr. Teguh Nurhaemi Suharno, MT, selaku Wakil Rektor I Universitas Sangga Buana (USB) YPKP - Bandung.
3. Dr. Bambang Susanto, SE., M.Si, selaku Wakil Rektor II Universitas Sangga Buana (USB) YPKP - Bandung.
4. Dr. Nurhaeni Sikki, S.AP., M.AP. selaku Wakil Rektor III Universitas Sangga Buana (USB) YPKP - Bandung.
5. Slamet Risnanto, S.T., M.Kom.,Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana (USB) YPKP - Bandung
6. Muhammad Syukri ST, M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil (USB) YPKP - Bandung.
7. Dr.Ir. H. R Didin Kusdian, M.T, selaku Selaku Pembimbing Tugas Akhir Universitas Sangga Buana (USB) YPKP - Bandung.
8. Segenap dosen, staff Program Studi Teknik Sipil, dan staff Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sangga Buana (USB) YPKP - Bandung, yang selalu membantu dalam informasi dan kebutuhan penelitian selama menyelesaikan TUGAS AKHIR ini.

9. Kedua Orang Tua yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan arahan serta dorongan baik moril, spiritual, maupun materil.
10. Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu namanya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih belum sempurna, namun pada akhirnya kita adalah manusia yang tak akan terhindar dari kesalahan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun dengan sikap positif akan penulis terima dengan baik sebagai bahan pertimbangan dan perbaikan. Harapan saya agar Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis secara khusus dan semua pihak yang terkait dengan penulis Tugas Akhir ini

Bandung, Februari 2026



Gunawan
2112241128

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.2. Batasan Masalah.....	2
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Maksud dan Tujuan Penelitian	4
1.4.1 Maksud Penelitian	4
1.4.2 Tujuan.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 _Beton Poros (Pervous Concrete)	9
2.2 Teknologi Beton Fast Track.....	9
2.3 Kuat Tekan (ACI 301).....	12
2.4 Permeabilitas (Permeability).....	12
2.5 Material Penyusun Beton Porous	13
2.5.1 Semen Portland.....	13
2.5.2 Agregat Halus.....	16
2.5.3 Agregat Kasar (SNI 03-6820-2002)	18

2.5.4	Air.....	19
2.5.5	Admixture.....	20
2.5.6	Additive	21
2.6	Workability.....	22
2.6.1	Karakteristik Campuran Beton Porous	22
2.6.2	Indikator Workability yang Baik.....	23
2.6.3	Tantangan Workability pada Beton Fast Track	22
2.7	Faktor Air Semen	24
2.7.1	FAS pada Beton Porous (ACI 522R-10)	24
2.7.2	Pengaruh FAS terhadap Beton Fast Track.....	24
2.6	Slump	25
2.8.1	Slump pada Beton Porous	26
2.8.2	Metode Kontrol Kualitas Visual (Hand Squeeze Test).....	27
2.8.3	Pengaruh Silica Fume terhadap Slump	27
2.9	Penelitian Terdahulu.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Metode Penelitian.....	31
3.2	Lokasi Penelitian	33
3.3	Jenis Benda Uji.....	33
3.4	Material dan Peralatan.....	34
3.4.1	Material	34
3.4.2	Peralatan.....	38
3.5	Standar Pengujian.....	38
3.6	Standar dan Alat Pengujian.....	39
3.7	Tahapan Pengujian Material Agregat Kasar	39

3.7.1	Pemeriksanaan Analisis Saringan Angregat Kasar	39
3.7.2	Analisis <i>Specific-Gravity</i> (Berat Janis) dan Penyerapan Air	40
3.7.3	Analisis Berat Isi Volume Agregat Kasar	42
3.7.4	Pangujian Berat Isi Agregat Kasar.....	44
3.7.5	Pengujian Kadar Lumpur	46
3.8	Tahapan Pengujian Material Agregat Halus	47
3.8.1	Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus.....	47
3.8.2	Analisis <i>Specific-Gravity</i> (Berat Jenis) dan Penyerapan Air	49
3.9	Tahapan Pembuatan Benda Uji.....	51
3.9.1	Tahapan Penimbangan Material	51
3.9.2	Tahapan Pengadukan Beton Segar	51
3.9.3	Tahapan Tes Slump Beton dengan Kerucut Abrams	53
3.9.4	Tahapan Pemeriksaan Berat Isi Beton.....	54
3.9.5	Tahapan Penuangan dan Pemadatan Beton Segar	55
3.10	Tahapan Perawatan Benda Uji.....	56
3.11	Tahapan Pengujian Kuat Tekan Beton.....	56
3.12	Perancanagn Beton Porous F'c 10 Mpa-17 Mpa.....	56
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA		61
4.1	Pengujian Bahan dan Campuran Beton.....	61
4.2	Semen.....	61
4.3	Pengujian Agregat Kasar.....	62
4.3.1	Analisa Saringan Angregat Kasar	62
4.3.2	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air.....	63
4.3.3	Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	64
4.4	Rencana Campuran Beton.....	65

4.5	Perhitungan Rencana Campuran Beton.....	66
4.6	Pelaksanaan Campuran Beton.....	67
4.7	Perawatan Beton.....	68
4.8	Pengujian Berat Sample Kering	69
4.9	Perhitungan Kuat Kuat Tekan	70
4.10	Pengujian Pearmeabilitas Beton Porous	75
BAB V PENUTUP		77
5.1	Kesimpulan.....	77
5.2	Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA		79

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Beton Berdasarkan ACI 301-20.....	10
Tabel 2. 2 Klasifikasi Beton Berdasarkan ACI 363R	12
Tabel 2. 3 Komposisi Kimia Semen Portland	14
Tabel 2. 4 Gradasi Agregat Halus.....	17
Tabel 2. 5 Tabel Batas Gradasi Agregat Kasar (SNI 03-2834-2000)	18
Tabel 2. 6 Penelitian Terdahulu	28
Tabel 3. 1 Rencana Benda Uji Kuat Tekan	32
Tabel 3. 2 Standar Pengujian Beton	39
Tabel 3. 3 Volume Check	59
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen.....	62
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Saringan Agregat Kasar	62
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Berat dan Penyerapan Air Agregat Kasar	64
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar.....	65
Tabel 4. 5 Rencana Jumlah Sample Beton	65
Tabel 4.6 Pengujian Bahan	66
Tabel 4. 7 Job mix Formula (m3) (Silinder kg)	66
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Berat Beton Kering Pengujian kuat Tekan Beton Porous Umur 3 Hari.....	70
Tabel 4. 9 Angka Konversi Kuat Tekan Pada Berbagai Umur Beton dan Angka Konversi Benda Uji	71
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 3 Hari.....	71
Tabel 4. 11 Hasil pengujian Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 7 Hari	72
Tabel 4. 12 Hasil pengujian Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 28 Hari.....	73
Tabel 4.13 Ringkasan Koefisien Permeabilitas Rata-rata.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Semen ASTM C150	15
Gambar 2. 2 Grafik Gradasi Agregat Kasar (SNI 03-2834-2000)	19
Gambar 2. 3 Pengujian Slump	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan Beton	32
Gambar 3. 2 Benda Uji Kuat Tekan Beton	34
Gambar 3. 3 Semen	35
Gambar 3. 4 Agregat Kasar (Batu Karang)	35
Gambar 3. 5 Agregat Halus (Pasir).....	36
Gambar 3. 6 Air.....	36
Gambar 3. 7 <i>Concrete Additive (Consol N11 LN)</i>	37
Gambar 3. 8 <i>Silica fume</i>	37
Gambar 4. 1 Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar	63
Gambar 4. 2 Pelaksanaan Pembutan Beton Porous	68
Gambar 4. 3 Proses Curing Beton	69
Gambar 4. 4 Ilustrasi Penyebaran Beban.....	71
Gambar 4. 5 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 3 Hari Terhadap Variasi.....	72
Gambar 4. 6 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari Terhadap Variasi.....	73
Gambar 4. 7 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 3 Hari Terhadap Variasi.....	74

DAFTAR NOTASI

Notasi dan Simbol Teknis

- f'_c : Kuat tekan beton (biasanya diukur pada umur 28 hari dengan benda uji silinder).
- MPa: Megapascal (satuan ukuran kekuatan atau tekanan).
- psi: Pound per square inch (satuan ukuran kekuatan dalam standar Amerika).
- w/c (FAS): *Water-Cement Ratio* atau Faktor Air Semen; rasio berat air terhadap berat semen dalam campuran beton.
- w/b atau w/cm: *Water-Binder Ratio* atau *Water-Cementitious Materials Ratio*; istilah yang digunakan jika campuran menggunakan bahan tambahan seperti Silica Fume.
- Bk: Berat benda uji kering oven (dalam gram).
- Bj: Berat benda uji kering permukaan jenuh / *Saturated Surface Dry* (dalam gram).
- Ba: Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (dalam gram).
- SG: *Specific Gravity* atau Berat Jenis.
- V: Volume (misalnya volume agregat dalam m^3).
- W: Kadar air dalam persentase (%).
- ITZ: *Interfacial Transition Zone*; zona transisi antarmuka antara agregat dan pasta semen.

Istilah dan Singkatan

- ACI: *American Concrete Institute* (organisasi standar beton internasional).
- SNI: Standar Nasional Indonesia.
- ASTM: *American Society for Testing and Materials*.
- SSD: *Saturated Surface Dry* (Kondisi kering permukaan jenuh).
- HRWR: *High Range Water Reducer* (bahan tambah pengurang air tingkat tinggi/superplasticizer).
- MHB: Modulus Halus Butir (indeks kehalusan agregat).

Komposisi Kimia (Semen & Silica Fume)

- SiO_2 : Silikon dioksida.
- Fe_2O_3 : Besi (III) Oksida.

- Al_2O_3 : Aluminium Oksida.
- CaO : Kalsium Oksida.
- MgO : Magnesium Oksida.
- SO_3 : Belerang Trioksida.
- $\text{Ca}(\text{OH})_2$: Kapur bebas (kalsium hidroksida).
- $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$: Tobermorite (gel hasil hidrasi semen).

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan pembangunan infrastruktur di wilayah perkotaan berlangsung sangat cepat dan menyebabkan perubahan fungsi lahan yang cukup besar, di mana area hijau banyak berubah menjadi permukaan kedap air (impermeable). Kondisi tersebut membuat air hujan tidak dapat meresap ke dalam tanah sehingga meningkatkan volume limpasan permukaan (surface runoff) yang dapat memicu terjadinya banjir serta menurunkan muka air tanah. Sebagai upaya mengatasi permasalahan lingkungan tersebut, American Concrete Institute (ACI) melalui standar ACI 522R-10 memperkenalkan konsep pervious concrete atau beton berpori, yaitu jenis perkerasan dengan tingkat porositas tinggi yang memungkinkan air mengalir melalui strukturnya dan meresap kembali ke dalam tanah (ACI Committee 522, 2010).

Namun, permasalahan utama dalam penggunaan beton porous adalah nilai kuat tekan yang relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan beton konvensional akibat tingginya jumlah rongga di dalam struktur. Selain itu, pada pekerjaan rehabilitasi jalan di kawasan perkotaan dengan lalu lintas padat, aspek kecepatan pelaksanaan menjadi hal yang sangat penting. Oleh karena itu, diperlukan penerapan konsep Fast Track (beton cepat mengeras) agar jalan dapat segera difungsikan kembali dalam waktu yang singkat, misalnya dalam 24 jam.

Kinerja beton porous sangat ditentukan oleh dua faktor utama pada materialnya, yaitu bahan pengikat berupa pasta semen serta jenis agregat kasar yang digunakan. Dalam proses pemilihan agregat kasar, terdapat berbagai jenis material alam yang dapat dimanfaatkan, salah satunya adalah batu karang (coral reef).

Secara teoritis, batu karang memiliki permukaan yang cenderung halus dan berbentuk membulat sehingga menyebabkan ikatan (interlocking) antar agregat menjadi kurang kuat. Kondisi tersebut membuat material ini kurang sesuai untuk beton porous yang mengandalkan kontak antar butiran (point-to-point). Batu karang

juga memiliki porositas alami yang cukup tinggi serta berat jenis yang ringan, tetapi umumnya mempunyai nilai ketahanan hancur agregat (*crushing value*) yang rendah sehingga sulit mencapai kuat tekan yang tinggi. Di sisi lain, batu karang dengan bentuk yang tidak beraturan sebenarnya dapat meningkatkan kemampuan interlocking, namun ketersediaannya terbatas, tingkat kekerasannya tidak seragam, serta berpotensi mengandung kadar garam yang dapat merusak tulangan beton.

Oleh karena itu, batu karang (*coral reef*) dipilih sebagai agregat utama dalam penelitian ini. Material ini memiliki permukaan yang kasar serta bersudut tajam sehingga mampu menghasilkan ikatan mekanis (*mechanical interlocking*) yang lebih baik dibandingkan dengan jenis agregat lainnya. Karakteristik tersebut dinilai dapat meningkatkan kinerja beton porous yang dihasilkan. Namun demikian, penggunaan batu karang pada beton porous fast track tetap memerlukan penyesuaian pada pasta semen untuk mengurangi kelemahan yang terjadi pada zona transisi antarmuka (*Interfacial Transition Zone* atau *ITZ*).

Untuk meningkatkan kekuatan pasta serta ikatan antar agregat tanpa menutup seluruh porositas beton, diperlukan bahan tambahan (*admixture*) berupa filler. Silica fume merupakan material pozzolan dengan ukuran butir sangat halus yang mampu mengisi rongga-rongga mikro di antara partikel semen dan agregat. Penambahan silica fume diharapkan dapat meningkatkan kerapatan pasta semen melalui reaksi pozzolanik sehingga mampu meningkatkan kuat tekan beton porous fast track secara signifikan, namun pengaruhnya terhadap nilai permeabilitas beton tersebut tetap perlu ditinjau lebih lanjut.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada “Pengaruh Penambahan Filler Silica Fume terhadap Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Fast Track Porous dengan Agregat Kasar Batu Karang” sebagai upaya untuk mengoptimalkan material konstruksi yang memiliki kekuatan baik, proses pengerjaan yang lebih cepat, serta mendukung konsep pembangunan yang ramah lingkungan.

1.2. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, maka diberikan batasan-batasan

masalah sebagai berikut:

1. Material Agregat: Agregat kasar yang digunakan adalah batu karang (coral reef) dengan ukuran seragam (uniform graded) lolos saringan 19 mm dan tertahan di saringan 9,5 mm. Penelitian ini tidak melakukan uji eksperimental terhadap Batu karang, melainkan menggunakannya sebagai landasan komparatif teoritis dalam pemilihan material.
2. Bahan Tambah: Menggunakan Silica Fume sebagai filler parsial pengganti semen atau aditif (sesuaikan dengan metode mix design Anda) dan superplasticizer untuk mencapai target fast track.
3. Target Beton: Beton Fast Track yang mampu mencapai persentase kekuatan rencana tertentu dalam waktu singkat (misal: 1 hari atau 3 hari).
4. Pengujian: Pengujian yang dilakukan meliputi uji kuat tekan (compressive strength) dan uji permeabilitas (falling head atau constant head permeability test) pada umur beton yang telah ditentukan.
5. Faktor Air Semen (FAS): FAS dijaga konstan untuk semua variasi campuran guna mengisolasi variabel pengaruh Silica Fume.

1.3. Rumusan Masalah

Penelitian mengenai beton porous pada umumnya dilakukan untuk menjawab kebutuhan dalam mengatasi permasalahan lingkungan, seperti meningkatnya limpasan air permukaan dan berkurangnya daerah resapan akibat pembangunan infrastruktur. Meskipun demikian, tantangan utama yang masih dihadapi adalah nilai kuat tekan beton porous yang lebih rendah dibandingkan beton konvensional karena tingginya jumlah rongga udara. Kondisi tersebut menyebabkan penggunaannya lebih sesuai untuk konstruksi dengan beban lalu lintas ringan, seperti trotoar atau area parkir. Permasalahan ini menunjukkan adanya hubungan yang saling berlawanan (*trade-off*) antara permeabilitas dan kuat tekan, yaitu semakin tinggi kemampuan beton meloloskan air maka kekuatan strukturnya cenderung semakin rendah sehingga komposisi yang ideal sulit diperoleh. Selain itu, pemanfaatan limbah konstruksi maupun agregat alami lokal sering

menghasilkan mutu beton yang berbeda-beda dan belum mampu memenuhi target yang direncanakan akibat karakteristik material yang tidak seragam. Faktor fisik, seperti bentuk agregat (pecah atau bulat) serta keseragaman ukuran agregat, juga menjadi aspek penting karena sangat memengaruhi volume rongga yang terbentuk dan kestabilan struktur beton secara keseluruhan.

Untuk mengatasi berbagai permasalahan tersebut, sejumlah penelitian terdahulu merekomendasikan pengembangan penelitian lanjutan melalui modifikasi material dan rancangan campuran yang lebih optimal. Penggunaan bahan tambah (*admixture*) kimia selain *superplasticizer*, seperti *silica fume* atau polimer, disarankan karena dinilai mampu meningkatkan kekuatan beton secara lebih signifikan dibandingkan campuran biasa. Dari sisi agregat, penggunaan ukuran agregat yang lebih kecil, yaitu kurang dari 9,5 mm, juga direkomendasikan karena dapat menghasilkan pori yang lebih kecil dengan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan agregat berukuran besar. Pengembangan mix design melalui penambahan sedikit agregat halus untuk mengurangi tingkat keropos atau penambahan serat (*fiber*) sebagai bahan perkuatan juga disarankan agar kinerja mekanis beton menjadi lebih baik. Penelitian selanjutnya diharapkan tidak hanya berfokus pada pengujian kuat tekan, tetapi juga mencakup pengujian ketahanan aus (abrasi) dan kuat lentur sehingga durabilitas beton terhadap gesekan maupun beban lalu lintas dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh.

1.4. Maksud dan Tujuan Penelitian

1.4.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan studi eksperimental pembuatan beton aspal berpori (*porous concrete*) dengan spesifikasi *fast track* (cepat keras), yang meliputi :

1. Merencanakan komposisi campuran (*mix design*) beton *porous* menggunakan agregat kasar batu karang (*Coral reef*) sebagai material penyusun utama untuk mendapatkan stabilitas struktur yang lebih baik dibandingkan agregat alami bulat atau berpori (seperti Batu Karang).

2. Melakukan substitusi atau penambahan parsial bahan pengikat dengan *Silica Fume* dalam berbagai variasi persentase.
3. Melakukan serangkaian pengujian laboratorium untuk menguji karakteristik mekanik dan hidrolis dari benda uji yang dihasilkan.

1.4.2 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis Nilai Kuat Tekan untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh penambahan filler *Silica Fume* terhadap nilai kuat tekan beton porous pada umur awal (karakteristik *fast track*) dan umur rencana, serta membandingkan kinerjanya akibat penggunaan agregat batu karang yang memiliki sifat interlocking tajam.
2. Menganalisis Koefisien Permeabilitas untuk mengetahui dampak pemadatan struktur pasta akibat penambahan *Silica Fume* terhadap kemampuan beton dalam meloloskan air (permeabilitas), dan memastikan pori-pori tidak tertutup berlebihan sehingga fungsi drainase tetap terjaga.
3. Menentukan Kadar Optimum untuk menentukan persentase variasi *Silica Fume* yang paling ideal untuk menghasilkan beton *fast track* porous yang memenuhi persyaratan teknis, yaitu memiliki kuat tekan yang tinggi namun tetap memiliki koefisien permeabilitas sesuai standar beton berpori (ACI 522R- 10).

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif baik secara teoritis maupun praktis, sebagai berikut:

1. Pengembangan Ilmu Teknologi Beton memberikan sumbangan pemikiran dan data ilmiah mengenai perilaku mekanik beton *porous* yang dimodifikasi dengan *Silica Fume* untuk aplikasi *fast track* (cepat keras), khususnya dalam hal keseimbangan antara peningkatan kuat tekan dan penurunan permeabilitas.
2. Validasi Pengaruh Bentuk Agregat memperkuat teori mengenai pengaruh

bentuk agregat (*aggregate shape*) dan tekstur permukaan terhadap mekanisme *interlocking* pada beton *porous*. Penelitian ini diharapkan dapat membuktikan secara empiris bahwa penggunaan agregat batu karang (*Coral reef*) memberikan kinerja struktural yang lebih unggul dibandingkan literatur mengenai agregat kasar (Batu Kasar) atau agregat berpori rapuh (Batu karang) dalam konteks beban lalu lintas.

3. Referensi Penelitian Lanjutan menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya yang ingin mengembangkan beton ramah lingkungan dengan material tambah (*admixture*) berbasis *pozzolan*, serta studi mengenai perbaikan zona transisi antarmuka (ITZ) pada beton dengan rongga tinggi.
4. Solusi Infrastruktur Perkotaan memberikan alternatif solusi bagi industri konstruksi dalam penyediaan material perkerasan jalan lingkungan, area parkir, atau jalur pedestrian yang mampu menyerap air hujan (mengurangi runoff dan risiko banjir) namun tetap dapat dikerjakan dengan durasi singkat (*Fast Track*) sehingga meminimalkan gangguan lalu lintas.
5. Panduan Komposisi Campuran (*Mix Design*) menyediakan data komposisi campuran optimum bagi kontraktor atau praktisi yang ingin memproduksi beton porous menggunakan material lokal yang mudah didapat (batu karang), namun dengan durasi pengerasan yang dipercepat menggunakan *Silica Fume*.
6. Manajemen Lingkungan mendukung program pemerintah dalam konsep pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development*) melalui konservasi air tanah, karena penggunaan beton ini memungkinkan air hujan meresap kembali ke dalam tanah dibandingkan terbuang ke saluran drainase kota.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pemahaman dan memberikan gambaran menyeluruh mengenai laporan tugas akhir ini, maka materi pembahasan disusun secara sistematis yang terbagi dalam 3 (tiga) bab, dengan uraian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang pemilihan topik mengenai beton fast track porous dan urgensi penggunaan agregat batu karang dibandingkan jenis agregat

lain (Batu Pecah, lava, sungai, apung). Bab ini juga memuat rumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian literatur dan landasan teori yang relevan dengan topik penelitian. Teori yang dibahas meliputi definisi dan karakteristik beton porous, standar fast track concrete, sifat kimia dan fisik Silica Fume sebagai bahan pozzolan, serta karakteristik mekanik agregat kasar batu karang (coral reef). Bab ini juga mencantumkan standar pengujian (SNI/ASTM/ACI) yang digunakan sebagai acuan untuk kuat tekan dan permeabilitas, serta penelitian terdahulu yang sejenis.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan dan prosedur pelaksanaan penelitian secara rinci. Dimulai dari diagram alir penelitian (flowchart), persiapan alat dan bahan, pemeriksaan sifat fisis material penyusun (agregat dan Silica Fume), perencanaan campuran beton (mix design), proses pembuatan benda uji, metode perawatan (curing), hingga prosedur pengujian kuat tekan dan uji permeabilitas di laboratorium.

BAB IV ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Berisi tentang hitungan dan hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Universitas Sangga Buana YPKP. Tentang kuat tekan yang diperoleh dengan metode American Concrete Institute dengan campuran beton porous di tambah Silicafume.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang persepsi terhadap kuat tekan beton porous, yang telah di uji. Kurang dan lebih yang di tuangkan pada saran dan kesimpulan, guna pembelajaran yang lebih baik untuk kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat daftar referensi buku, jurnal, dan standar peraturan yang dikutip dalam penyusunan laporan ini.

LAMPIRAN

Berisi data dukung, dokumentasi penelitian, dan perhitungan teknis yang melengkapi laporan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Porous (Pervious Concrete)

Struktur berpori pada beton porous terbentuk karena penggunaan agregat kasar dengan ukuran yang relatif seragam serta sedikit bahkan tanpa penambahan agregat halus berupa pasir. Agregat tersebut diikat oleh lapisan pasta semen yang tipis sehingga membentuk rongga-rongga yang saling terhubung. Volume rongga yang dihasilkan umumnya berada pada kisaran 15–35% sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam standar ACI 522R-10. Karakteristik utama beton porous adalah :

1. Tingkat Porositas (Void Content) yang Tinggi

Karakteristik paling mendasar yang membedakan beton porous dari beton konvensional adalah struktur rongganya.

- a. Volume Rongga: Beton porous memiliki volume rongga udara (void content) berkisar antara 15% hingga 35%.
- b. Struktur: Rongga-rongga ini saling terhubung (Interconnected Voids), yang memungkinkan air dan udara mengalir melaluinya dengan mudah.

2. Permeabilitas Tinggi

Karena struktur rongga yang terbuka tersebut, beton porous memiliki kapasitas drainase yang sangat baik.

- a. Laju aliran air melalui beton porous biasanya berkisar antara 2 mm/s hingga 12 mm/s (atau sekitar 200 hingga 1200 liter/menit/m²).
- b. Sifat ini mencegah terjadinya genangan air di permukaan dan membantu pengisian kembali air tanah (*Groundwater Recharge*).

3. Menggunakan Sedikit atau meniadakan agregat halus

Komposisi campuran beton porous sangat berbeda dari beton biasa.

- a. Terdiri dari semen hidrolis, agregat kasar (kerikil/batu karang), air, dan bahan tambah (admixture).
- b. Campuran ini menggunakan sedikit sekali atau sama sekali tidak menggunakan agregat halus (pasir).

- c. Pasta semen hanya berfungsi untuk menyelimuti dan mengikat butiran agregat kasar agar saling melekat, namun tidak mengisi rongga di antara agregat tersebut.
4. Berat Jenis Yang Lebih Rendah
- Karena banyaknya rongga udara, beton porous lebih ringan dibandingkan beton konvensional.
- Berat jenis beton porous umumnya berkisar antara 1600 kg/m³ hingga 2000 kg/m³.
 - Sebagai perbandingan, beton konvensional biasanya memiliki berat jenis sekitar 2400 kg/m³.
5. Kekuatan Tekan (Compressive Strength)
- Kekuatan beton porous lebih rendah dibandingkan beton konvensional karena tingginya volume rongga.
- Kuat tekan umumnya berkisar antara 2.8 MPa hingga 28 MPa.
 - Meskipun lebih rendah, kekuatan ini cukup untuk aplikasi perkerasan lalu lintas ringan (seperti tempat parkir, trotoar, dan jalan lingkungan), namun biasanya tidak direkomendasikan untuk jalan raya dengan lalu lintas berat.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Beton Berdasarkan ACI 301-20

Karakteristik	Beton Porous (ACI 522R-10)	Beton Konvensional
Agregat Kasar	Ada (Dominan)	Ada
Agregat Halus (Pasir)	Sedikit / Tidak Ada	Ada
Rongga Udara	15% - 35%	1% - 3%
Permeabilitas	Tinggi (Mengalirkan air)	Hampir Kedap Air
Aplikasi Utama	Manajemen air limpasan, parkir	Struktur bangunan, jalan raya

2.2 Teknologi Beton Fast Track

Metode *fast track* merupakan metode penjadwalan proyek yang bertujuan untuk menyelesaikan pekerjaan dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan rencana awal. Penerapan metode ini dilakukan dengan menggunakan cara-cara yang lebih efisien sehingga dapat mengurangi durasi pelaksanaan proyek secara keseluruhan. Keberhasilan penerapan metode tersebut tidak hanya ditentukan oleh efisiensi cara kerja yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh efektivitas pengelolaan waktu pelaksanaan agar lebih optimal dibandingkan dengan jadwal pelaksanaan normal.

Secara umum, *fast track* merupakan metode penjadwalan yang menerapkan pelaksanaan beberapa pekerjaan secara paralel sehingga proses pembangunan dapat diselesaikan dalam waktu yang lebih singkat. Penerapan metode ini dapat mempercepat durasi pelaksanaan sekaligus meningkatkan efisiensi biaya proyek apabila dibandingkan dengan metode konvensional yang masih menggunakan urutan pekerjaan secara bertahap dan lebih kaku. Melalui metode *fast track*, pelaksanaan proyek berpotensi untuk selesai sesuai target waktu yang telah direncanakan atau bahkan lebih cepat dari jadwal awal yang ditetapkan. Sebelum pelaksanaan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu (Sutciana et al., 2020):

1. Perencanaan yang dibuat harus sistematis dan efektif
2. Kemampuan manajemen logistiknya harus menerapkan metode just in time,
3. agar tidak terjadi keterlambatan pada bahan yang akan digunakan
4. Penggunaan tenaga kerja harus memiliki produktifitas yang stabil dan pengelompokan tenaga kerja harus sesuai dengan kemampuannya.
5. Koordinasi antara site manager, pengawas lapangan, dan unsur yang terkait dalam pelaksanaan proyek harus dilakukan sepanjang waktu pelaksanaan agar bisa mengidentifikasi indikasi permasalahan yang akan muncul langsung terselesaikan.

2.3 Kuat Tekan (ACI 301)

Meskipun ACI 301 (*Specifications for Structural Concrete*) lebih menitikberatkan pada spesifikasi pelaksanaan konstruksi, pengelompokan kekuatan beton dalam berbagai literatur ACI, seperti ACI 318 dan ACI 363R, secara umum dibedakan menjadi beton mutu normal dan beton mutu tinggi. Berdasarkan ketentuan ACI, nilai kuat tekan beton (f'_c) umumnya ditentukan pada umur 28 hari menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm). Berikut adalah pengelompokan umumnya :

Tabel 2. 2 Klasifikasi Beton Berdasarkan ACI 363R

Kategori Beton	Kuat Tekan (f'_c) dalam psi	Kuat Tekan (f'_c) dalam MPa
Beton Mutu Normal (<i>Normal-Strength Concrete</i>)	$2500 \text{ psi} \leq f'_c < 6000 \text{ psi}$	$17 \text{ Mpa} \leq f'_c < 41 \text{ Mpa}$
Beton Mutu Tinggi (<i>High-Strength Concrete</i>)	$f'_c \geq 6000 \text{ psi}$	$f'_c \geq 41 \text{ Mpa}$
Beton Mutu Sangat Tinggi (<i>Ultra-High-Strength</i>)	$f'_c \geq 17000 \text{ psi}$	$f'_c \geq 120 \text{ Mpa}$

Sumber : ACI 363R

Batasan untuk High-Strength Concrete telah berevolusi. Awalnya, ACI mendefinisikannya di atas 41 MPa (6000 psi). Namun, dalam perkembangan teknologi beton modern, batas ini sering dianggap mulai dari 55 MPa atau lebih tinggi tergantung wilayah, tetapi angka 41 MPa adalah referensi akademis klasik untuk definisi ACI 363.

2.4 Permeabilitas (Permeability)

Permeabilitas merupakan parameter hidrolis yang menunjukkan kemampuan beton dalam mengalirkan atau meloloskan air melalui strukturnya. Pada beton porous, nilai permeabilitas umumnya diukur berdasarkan prinsip Hukum Darcy dengan menggunakan metode *Constant Head* maupun *Falling Head*. Nilai koefisien permeabilitas (k) yang umum untuk beton porous berkisar antara 0,2 hingga 0,54 cm/detik (ACI 522R-10).

Rumus Permeabilitas (*Constant Head*):

Dimana :
$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot t}$$

k = Koefisien permeabilitas (cm/detik)

Q = Volume air yang terkumpul (cm³)

L = Tebal benda uji (cm)

h = Beda tinggi tekan air (cm)

A = Luas penampang benda uji (cm²)

t = Waktu pengaliran (detik)

2.5 Material Penyusun Beton Porous

Beton porous tersusun dari bahan dasar yang sama seperti beton normal, yaitu semen, agregat kasar, air, serta bahan tambah (*admixture*) yang bersifat opsional, namun dilakukan perubahan pada gradasi dan komposisi agregatnya. Pengaturan campuran tersebut menjadi salah satu metode yang umum digunakan dalam berbagai penelitian untuk menghasilkan karakteristik beton dengan struktur berpori.

2.5.1 Semen Portland

Semen Portland merupakan material pengikat hidrolis yang diproduksi melalui proses penggilingan klinker, yang komponen utamanya terdiri dari senyawa kalsium silikat yang memiliki sifat hidrolis. Proses penggilingan tersebut dilakukan bersamaan dengan penambahan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat, yaitu gipsum.

Fungsi utama semen dalam campuran beton, termasuk beton porous, adalah bereaksi dengan air sehingga membentuk pasta semen yang mengalami proses pengerasan dan berperan mengikat agregat menjadi satu kesatuan massa yang padat dan stabil.

Dalam spesifikasi teknis maupun kegiatan penelitian, Semen Portland yang digunakan harus memenuhi standar mutu sesuai dengan ketentuan dan persyaratan yang berlaku. Acuan standar yang umum digunakan adalah:

1. SNI 2049:2015 Ini adalah standar nasional Indonesia terbaru mengenai

"Semen Portland", yang merupakan revisi dari SNI 15-2049-2004. Standar ini menetapkan spesifikasi teknis, syarat kimia, dan syarat fisika untuk Semen Portland di Indonesia.

2. ASTM C150 Standar internasional dari American Society for Testing and Materials yang berjudul "Standard Specification for Portland Cement". Standar ini menjadi rujukan global untuk klasifikasi tipe semen portland.

Standar industri di Amerika (ASTM) maupun di Indonesia (SNI) mengenal 5 jenis semen, yaitu:

1. Jenis I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
2. Jenis II, yaitu semen portland untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya menuntut panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang sangat baik terhadap sulfat.

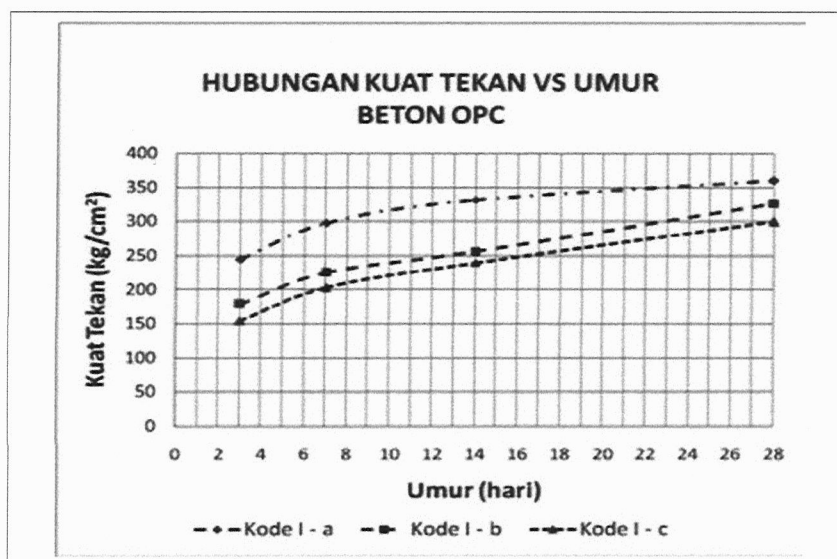
Tabel 2. 3 Komposisi Kimia Semen Portland

No	Uraian		
	Pengujian kimia	Pengujian Fisika	Pengujian mekanik
1	Bagian tak larut, %	Kehalusan dengan alat Blaine, m ² /kg	Kuat tekan, 3 hari, MPa
2	Silikon dioksida SiO ₂ , %	n dengan alat vicat, awal, menit	Kuat tekan, 7 hari, MPa
3	Besi (III) Oksida, Fe ₂ O ₃ , %	n dengan alat vicat, akhir, menit	Kuat tekan, 28 hari, MPa
4	Aluminium Oksida, Al ₂ O ₃ , %	n bentuk dengan Autoclave, Pemuaian, %	
5	Kalsium Oksida, CaO, %	n bentuk dengan Autoclave, Penyusutan, %	
6	Magnesium Oksida,	Pengikatan semu, Penetrasi akhir, %	

	MgO, %		
7	Belerang Trioksida, SO ₃ , %	Kandungan udara dalam mortar, %	
8	Hilang pada pemijaran, %	Berat Jenis (Density, g/cm ³)	
9	Alkali sebagai Na ₂ O, %		
10	Kapur bebas, %		

Sumber Referensi Umum: ASTM C150, SNI 2049:2015, dan buku "Concrete Technology" (Neville, A.M.).

Hasil utama dari proses hidrasi semen adalah C₃S₂H₃ (tobermorite) yang berbentuk gel dan menghasilkan panas hidrasi selama reaksi berlangsung. Hasil yang lain berupa kapur bebas Ca (OH)₂, yang merupakan sisa dari reaksi antara C₃S dan C₂S dengan air. Kapur bebas ini dalam jangka panjang cenderung melemahkan beton, karena dapat bereaksi dengan zat asam maupun sulfat yang ada di lingkungan sekitar, sehingga menimbulkan proses korosi pada beton.



Sumber : Standar SNI / ASTM C150

Gambar 2. 1 Grafik Semen ASTM C150

2.5.2 Agregat Halus

Menurut SNI 03-6820-2002, agregat halus merupakan material dengan ukuran butir maksimum sebesar 4,75 mm. Secara teknis, agregat halus dapat diartikan sebagai material pengisi yang lolos dari ayakan No. 4 (4,75 mm) serta tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm).

Agregat halus dapat berasal dari pasir alami yang terbentuk akibat proses pelapukan dan disintegrasi batuan secara alamiah, maupun pasir buatan yang dihasilkan melalui proses pemecahan batu menggunakan mesin pemecah batu (stone crusher).

Persyaratan Mutu (SNI & ASTM C33) Untuk dapat digunakan sebagai material penyusun beton struktural yang baik, agregat halus harus memenuhi persyaratan teknis berikut:

1. Kebersihan (Kadar Lumpur)

Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur (bagian yang lolos ayakan No. 200 atau 0,075 mm) lebih dari 5% berdasarkan berat keringnya.

- a. Jika kadar lumpur melebihi 5%, maka agregat halus harus dicuci sebelum digunakan dalam campuran beton.
- b. Lumpur yang berlebih dapat menghalangi ikatan antara pasta semen dan agregat.

2. Kandungan Zat Organik

Agregat halus tidak boleh mengandung zat organik terlalu banyak karena dapat menghambat proses hidrasi semen dan mengurangi kekuatan beton.

- a. Pengujian: Menggunakan percobaan warna (kalorimetri) dengan larutan NaOH 3%.
- b. Syarat: Warna cairan di atas endapan pasir tidak boleh lebih gelap dari warna standar pembanding (organic plate).

3. Gradasi (Susunan Butir)

Susunan ukuran butir agregat halus harus memiliki gradasi yang beragam (well-graded) sehingga rongga yang terbentuk di antara butiran dapat diminimalkan. Menurut ASTM C33, batas gradasi standar adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Gradasi Agregat Halus

Ayakan (Sieve)	Ukuran (mm)	Persentase Lolos (%)
3/8 in	9.5 mm	100
No. 4	4.75 mm	95 – 100
No. 8	2.36 mm	80 – 100
No. 16	1.18 mm	50 – 85
No. 30	0.60 mm	25 – 60
No. 50	0.30 mm	5 – 30
No. 100	0.15 mm	0 – 10

Sumber : ASTM C33

4. Modulus Halus Butir (Fineness Modulus)

Modulus halus butir (MHB) adalah suatu indeks yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat.

- Untuk agregat halus, MHB sebaiknya berkisar antara 1,5 hingga 3,8.
- Pasir yang terlalu halus akan membutuhkan lebih banyak pasta semen, sedangkan pasir yang terlalu kasar dapat menyebabkan campuran beton menjadi *harsh* (kasar/sulit dikerjakan).

5. Kekekalan (*Soundness*)

Agregat halus harus memiliki ketahanan terhadap pelapukan akibat pengaruh cuaca (seperti perubahan suhu atau siklus basah-kering). Pengujian dilakukan dengan merendam agregat dalam larutan garam sulfat.

- Jika diuji dengan Natrium Sulfat (Na_2SO_4): Bagian yang hancur maksimum **10%**.
- Jika diuji dengan Magnesium Sulfat (MgSO_4): Bagian yang hancur maksimum **15%**

6. Reaktivitas *Alkali*

Agregat halus tidak boleh mengandung silika reaktif yang dapat bereaksi dengan alkali yang terdapat dalam semen. Reaksi tersebut dikenal sebagai Alkali-Silica Reaction (ASR) dan dapat menyebabkan terjadinya pemuaian volume sehingga

beton berpotensi mengalami retak atau kerusakan dari bagian dalam.

2.5.3 Agregat Kasar (SNI 03-6820-2002)

Agregat kasar merupakan material berupa kerikil yang berasal dari proses disintegrasi batuan secara alami atau batu pecah yang dihasilkan melalui proses pemecahan batu menggunakan mesin (*stone crusher*), dengan ukuran butir berkisar antara 4,75 mm (No. 4) hingga 40 mm.

Karakteristik & Ketentuan Penting

Berdasarkan dokumen SNI tersebut, agregat kasar harus memenuhi ketentuan berikut agar layak digunakan dalam campuran beton:

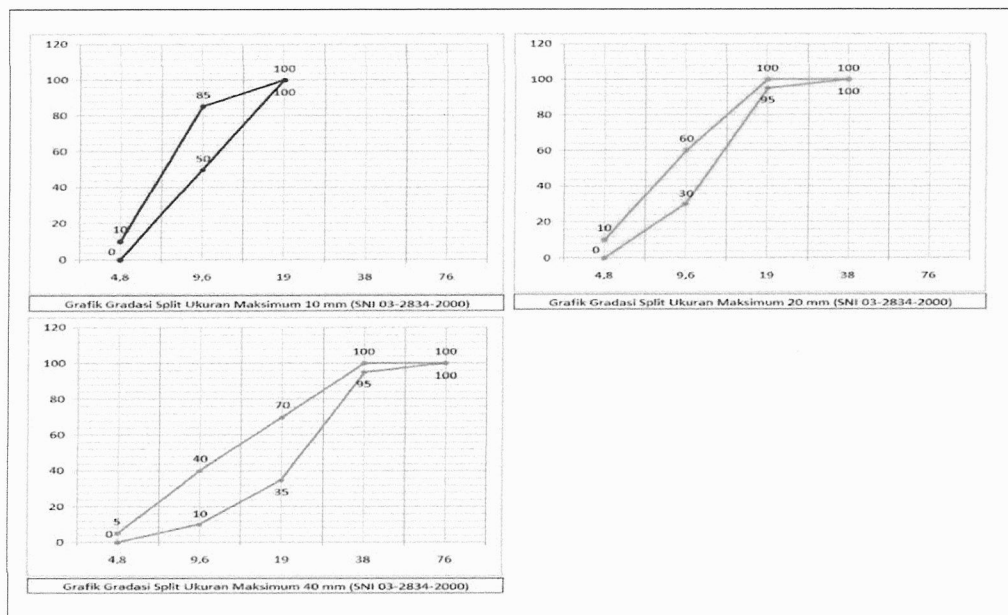
1. Ukuran Butir: Sebagian besar butiran harus tertahan pada saringan 4,75 mm (Saringan No. 4) dan lolos pada saringan yang lebih besar (umumnya hingga 40 mm, tergantung spesifikasi proyek).
2. Kondisi Fisik:
 - a. Harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori.
 - b. Agregat yang mengandung butiran pipih dan panjang tidak boleh melebihi 20% dari berat total.
 - c. Harus bersih dari zat-zat yang dapat merusak beton (seperti zat organik, lumpur, dsb). Jika mengandung lumpur, kadarnya tidak boleh lebih dari 1% (terhadap berat kering).
3. Jenis Material:
 - a. Kerikil Alami: Hasil dari pelapukan batuan secara alami.
 - b. Batu karang : Hasil dari pesisir pantai

Tabel 2. 5 Tabel Batas Gradasi Agregat Kasar (SNI 03-2834-2000)

Ukuran Saringan				% Lolos Saringan/Ayakan		
(Ayakan)				Ukuran Maks. 10 mm	Ukuran Maks. 20 mm	Ukuran Maks. 40 mm
mm	SNI	ASTM	inch			
75,0	76	3 in	3,00			100 - 100
37,5	38	1½ in	1,50		100 - 100	95 - 100
19,0	19	¾ in	0,75	100 - 100	95 - 100	35 - 70
9,5	9,6	¾ in	0,3750	50 - 85	30 - 60	10 - 40
4,75	4,8	no. 4	0,1870	0 - 10	0 - 10	0 - 5

Tabel Gradasi Agregat Kasar (SNI 03-2834-2000)

Sumber : <https://lauwtjunji.weebly.com/gradasi--agregat-kasar.html>



Gambar 2. 2 Grafik Gradasi Agregat Kasar (SNI 03-2834-2000)

2.5.4 Air

Air merupakan salah satu komponen utama yang memiliki peranan penting dalam proses pembuatan beton, termasuk beton porous. Dalam campuran beton, air mempunyai dua fungsi utama, yaitu secara kimia berperan dalam bereaksi dengan semen melalui proses hidrasi untuk membentuk pasta pengikat, serta secara fisik berfungsi sebagai pelumas bagi agregat agar campuran menjadi lebih mudah dikerjakan (*workability*).

Menurut SNI 7974:2013 tentang “Spesifikasi Air Pencampur yang Digunakan dalam Produksi Beton Semen Hidraulis”, air yang dipakai harus dalam kondisi bersih serta tidak mengandung minyak, asam, alkali, garam, bahan organik, maupun zat lain yang berpotensi merusak beton atau tulangan. Kualitas air yang tidak memenuhi syarat dapat mengganggu proses pengerasan semen serta menurunkan nilai kuat tekan beton secara cukup signifikan.

Khusus dalam teknologi beton *porous*, kontrol terhadap kuantitas air jauh lebih kritis dibandingkan beton konvensional:

Kadar Air Terlalu Rendah

Jika kadar air yang digunakan terlalu rendah, pasta semen akan menjadi sangat kering dan sulit dikerjakan. Kondisi tersebut menyebabkan pasta tidak

mampu melapisi agregat secara optimal sehingga ikatan antar agregat menjadi kurang kuat. Hal ini berdampak pada beton yang lebih mudah mengalami raveling, yaitu terlepasnya partikel agregat ketika menerima beban lalu lintas.

Kadar Air Terlalu Tinggi

Apabila jumlah air yang digunakan terlalu tinggi, kekentalan pasta semen akan menurun secara drastis. Kondisi ini menyebabkan pasta semen cenderung mengalir ke bagian bawah (*paste drain down*) dan mengisi rongga-rongga udara pada bagian dasar beton. Jika hal tersebut terjadi, fungsi utama beton porous sebagai media peresapan air akan hilang karena pori-pori tertutup (*clogging*) oleh endapan pasta semen.

Pemakaian air pada penelitian ini dikontrol secara ketat melalui perhitungan Faktor Air Semen (FAS) rendah serta mempertimbangkan konsistensi campuran agar pasta menunjukkan kilap logam (*metallic sheen*) sebagai indikator kadar air yang sesuai pada tahap ini.

2.5.5 Admixture

Admixture adalah bahan kimia yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat proses pencampuran dengan jumlah yang relatif kecil untuk mengubah sifat beton, baik pada kondisi segar maupun setelah mengeras. Penggunaan admixture pada beton porous *fast track* bertujuan untuk mengurangi kelemahan yang muncul dari karakteristik alami campuran semen dan air.

Mengacu pada ASTM C494 atau SNI 2495:2014, bahan tambah kimia dibedakan ke dalam beberapa jenis sesuai fungsinya. Pada penelitian ini, jenis admixture yang digunakan adalah *High Range Water Reducer* (HRWR) yang juga dikenal sebagai *superplasticizer*.

Fungsi Superplasticizer dalam Beton Fast Track Porous:

1. Pengurangan Penggunaan Air (Water Reduction)

Superplasticizer bekerja dengan cara mendispersikan partikel semen yang menggumpal melalui gaya tolak-menolak elektrostatis. Mekanisme ini memungkinkan penggunaan air dikurangi secara signifikan (hingga 12-30%) tanpa mengurangi kemudahan pengerjaan (*workability*).

2. Peningkatan Kekuatan Awal (High Early Strength)

Dengan pengurangan air tersebut, rasio Faktor Air Semen (FAS) dapat ditekan serendah mungkin. Penurunan FAS secara teoritis berbanding lurus dengan peningkatan kuat tekan beton, yang sangat dibutuhkan untuk mencapai target *fast track* (beton cepat keras) agar jalan dapat segera dibuka untuk lalu lintas.

3. Optimalisasi Pasta

Penggunaan produk seperti Consol N11 LN membantu menjaga pasta semen tetap kohesif dan tidak memisah (*segregasi*) dari agregat kasar, meskipun menggunakan kadar air yang minim.

2.5.6 Additive

Berbeda dengan admixture yang berbentuk cair dan bersifat kimia, additive dalam konteks ini mengacu pada bahan tambah mineral (mineral admixture) yang berbentuk partikel padat dengan ukuran sangat halus. Dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah *silica fume*.

Silica Fume merupakan material hasil samping (*by-product*) dari proses produksi logam silikon maupun paduan *ferrosilicon*. Material ini terdiri atas partikel silika amorf (SiO_2) yang memiliki ukuran sangat halus, dengan rata-rata sekitar 0,1 mikrometer atau kurang lebih 100 kali lebih kecil dibandingkan ukuran rata-rata partikel semen pada umumnya.

Penambahan *Silica Fume* pada beton *porous* bekerja melalui dua mekanisme utama:

1. **Efek Pengisi (Physical Filler Effect):** Karena ukurannya yang sangat mikroskopis, partikel *Silica Fume* mampu mengisi rongga-rongga mikro di antara butiran semen dan di zona transisi antara pasta semen dengan agregat (*Interfacial Transition Zone* / ITZ). Pengisian ini menciptakan struktur pasta yang jauh lebih padat dan kedap.
2. **Reaksi Pozzolanik (Chemical Reaction):** *Silica Fume* bereaksi dengan Kalsium Hidroksida (Ca(OH)_2) yang merupakan produk sisa hidrasi semen yang bersifat lemah dan mudah larut. Reaksi ini menghasilkan Kalsium Silikat Hidrat (C-S-H) sekunder yang bersifat keras dan stabil.

Mengingat beton *porous* mengandalkan kontak antar titik (*point-to-point contact*) agregat batu pecah, kekuatan beton sangat bergantung pada kekuatan pasta pengikat di titik-titik tersebut. Penambahan *Silica Fume* diharapkan dapat memperkuat "lem" pasta semen ini secara signifikan, sehingga mampu menahan beban tekan yang lebih tinggi meskipun volume rongga beton tetap besar.

2.6 *Workability*

Workability atau kemudahan pengerjaan merupakan kemampuan campuran beton segar untuk diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan tanpa menyebabkan terjadinya pemisahan butiran (*segregation*) yang berlebihan. Pada beton konvensional, parameter ini umumnya dikaitkan dengan tingkat keenceran atau kealiran campuran yang dapat diketahui melalui pengujian slump. Akan tetapi, pada beton porous (beton berpori), pengertian serta indikator *workability* memiliki karakteristik yang berbeda dan lebih spesifik sesuai dengan sifat campurannya.

2.6.1 Karakteristik Campuran Beton Porous

Berbeda dengan beton normal yang plastis dan dapat mengalir, campuran beton *porous* umumnya memiliki konsistensi yang kaku (*stiff*) dan *zero-slump* (tidak memiliki penurunan saat diuji *slump*). Hal ini disebabkan oleh:

1. Ketiadaan pasir membuat campuran tidak memiliki matriks mortar yang cukup untuk melumasi pergerakan agregat kasar, sehingga gesekan antar butiran (*internal friction*) menjadi sangat tinggi.
2. Volume pasta semen dibatasi hanya sekadar cukup untuk menyelimuti (*coating*) permukaan agregat kasar dan membentuk jembatan ikatan (*bonding bridges*) antar agregat, tanpa mengisi rongga di antaranya.

Indikator *Workability* yang Baik

Karena pengujian slump tidak relevan untuk beton porous, dengan hasil yang umumnya mendekati nol, penilaian *workability* di lapangan lebih sering dilakukan melalui pengamatan secara visual dan sentuhan langsung. Menurut ACI 522R-10, campuran beton porous yang memiliki *workability* baik dapat dikenali berdasarkan beberapa indikator berikut :

- Pasta semen yang menyelimuti agregat harus terlihat basah dan mengkilap

(*glossy*). Ini menandakan kadar air cukup untuk hidrasi semen dan pembentukan ikatan yang kuat.

- Saat campuran beton segar digenggam dengan tangan dan kemudian tangan dibuka, campuran tersebut harus mampu membentuk bola yang padat, tidak hancur (terlalu kering), namun juga tidak meninggalkan sisa pasta yang berlebihan di telapak tangan (terlalu basah).
- Saat beton dituang atau didiamkan sesaat, pasta semen tidak boleh meleleh atau menetes turun dari permukaan agregat. Pasta yang meleleh akan terakumulasi di dasar cetakan dan menyumbat pori-pori, menyebabkan kegagalan fungsi permeabilitas (*clogging*).

2.6.2 Tantangan Workability pada Beton Fast Track

Dalam penelitian ini, permasalahan workability menjadi lebih kompleks karena diterapkannya konsep *Fast Track* yang mengharuskan penggunaan Faktor Air Semen (FAS) rendah serta penambahan *Silica Fume* ke dalam campuran beton.

- Partikel *Silica Fume* yang sangat halus cenderung menyerap air dan membuat campuran menjadi lebih lengket (*sticky*) serta lebih cepat kaku (*stiff*). Hal ini dapat menyulitkan proses pemadatan jika tidak ditangani dengan benar.
- Campuran *fast track* dengan *Silica Fume* memiliki waktu ikat (*setting time*) yang lebih pendek. Oleh karena itu, jendela waktu (*time window*) untuk pengerjaan—mulai dari pencampuran hingga pemadatan akhir—menjadi sangat terbatas, biasanya harus diselesaikan dalam waktu kurang dari 60 menit sebelum beton mulai mengeras (*loss of workability*).

Untuk mengatasi kondisi tersebut, penggunaan *admixture* berupa *High Range Water Reducer* (HRWR) atau *superplasticizer* menjadi sangat diperlukan agar konsistensi campuran tetap terjaga dan mudah dipadatkan dengan energi pemadatan yang memadai tanpa harus menambahkan air yang dapat mengurangi kuat tekan beton.

2.7 Faktor Air Semen

Faktor Air Semen (FAS) atau dikenal juga sebagai *Water-Cement Ratio* (w/c) merupakan perbandingan antara berat air dengan berat semen (atau total material bersifat semen/cementitious materials) dalam suatu campuran beton. Pada beton konvensional, Hukum Abrams menyebutkan bahwa kuat tekan beton memiliki hubungan terbalik dengan nilai FAS, yaitu semakin kecil FAS maka semakin besar kekuatan beton yang dihasilkan, selama campuran tersebut masih dapat dipadatkan dengan baik.

2.7.1 FAS pada Beton Porous (ACI 522R-10)

Dalam teknologi beton porous, peran FAS menjadi jauh lebih kritis serta memiliki rentang toleransi yang lebih sempit dibandingkan beton normal. Berdasarkan standar ACI 522R-10, nilai FAS yang dianggap ideal pada beton porous umumnya berada pada kisaran 0,27 hingga 0,34.

Rentang yang sempit ini ditentukan oleh kebutuhan akan viskositas pasta semen yang spesifik:

1. **Batas Bawah (FAS < 0,27):** Jika FAS terlalu rendah, pasta semen akan menjadi kering dan rapuh. Pasta gagal menyelimuti (*coating*) agregat secara merata dan tidak memiliki daya rekat yang cukup saat terjadi kontak antar agregat. Kondisi ini menyebabkan beton *porous* rentan mengalami kegagalan struktural berupa rontoknya butiran agregat (*raveling*) segera setelah dibebani.
2. **Batas Atas (FAS > 0,34):** Jika FAS terlalu tinggi, pasta semen menjadi terlalu encer. Gaya gravitasi akan menyebabkan pasta mengalir turun dari permukaan agregat (*paste drain-down*) menuju dasar pelat beton. Fenomena ini berakibat fatal ganda: bagian atas beton menjadi lemah karena kehilangan pasta pengikat, sedangkan bagian bawah beton menjadi kedap air karena rongga-rongga pori tersumbat oleh endapan pasta (*clogging*).

2.7.2 Pengaruh FAS terhadap Beton Fast Track

Dalam konteks penelitian beton *Fast Track Porous*, pemilihan nilai FAS menjadi faktor utama untuk mencapai kuat awal yang tinggi (*high early strength*) sehingga beton dapat segera mencapai kapasitas kekuatan yang dibutuhkan dalam

waktu yang lebih singkat.

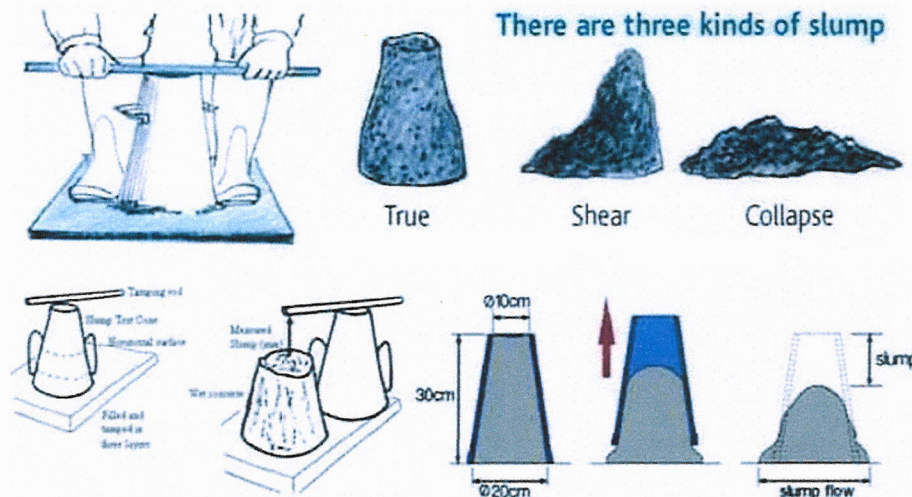
- **Target Kekuatan:** Untuk mencapai spesifikasi *fast track* (misalnya beton bisa dilalui dalam 24 jam), diperlukan FAS yang serendah mungkin (mendekati 0,27 - 0,30) guna meminimalisir pori kapiler di dalam pasta semen itu sendiri dan mempercepat proses pengikatan.
- **Peran Silica Fume:** Karena penelitian ini menggunakan *Silica Fume* sebagai bahan substitusi parsial semen, istilah yang lebih tepat digunakan adalah **Faktor Air-Binder (w/b)** atau **Water-Cementitious Materials Ratio (w/cm)**. Kehalusan ekstrim dari *Silica Fume* akan meningkatkan kebutuhan air (*water demand*) karena luas permukaan spesifik yang besar.

Oleh karena itu, penggunaan FAS rendah (misalnya 0,30) pada campuran yang mengandung *Silica Fume* akan menghasilkan adukan yang sangat kaku dan sulit untuk dikerjakan. Pada kondisi ini, peran penting *Superplasticizer* (seperti Consol N11 LN) dibutuhkan untuk membantu menyebarkan partikel semen dan silica fume agar campuran tetap memiliki tingkat kelecakan (*workability*) yang cukup untuk membasahi agregat tanpa harus menambah air yang dapat menurunkan kualitas beton.

Dengan demikian, FAS dalam penelitian ini dirancang konstan pada nilai rendah (seperti 0,30) untuk menjamin kualitas pasta yang padat dan kuat, sementara viskositas adukan dikontrol sepenuhnya menggunakan dosis *superplasticizer*.

2.8 Slump

Uji *slump* merupakan metode standar yang digunakan secara luas untuk mengukur konsistensi atau plastisitas beton segar, yang menjadi indikator kemudahan pengerjaan (*workability*). Prosedur ini mengacu pada SNI 1972:2008 atau ASTM C143 (*Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*), di mana besarnya penurunan ketinggian kerucut beton diukur setelah cetakan kerucut Abrams diangkat.



Gambar 2. 3 Pengujian Slump

Sumber: <https://www.quantity-takeoff.com/slump-test-of-concrete.htm>

2.8.1 Slump pada Beton Porous

Berbeda dengan beton konvensional yang memiliki matriks mortar berupa pasir dan semen yang cukup untuk memberikan efek pelumasan antar agregat kasar, beton porous dirancang dengan penggunaan agregat halus yang sangat sedikit atau bahkan tidak digunakan sama sekali. Kondisi tersebut menyebabkan gesekan antar butiran (*inter-particle friction*) menjadi sangat tinggi sehingga campuran tidak memiliki sifat plastis yang mampu mengalir dengan baik.

Mengacu pada ACI 522R-10, nilai *slump* untuk beton *porous* yang proporsional umumnya berada pada kisaran 0 mm hingga 20 mm, atau sering disebut sebagai beton *Zero-Slump*.

- **Hasil Nol:** Jika beton tidak mengalami penurunan sama sekali saat cetakan diangkat, hal ini wajar dan justru diharapkan pada beton *porous*.
- **Slump Tinggi:** Jika terjadi penurunan *slump* yang signifikan (misalnya > 50 mm), ini justru mengindikasikan bahwa kadar air terlalu tinggi. Kondisi ini berbahaya karena pasta semen akan mengalir ke bagian bawah (*segregasi*) dan menutup rongga-rongga pori (*clogging*), yang mengakibatkan hilangnya fungsi permeabilitas beton.

2.8.2 Metode Kontrol Kualitas Visual (Hand Squeeze Test)

Karena uji *slump* konvensional tidak memberikan informasi yang sensitif mengenai kualitas adukan beton *porous*, evaluasi di lapangan lebih ditekankan pada inspeksi visual. Standar ACI 522R merekomendasikan metode *Hand Squeeze Test* atau uji kepal tangan sebagai indikator praktis:

1. **Prosedur:** Ambil segenggam adukan beton segar, lalu kepal dengan kuat.
2. **Indikator Ideal:** Saat genggam dibuka, campuran harus mampu membentuk bola yang padat dan tidak hancur (*crumbles*). Selain itu, tangan harus terlihat lembap dengan lapisan pasta yang mengkilap (*metallic sheen*), namun tidak sampai meneteskan air atau pasta berlebih.
3. **Indikator Gagal:**
 - *Terlalu Kering:* Bola hancur saat genggam dibuka dan pasta terlihat kusam.
 - *Terlalu Basah:* Pasta menempel tebal di tangan atau menetes, bola terlihat "leleh".

2.8.3 Pengaruh Silica Fume terhadap Slump

Dalam penelitian ini, penggunaan *silica fume* sebagai bahan tambah *pozzolan* memberikan pengaruh tertentu terhadap perilaku *slump*. Partikel *silica fume* yang berukuran sangat halus dapat meningkatkan gaya kohesi sehingga campuran menjadi lebih lengket (*sticky*). Kondisi ini membuat adukan beton *fast track porous* terasa lebih kaku serta lebih berat saat proses pengadukan dibandingkan beton *porous* tanpa penambahan *silica fume*. Oleh karena itu, meskipun nilai *slump* yang diperoleh bernilai nol, keberhasilan proses pemadatan sangat ditentukan oleh besarnya energi pemadatan yang diberikan serta efektivitas *superplasticizer* dalam membantu pelumasan partikel semen.

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai beton *porous* sebelumnya telah banyak dilakukan dengan fokus utama untuk mengatasi permasalahan rendahnya kuat tekan yang disebabkan oleh tingginya volume rongga udara. Berdasarkan rumusan masalah dalam penelitian ini, kajian terhadap penelitian terdahulu dibagi menjadi tiga topik

utama yang saling berhubungan, yaitu pengaruh bentuk agregat kasar, peran bahan tambah mineral (*silica fume*), serta penggunaan *superplasticizer* pada beton *fast track*.

Berikut adalah rangkuman penelitian terdahulu yang relevan dan menjadi landasan komparatif bagi penelitian ini:

Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Fokus & Hasil Penelitian	Relevansi dengan Rumusan Masalah
1	Febrianto & Wardhono (2016)	<i>Pengaruh Silica Fume pada Porous Concrete Block</i>	Meneliti dampak penambahan <i>Silica Fume</i> sebagai <i>filler</i> . Hasilnya menunjukkan peningkatan kepadatan massa namun sedikit menurunkan porositas.	Menjawab masalah rendahnya kuat tekan. Penelitian ini menjadi dasar penentuan dosis <i>Silica Fume</i> agar pori tidak tersumbat total.
2	Siombing (2017)	<i>Pengaruh Silica Fume terhadap Kuat Tekan Beton Porous</i>	Fokus pada optimasi <i>mix design</i> dengan substitusi parsial semen menggunakan <i>Silica Fume</i> . Ditemukan bahwa reaksi <i>pozzolanic</i> efektif meningkatkan ikatan pasta.	Relevan dengan tujuan penelitian untuk meningkatkan kekuatan pasta tanpa menghilangkan fungsi drainase.
No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Fokus & Hasil Penelitian	Relevansi dengan Rumusan Masalah
3	Simanjuntak & Tampubolon (2022)	<i>Pengaruh Variasi Agregat Kasar pada Beton Porous</i>	Membandingkan kinerja mekanis beton <i>porous</i> dengan berbagai jenis batuan. Kesimpulannya, agregat bersudut tajam (<i>angular</i>) memberikan	Mendukung argumen penggunaan Agregat Batu karang (<i>Crushed Stone</i>) untuk mendapatkan <i>interlocking</i> maksimal .

			stabilitas struktur lebih baik dibanding agregat bulat.	
4	Andriansyah & Walujodjati (2023)	<i>Pengaruh Superplasticizer terhadap Kuat Tekan Beton Porous</i>	Mengkaji penggunaan <i>High Range Water Reducer</i> untuk mengurangi FAS. Hasilnya, pengurangan air meningkatkan kuat tekan secara signifikan di umur awal.	Menjawab tantangan Fast Track. Penggunaan <i>superplasticizer</i> krusial untuk mencapai target beton cepat keras.
5	Febrianto et al. (2024)	<i>Analisis Agregat Bergradasi 20 mm pada Beton Porous</i>	Menganalisis pengaruh keseragaman ukuran butir (<i>uniform graded</i>) terhadap pembentukan rongga udara (<i>void ratio</i>).	Relevan dengan Batasan Masalah mengenai penggunaan ukuran agregat seragam untuk menjaga permeabilitas.

Berdasarkan pemetaan penelitian di atas, terdapat hubungan yang jelas dengan rumusan masalah yang diajukan:

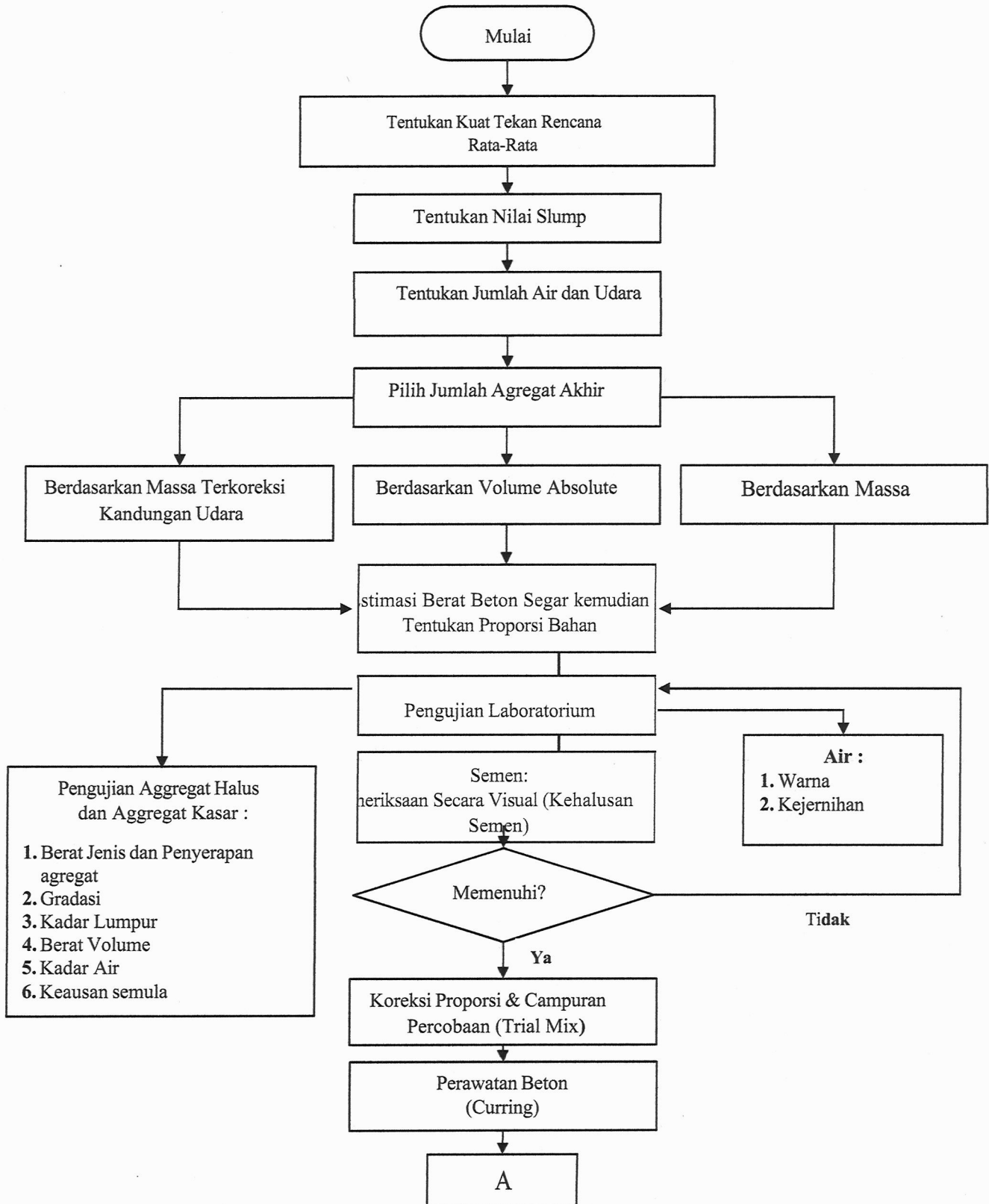
1. **Dilema Kekuatan vs Permeabilitas:** Penelitian Febrianto (2016) dan Sihombing (2017) mengonfirmasi bahwa *Silica Fume* dapat menaikkan kuat tekan, namun belum secara spesifik mengkaji aplikasinya untuk *Fast Track* (beton cepat keras 1-3 hari) yang menjadi fokus utama masalah penelitian ini.
2. **Peran Agregat Batu karang:** Penelitian Simanjuntak (2022) mendukung hipotesis bahwa batu pecah memberikan *interlocking* yang baik. Namun, penggunaan batu pecah pada sistem *porous* seringkali menghasilkan *workability* yang buruk karena gesekan antar butir yang tinggi. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengombinasikan batu pecah dan *superplasticizer* (merujuk pada Andriansyah, 2023) untuk mengatasi masalah pengerjaan.

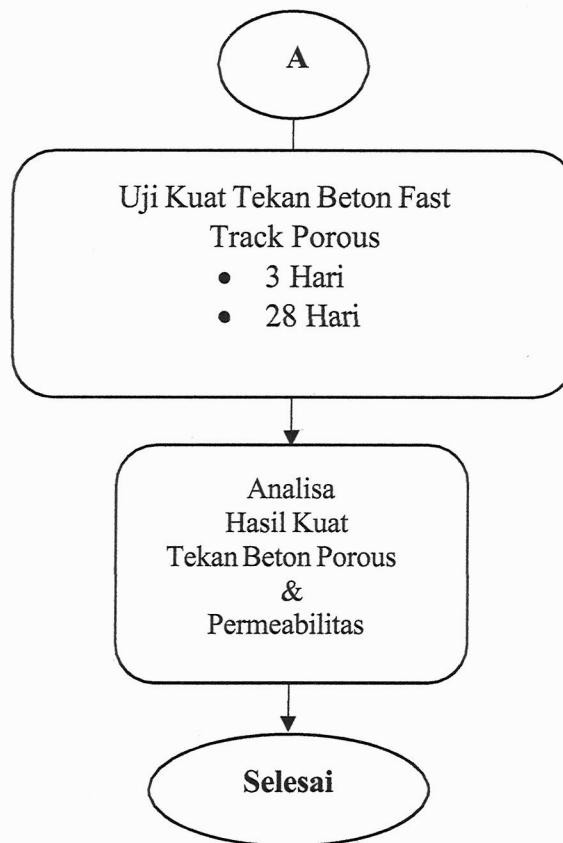
Oleh karena itu, kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada **integrasi** ketiga variabel tersebut: penggunaan agregat kasar batu karang (untuk stabilitas), *Silica Fume* (untuk kepadatan pasta), dan metode *Fast Track* (untuk kecepatan konstruksi), yang belum dibahas secara komprehensif dalam satu penelitian terdahulu yang disebutkan di atas.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat melengkapi literatur yang ada dengan menyajikan data empiris mengenai perilaku beton porous yang dimodifikasi untuk kebutuhan konstruksi jalan perkotaan yang cepat dan kuat.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Beton Tabel 3.1 Rencana Benda Uji Kuat Tekan

No.	Benda Uji	an Batu ecah		Additive Consol 11 LN	Admixture Silicafume	Uji Kuat Tekan			Jumlah Total Sampel
		5 m	5 m			3 Hari	7 Hari	28 Hari	
1	1 Batu arang	25%	75%	0,9%	5%	3	3	3	9
2	2 Batu arang	50%	50%	0,9%	5%	3	3	3	9
3	Batu karang	75%	25%	0,9%	5%	3	3	3	9
						9	9	9	27

Keterangan :

B1 Karang = Komposisi Anggregat Kasar Batu Karang ukuran 1,5 cm 25%.

Perbandingan Anggregat Kasar Batu Karang ukuran 2,5 cm 75%.

Penggunaan *Additive* Type G (Consol N11 LN) 0,9%. Penggunaan *Admixture*

(*Sillicafume*) 5%.

B2 Karang = Komposisi Anggregat Kasar Batu Karang ukuran 1,5 cm 50%.

Perbandingan Anggregat Kasar Batu Karang ukuran 2,5 cm 50%.

Penggunaan *Additive Type G* (Consol N11 LN) 0,9%. Penggunaan *Admixture* (*Sillicafume*) 5%.

B3 Karang= Komposisi Anggregat Kasar Batu Karang ukuran 1,5 cm 75%.

Perbandingan Anggregat Kasar Batu Karang ukuran 2,5 cm 25%.

Penggunaan *Additive Type G* (Consol N11 LN) 0,9%. Penggunaan *Admixture* (*Sillicafume*) 5%.

Metode penelitian ini dilakukan dengan cara pengujian di labolatorium Universitas Sangga Buana (YPKP) Bandung, sesuai dengan data-data studi pustaka Standar Nasional Indonesia. Tata cara perencanaan beton dengan Metode ACI (*American Concrete Institute*), penggunaan agregat kasar Batu Pecah, bahan tambah *silicafume* dan *superplasticizer* (Consol N11 LN) ini dapat digunakan untuk menentukan proporsi campuran semen beton porous dan untuk mengoptimasi campuran tersebut berdasarkan campuran coba.

Metode ACI (*American Concrete Institute*) 211.1-91 *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavy weight and Mass Concrete (Reapproved 2002)* mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan kekuatan dan pekerjaan beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*Workability*).

3.2 Lokasi Penelitian

Seluruh penelitian dilakukan di Labolatorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil. Universitas Sangga Buana YPKP Bandung Jl. PHH Mustofa No. 68 Bandung.

3.3 Jenis Benda Uji

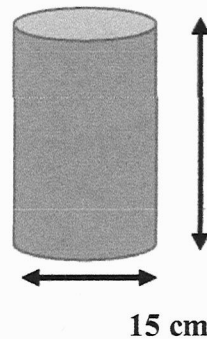
Benda uji yang akan digunakan adalah cetakan berbentuk Silinder dengan

ukuran 150x300 mm. = $0,25 \times 3,14 \times 15 \times 15 \times 30$

Volume silinder = 0.005298 m^3

Jumlah Benda Uji = 9 buah

Volume Total = 0.04769 m^3



Gambar 3.2 Benda Uji Kuat Tekan Beton

3.4 Material dan Peralatan

3.4.1 Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini dipilih berdasarkan standar spesifikasi untuk beton *fast track porous*. Berikut adalah rincian material yang digunakan:

1. Semen *Portland* (PC)

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Portland Tipe I merek Tiga Roda dengan kemasan 50 kg. Pemilihan jenis semen tersebut didasarkan pada ketersediaannya yang mudah diperoleh di pasaran serta penggunaannya yang bersifat umum. Jenis semen ini tidak dirancang untuk kondisi khusus seperti ketahanan terhadap sulfat, namun tetap memiliki kemampuan yang baik dalam bereaksi dengan bahan tambah untuk mencapai perkembangan kekuatan awal beton.



Gambar 3.3 Semen

2. Agregat Kasar Batu Karang

Agregat kasar berperan sebagai komponen utama yang membentuk struktur rangka (*skeleton*) pada beton porous. Penelitian ini menggunakan batu pecah yang dihasilkan dari mesin pemecah batu (*stone crusher*) dengan karakteristik permukaan kasar, bentuk bersudut tajam (*angular*), serta memiliki tingkat kekerasan yang tinggi.



Gambar 3.4 Agregat Kasar Batu Karang

Agregat yang digunakan memiliki gradasi seragam (*uniform graded*) dengan ukuran nominal 10 mm – 20 mm (lolos saringan 3/4" dan tertahan saringan 3/8"). Penggunaan batu karang diharapkan memberikan *interlocking* (saling mengunci) yang lebih kuat dibandingkan kerikil bulat atau Batu Pecah.

3. Agregat Halus (Pasir)

Pasir dalam penelitian ini digunakan dalam jumlah kecil sebagai bahan pengisi (filler) yang berfungsi untuk meningkatkan kepadatan pasta semen tanpa menghilangkan porositas utama beton. Material pasir yang dipakai harus dalam kondisi bersih, bebas dari kandungan lumpur maupun bahan organik agar tidak mengganggu kualitas campuran dan kinerja beton.



Gambar 3.5 Agregat Halus (Pasir)

4. Air

Air yang digunakan dalam proses pencampuran dan perawatan (*curing*) beton berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP. Air tersebut harus dalam kondisi bersih dan jernih, serta tidak mengandung minyak, garam, maupun zat kimia lain yang dapat merusak kualitas beton atau mengganggu proses hidrasi semen.



Gambar 3.6 Air

5. *Concrete Additive (Consol N11 LN)*

Untuk mencapai target *Fast Track* dengan faktor air semen rendah, digunakan *High Range Water Reducer* (HRWR) merek **Consol N11 LN**. Cairan ini berfungsi mengurangi kebutuhan air sekaligus menjaga kelecakan (*workability*) adukan beton agar mudah dipadatkan.



Gambar 3.7 Concrete Additive (Consol N11 LN)

6. Silica fume

4 Silica Fume berfungsi sebagai bahan pengganti sebagian semen (material pengikat tambahan) untuk memperkuat zona transisi (ITZ) antara agregat dan pasta semen. Produk yang dipakai adalah SikaFume® dalam kemasan 20 kg. Materi ini mengandung partikel sangat kecil yang reaktif (pozzolanik) untuk secara signifikan meningkatkan kekuatan tekan beton



Gambar 3.8 Silica fume

3.4.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat-alat persiapan material, pembuatan benda uji, hingga pengujian akhir di Laboratorium Struktur dan Bahan.

- Timbangan Digital: Kapasitas 20 kg dengan ketelitian 1 gram untuk menimbang material semen, air, dan *admixture* secara presisi.
- Mesin Pengaduk (Concrete Mixer): Tipe *pan mixer* atau *drum mixer* untuk mengaduk campuran beton agar homogen.
- Set Saringan (Sieve Analysis): Satu set saringan standar ASTM untuk memeriksa gradasi agregat kasar (batu karang).
- Cetakan Silinder: Cetakan baja berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm sesuai standar SNI untuk uji kuat tekan.
- Peralatan Uji Slump: Kerucut Abrams, tongkat pemadat, dan plat alas (digunakan untuk *visual slump check*).
- Alat Uji Permeabilitas: Rangkaian alat *Falling Head Permeameter* (pipa PVC, stopwatch, gelas ukur) yang dimodifikasi untuk mengukur laju alir air pada beton *porous*.
- Mesin Uji Tekan (Compression Testing Machine): Mesin tekan hidrolik untuk menguji beban maksimum beton pada umur 3, 7, dan 28 hari.
- Oven Laboratorium: Untuk memeriksa kadar air agregat.
- Alat Bantu Lain: Sendok semen, cetok, ember, palu karet, dan gelas ukur.

3.5 Standar Pengujian

Penelitian Labolatorium yang dilakukaan adalah :

- Pemeriksaan terhadap sifat-sifat dasar material pembentuk beton, yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus.
- Pemeriksaan terhadap sifat-sifat beton pada fase plastis, yaitu perubahan nilai slump.
- Pemeriksaan terhadap sifat-sifat beton pada fase kersa atau padat, yaitu kekuatan tekan beban benda uji beton silinder dengan dimensi 15 x 30 mm cm pada umur 7 hari.

3.6 Standar dan Alat Pengujian

Standar yang digunakan dalam pemeriksaan dan pengujian agregat kasar adalah standar **SNI (Standar Nasional Indonesia)**. Berikut beberapa standar yang dipergunakan dalam pengujian yang tertera pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Standar Pengujian Beton

No	Jenis Pengujian	Metode / Standar Acuan	Keterangan
A	Pengujian Agregat (Batu Pecah)		
1	Analisa Saringan (<i>Sieve Analysis</i>)	SNI ASTM C136:2012	Menentukan gradasi agregat
2	Berat Jenis & Penyerapan (<i>Specific Gravity</i>)	SNI 1969:2008	Data untuk <i>Mix Design</i>
3	Berat Isi & Rongga Udara (<i>Unit Weight</i>)	SNI 03-4804-1998	Menentukan kepadatan gembur/padat
4	Kadar Lumpur (<i>Material Finer than 75-μm</i>)	SNI ASTM C117:2012	Memastikan kebersihan agregat
B	Pengujian Beton Segar		
1	Uji <i>Slump</i> (<i>Slump Test</i>)	SNI 1972:2008	Mengontrol konsistensi adukan
2	Berat Isi Beton Segar	SNI 1973:2008	Menghitung porositas aktual
C	Pengujian Beton Keras		
1	Kuat Tekan (<i>Compressive Strength</i>)	SNI 1974:2011	Jji beban hancur silinder
2	Permeabilitas (<i>Falling Head Test</i>)	ACI 522R-10	Mengukur laju alir air
3	Perawatan Beton (<i>Curing</i>)	SNI 2493:2011	Metode perendaman

1. Tahapan Pengujian Material Agregat Kasar

Uji material dilaksanakan untuk memperoleh desain campuran. Pengujian bahan dilakukan untuk memahami sifat atau karakteristik yang ada dalam bahan tersebut sesuai dengan ketentuan. Agregat kasar yang digunakan adalah batu kerikil yang ada di laboratorium Universitas Sangga Buana YPKP Bandung. Berikut adalah tahapan-tahapan dalam pengujian bahan penyusun beton

3.7.1 Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Kasar

Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat dilakukan untuk menentukan bagian butir (gradasi) agregat. Distribusi butiran pada agregat diperlukan dalam

perencanaan adukan beton.

1. Peralatan

- a. Timbangan/Neraca dengan ketelitian 0.01 gram.
- b. Saringan-saringan (*sieve*) ayakan yang digunakan terdiri dari beberapa ukuran. Ukuran untuk agregat kasar 37.5 mm; 31.5 mm; 25 mm; 19.5 mm; 12.5 mm; 9.5 mm; dan pan.
- c. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu sampai $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- d. Mesin pengguncang saringan (*Sieve Shaker*)
- e. Cawan
- f. Kuas pembersih
- g. Sikat Tembaga
- h. Sendok Pasir
- i. Ember

2. Bahan

- a. Agregat Kasar

3. Prosedur Pengujian

Penelitian laboratorium yang dilakukan adalah :

- a. Saringan dan pan yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian masing-masing saringan ditimbang. Kemudian disusun sesuai standar.
- b. Bahan atau benda uji dikeringkan dalam oven $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, setelah kering tanah diambil dan bagian yang menggumpal di buyarkan kemudian ditimbang.
- c. Masukkan benda uji ke saringan yang telah disusun. Susunan saringan dimulai dari saringan paling besar di atas sampai paling kecil di bawah. Kemudian ditutup dan penjepit susunan saringan dikencangkan.
- d. Getarkan mesin penggetar ± 15 menit, kemudian mesin dimatikan dan biarkan 5 menit untuk pengendapan debu-debu di dalamnya.
- e. Pisahkan benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan
- f. Timbang dan catat benda uji yang dipisahkan

3.7.2 Analisis *Specific-Gravity* (Berat Jenis) dan Penyerapan Air

1. Peralatan

- a. Timbangan/ Neraca yang mempunyai kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,1 dari berat contoh yang ditimbang dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
 - b. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu sampai $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
 - c. Ram kawat / Keranjang kawat dengan ukuran saringan No.6 (3,35 mm) atau saringan No.8 (2,36 mm) dengan kapasitas kurang dari 5 kg.
 - d. Tempat penampung air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan. Tempat ini harus dilengkapi dengan pipa agar permukaan air tidak berkurang.
 - e. Alat pemisah contoh : saringan No. 4 (4.75 mm).
2. Bahan
- a. Agregat Kasar
3. Prosedur Pengujian
- a. Bersihkan benda uji dengan mencucinya agar debu dan bahan lainnya yang melekat pada permukaan hilang.
 - b. Keringkan benda uji dengan dimasukan kedalam oven pada suhu ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) sampai berat tetap, dengan catatan bila penyerapan dan nilai berat jenis digunakan dalam pekerjaan beton dimana agregatnya digunakan pada keadaan kadar air aslinya, maka tidak perlu dilakukan pengeringan dengan oven.
 - c. Dinginkan benda uji pada suhu kamar kurang lebih selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (**Bk**);
 - d. Rendam benda uji didalam air pada suhu kamar selama 24+4 jam;
 - e. Keringkan benda uji sampai kering permukaan (**SSD**) hingga selaput air pada permukaan hilang menggunakan handuk. Untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu;
 - f. Timbang benda uji yang sudah kering permukaan jenuh (**Bj**);
 - g. Benda uji dimasukan kembali ke dalam keranjang dan direndam kembali. Goyang-goyang keranjang untuk melepas udara yang terperangkap dalam air kemudian dalam posisi terendam timbang berat benda uji tersebut (**Ba**) dan ukura suhu air untuk penyesuaian perhitungan pada suhu standar 25°C ;

- h. Benda uji dikeluarkan kembali dan keringkan, setelah kering timbang kembali benda uji dan hitung berat benda uji kondisi kering.
- i. Catatan : Banyak jenis bahan campuran yang mempunyai bagian butir-butir berat dan ringan, bahan sejenis ini memerlukan harga-harga berat jenis yang tidak tetap walaupun pemeriksaan dilakukan dengan sangat berhati-hati, dalam hal ini beberapa pemeriksaan ulangan diperlukan untuk mendapatkan harga rata-rata yang memuaskan.

4. Perhitungan

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar diberikan sebagai berikut :

- a. Berat jenis curah (*bulk specific gravity*) :

$$Bk / (Bj - Ba)$$

- b. Berat jenis kering – permukaan jenuh (*saturated surface dry*) :

$$\frac{Bi}{Bi - Ba}$$

- c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) :

$$Bk / (Bk - Ba)$$

- d. Penyerapan (*Absorpsi*) :

$$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$$

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven, dalam gram.

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram.

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air, dalam gram.

3.7.3 Analisa Berat Isi Volume Agregat Kasar

Pemeriksaan berat volume agregat untuk perbandingan antara berat material kering dengan volume. Untuk mengetahui berat volume dalam kondisi “SSD” (*Saturated Surface Dry*).

1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1% dari berat material
- b. Batang pemadat berdiameter 15mm dan panjang 60cm dengan ujung

yang bulat

- c. Sekop
- d. Mistar perata
- e. Wadah *silinder* di sertai pegangan

2. Bahan

- a. Agregat Kasar (Kerikil)

3. Prosedur Pengujian

- a. Timbang dan catatlah berat wadah *silinder*.
- b. Masukkan agregat setengah wadah cetakan silinder tusuk 25 kali secara merata, lakukan perlakuan ini sampai 2 kali pengisian.
- c. Ratakan permukaan wadah cetakan dengan mistar perata
- d. Timbang dan catat berat wadah cetakan beserta isi
- e. Hitung volume agregat dan kadar air sesuai **SNI**.

4. Perhitungan

- a. Berat Isi

$$I = \frac{B2 - B1}{V}$$

- b. Berat Isi Kering

$$Id = \frac{r - 100}{100 + W}$$

Keterangan :

I = Berat isi tanah (kN/m³)

B1= Berat cetakan benda uji (kN)

B2= Berat cetakan + benda uji (kN)

V = Volume Agregat (m³)

Id = Berat isi kering (kN/m³)

W = Kadar air (%) dihitung sesuai dengan metode pengujian kadar air tanah (**SNI – 1965 – 1990 – F**).

3.7.4 Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Referensi :

SNI 03-1973-1990, Metoda pengujian bobot isi agregat **SNI 03-3676-1999**, Metoda pengujian berat isi agregat Tujuan :

Menentukan berat isi atau bobot isi agregat kasar dan serta agregat halus.

Agregat halus dalam kondisi lepas dan padat.

1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1%
- b. Batang Pemadat
- c. Cetakan
- d. Alat Perata
- e. Sendok Sekop
- f. Spliter
- g. Kuas
- h. Ember
- i. Nampan

Catatan : Contoh agregat dikeringkan diudara, lalu dicampur rata. Kemudian contoh agregat diambil sebagian, pengambilan contoh benda uji dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

1. Cara *Quartering*

Contoh agregat dicampur terlebih dahulu kemudian ditumpuk hingga membentuk gundukan menyerupai bukit dengan bentuk melingkar. Gundukan tersebut kemudian dibagi menjadi empat bagian yang sama. Dua bagian yang saling berhadapan digabungkan kembali, sedangkan dua bagian lainnya dipisahkan. Proses ini dilakukan secara berulang sampai diperoleh jumlah sampel yang mencukupi untuk pengujian bobot isi, baik dalam kondisi padat maupun gembur, pada agregat kasar dan agregat halus.

2. Cara *Riffle Sample*

Contoh agregat terlebih dahulu diaduk, kemudian dimasukkan ke dalam Riffle Sampler yang secara otomatis membagi material menjadi dua bagian yang relatif sama. Salah satu bagian hasil pembagian tersebut kemudian

kembali diproses menggunakan Riffle Sampler untuk mendapatkan pembagian yang lebih representatif. Proses ini dilakukan secara berulang hingga diperoleh jumlah sampel yang mencukupi untuk pengujian bobot isi, baik dalam kondisi padat maupun gembur, pada agregat kasar dan agregat halus.

3. Bahan

- a. Agregat Kasar

4. Prosedur Pengujian

- a. Timbang berat cetakan (W_c) yang telah diketahui volumenya (V_c)
- b. Masukkan campuran agregat dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir, dari ketinggian maksimum 5 cm diatas container dengann menggunakan sendok / sekop sampai penuh.
- c. Ratakan permukaan cetakan dengan alat perata
- d. Timbang berat cetakan + isi = W_{cac}

$$\text{Perhitungan Bobot isi} = W_{cac} - W_c \text{ (gr/ cm}^3\text{)} / V_c$$

5. Bobot isi padat :

- a. Ambil cetakan isi , untuk agregat kasar volumenya 7.115 L, sedangkan untuk agregat halus volumenya 2.642 L
- b. Timbang cetakan (c) + Tutupnya.
- c. Masukkan campuran agregat kedalam cetakan tersebut $\pm 1/2$ bagian lalu tusuk-tusuk dengan batang pemadat sebanyak 25 kali.
- d. Ulangi hal yang sama untuk lapisan kedua dan ketiga.
- e. Untuk lapisan terakhir, masukan campuran agregat kasar sehingga melebihi permukaan atas cetakan (sampai meluap) lalu tusuk-tusuk kembali sebanyak 25 kali.
- f. Ratakan permukaan campuran agregat dengan alat perata.
- g. Untuk agregat yang besar, ambil kelebihan agregat atur sedemikian rupa sehingga volume agregat yang berada di atas batas cetkan kurnag lebih sama dengan volume rongga permukaan.
- h. Timbang wadah + isi = W_{cac} .

3.7.5 Pengujian Kadar Lumpur

Referensi :

PBI 1971 : Tentang Persyaratan Kadar Lumpur Agregat Halus dan Kasar Lolos Saringan No.200.

SNI 03-4142-1996 : Metoda pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No.200.

Tujuan :

Untuk menentukan atau mengetahui kadar lumpur yang dikandung oleh agregat halus dan kasar dengan cara laboratorium.

1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1 % dari agregat.
- b. Saringan No. 16 dan No. 200
- c. Oven dengan pengatur suhu (110 ± 5)°c
- d. Wadah yang cukup besar untuk pencuci pasir
- e. Cawan untuk mengeringkan agregat
- f. Ember
- g. Alat Pembagi Contoh (*Riffler Sampler*)

2. Bahan

- a. Agregat halus dengan berat 1000 gr
- b. Agregat kasar kering oven dengan berat 1500 gr dengan besar butir maksimum 9.6 mm.
- c. Air Bersih

3. Prosedur Pengujian

- a. Siapkan semua peralatan yang akan digunakan dan pastikan semua dalam kondisi baik..
- b. Timbang cawan yang akan digunakan.
- c. Bagi agregat masukan benda uji ke dalam cawan kemudian timbang beratnya.
- d. Keringkan ke dalam oven hingga mencapai berat tetap.
- e. Masukan agregat kering oven dengan berat volume tertentu (W1) kedalam cawan dan tuangkan air bersih kedalamnya hingga agregat

terendam.

- f. Aduk agregat agar terpisah dari bagian-bagian yang halus (lumpur) lalu tuangkan suspensi yang keliatan keruh tersebut dengan perlahan-lahan kedalam susunan ayakan No. 16 dan No.200.
- g. Ulangi langkah 3, 4 dan 5 diatas beberapa kali sampai air cucian (bilasan) dalam cawan / ember nampak jernih.
- h. Bilas butira-butrian yang tertinggal diatas beberapa kali sampai air dicucian (bilasan) dalam cawan / ember nampak jernih.
- i. Bilas butiran-butiran yang tertinggal diatas susunan ayakan hingga air bilasan nampak jernih.
- j. Tampung butiran-butiran yang tertinggal di atas ayakan dan cawan / ember, lalu keringkan butiran / agregat tersebut dalam oven dengan suhu 110 ± 5 °c sampai berat tetap.
- k. Agregat halus / kasar yang sudah dicuci lalu di oven.
- l. Perhitungan

Nilai bahan lolos

$$\text{No.200} = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100\%$$

Dimana

W1 = Berat benda uji sebelum dicuci kering oven (Gr)

W2 = Berat Benda Uji Tertahan No.200 setelah dicuci kering oven (Gr)

3.8 Tahapan Pengujian Material Agregat Halus

Pengujian material dilakukan untuk mendapatkan *Mix Design*. Pengujian material bertujuan untuk mengetahui sifat atau karakteristik yang terdapat dalam material tersebut sesuai dengan peraturan. Agregat kasar yang digunakan adalah batu kerikil yang tersedia di labolatorium Universitas Sangga Buana YPKP Bandung. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pengujian material penyusun beton.

3.8.1 Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus

Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat dilakukan untuk menentukan bagian butir (gradasi) agregat. Distribusi butiran pada agregat diperlukan dalam perencanaan

adukan beton.

1. Peralatan

- a. Timbangan/Neraca dengan ketelitian 0.01 gram.
- b. Saringan-saringan (*sieve*) ayakan yang digunakan terdiri dari beberapa ukuran. Ukuran untuk agregat halus 4.75 mm; 2.36 mm; 1.18 mm; 0.6 mm; 0.3 mm; 0.15 mm; 0.075 mm dan Pan.
- c. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu sampai $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- d. Mesin pengguncang saringan (*Sieve Shaker*).
- e. Cawan.
- f. Kuas pembersih.
- g. Sikat Tembaga.
- h. Sendok Pasir.
- i. Ember.

2. Bahan

- a. Agregat Halus

3. Prosedur Pengujian

Penelitian laboratorium yang dilakukan adalah :

- a. Saringan dan pan yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian masing-masing saringan ditimbang. Kemudian disusun sesuai standar.
- b. Bahan atau benda uji dikeringkan dalam oven $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, setelah kering tanah diambil dan bagian yang menggumpal di buyarkan kemudian ditimbang.
- c. Masukkan benda uji ke saringan yang telah disusun. Susunan saringan dimulai dari saringan paling besar di atas sampai paling kecil di bawah. Kemudian ditutup dan penjepit susunan saringan dikencangkan.
- d. Getarkan mesin penggetar ± 15 menit, kemudian mesin dimatikan dan biarkan 5 menit untuk pengendapan debu-debu di dalamnya.
- e. Pisahkan benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan
- f. Timbang dan catat benda uji yang dipisahkan.

3.8.2 Analisis Specific-Gravity (Berat Jenis) dan Penyerapan Air

1. Peralatan

- a. Timbangan/ Neraca yang mempunyai kapasitas 1 kg atau lebih dengan ketelitian 0,1 gr.
- b. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu sampai $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- c. Saringan No.4 (4,75 mm)
- d. Piknometer dengan kapasitas 500 ml
- e. Kerucut terpancung, diameter bagian atas (40 ± 3) mm, diameter bagian bawah (90 ± 3) mm dan tinggi (75 ± 3) mm dibuat dari logam tebal minimum 0,8 mm.
- f. Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340 ± 15) gram, diameter permukaan penumbuk (25 ± 3) mm
- g. Talam
- h. Pengukuran suhu dengan ketelitian pembacaan 1°C
- i. Bejana tempat air
- j. Pompa hampa udara atau tungku
- k. Desikator

2. Bahan

- a. Agregat halus

3. Prosedur Pengujian

- a. Adalah keadaan berat benda uji selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut-turut tidak akan mengalami perubahan kadar air lebih besar dari pada 0,1% dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam air selama (24 ± 4) jam
- b. Buang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, terbarkan agregat diatas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikan benda uji lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh.
- c. Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji kedalam kerucut terpancung padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung keadaan kering permukaan

jenuh tercapai apabila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak

- d. Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan 500 gram benda uji ke dalam piknometer, masukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, putar sambil di guncang sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya; untuk mempercepat proses ini dapat dipergunakan pompa hampa udara, tetapi harus diperhatikan jangan sampai ada air yang ikut terhisap dapat juga dilakukan dengan merebus piknometer.
- e. Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25°C
- f. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas
- g. Timbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram **(Bt)**.
- h. Keluarkan benda uji keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5^\circ\text{C})$ sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator
- i. Setelah benda uji dingin kemudian timbanglah **(Bk)**.
- j. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air gunakan penyesuaian dengan suhu standar 25°C.

4. Perhitungan

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar diberikan sebagai berikut :

- a. Berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*) :

$$Bk / (B + 500 - Bt)$$

- b. Berat jenis kering – permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) :

$$500 / (B + 500 - Bt)$$

- c. Berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) :

$$\frac{Bk}{B + Bk - B}$$

- d. Penyerapan (*Absorpsi*) :

$$\frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100\%$$

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven, dalam gram.

B = Berat piknometer berisi air, dalam gram

Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 = Berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram.

3.8.3 Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Untuk menyeragamkan dan mendapatkan nilai berat isi agregat dengan cetakan benda uji

1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1%
- b. Batang Pemadat
- c. Cetakan Benda Uji
- d. Alat Perata
- e. Sendok Sekop
- f. Spliter
- g. Kuas
- h. Ember
- i. Nampan

2. Bahan

- a. Agregat Halus

3. Prosedur Pengujian

- a. Siapkan peralatan yang akan digunakan dan siapkan benda uji
- b. Menimbang berat cetakan
- c. Masukkan benda uji kedalam cetakan
- d. Hitung isi cetakan
- e. Timbang cetakan beserta benda ujinya
- f. Hitung kadar air sesuai dengan SNI
- g. Bobot isi padat

4. Perhitungan :

$$I = \frac{B2 - B1}{(100 + w)} (r \times 100)$$

Id = Keterangan :

(R= Berat Isi Tanah (Kn/M3)

B1 = Berat Cetakan Benda Uji (Kn)

B2 = Berat Cetakan + Benda Uji (Kn)

V = Volume Tanah (M3)

Rd = Berat Isi Kering (Kn/M3)

W = Kadar Air (%) Dihitung Sesuai Dengan Metode Pengujian Kadar Air Tanah (SNI-1965-1990 F)

3.9 Tahapan Pembuatan Benda Uji 3.9.1 Tahapan Penimbangan Material

1. Alat

- a. Timbangan
- b. Ember atau Wadah untuk bahan

2. Bahan

- a. Agregat Kasar
- b. Agregat Halus
- c. Semen
- d. Silica fume
- e. Air
- f. *Additive Concrete (SikaViscocrete)*

3. Tahapan

Menakar seluruh bahan yang digunakan dalam pembuatan beton sesuai dengan mix desain dan menimbang bahan-bahan tersebut agar sesuai dengan yang dibuat. Timbangan yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah timbangan digital. Penggunaan timbangan digital dapat meminimalisasi kesalahan dan mengefektifkan waktu. Angka yang ditunjukkan pada timbangan digital mendekati akurat dalam penakaran material.

3.9.2 Tahapan Pengadukan Beton Segar

1. Alat

- a. Alas Baja
- b. Sekop
- c. Pacul
- d. Ember

2. Bahan

- a. Agregat asar
- b. Agregat Halus
- c. Semen
- d. Silica Fume
- e. Air
- f. *Additive Concrete (Sika Viscocrete)*

3. Tahapan

Dalam pengadukan beton menggunakan alat mesin pengadukan campuran beton selama penelitian. Langkah-langkah dalam proses pengadukan menggunakan mesin pengaduk adalah sebagai berikut :

- a. Siapkan agregat-agregat yang akan diaduk.
- b. Masukkan agregat halus dan semen terlebih dahulu dan memutar mesin pengaduk.
- c. Masukkan agregat kasar dan putar kembali sampai campuran merata
- d. Masukkan air sedikit demi sedikit sampai 50% air yang akan dimasukkan dan putar mesin pengaduk dengan tenaga mesin.
- e. Setelah campuran tersebut sudah keliatan tidak kering lagi, masukan sisa air berikutnya sedikit demi sedikit dan aduk kembali hingga rata sampai campuran terlihat homogen.

3.9.3 Tahapan Tes Slump Beton dengan Kerucut Abrams

1. Alat

- a. Kerucut Abrams
- b. Batang penusuk berdiameter 16 mm, panjang 600 dan memiliki ujung

berbentuk bola.

- c. Penggaris atau alat ukur kerucut abram
- d. Plat baja untuk alat test slump

2. Bahan

- a. Adukan beton
- b. Tahapan
 - i. Menyediakan alat-alat slump test. Kemudian menuangkan beton segar kedalam cetakan kerucut sebanyak $1/3$ dari tinggi kerucut tersebut.
 - ii. Kemudian melakukan penusukan atau pemadatan terhadap beton sebanyak 25 kali tusukan. Lakukan kembali pemasukan beton segar kemudian ditusuk-tusuk lagi. Lakukan sampai cetakan kerucut penuh.
 - iii. Setelah penuh beton diratakan bagian atasnya, dan angkat tabung kerucut secara vertikal tanpa adanya gerakan horizontal. Dengan waktu tidak lebih dari $5 \pm$ detik.
 - iv. Kemudian letakan tabung kerucut disamping beton yang tumpah dan penusuk tepat diatasnya.
 - v. Ukur dengan meteran dari puncak coran ke tiang penusuk. Hasil pengukuran adalah nilai slump dari coran tersebut. Apabila nilai slump memenuhi syarat maka coran beton bisa di gunakan.
 - vi. Selesaikan seluruh pekerjaan dari awal sampai akhir dengan waktu tidak lebih dari 2,5 menit.

3.9.4 Tahapan Pemeriksaan Berat Isi Beton

1. Alat

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,3% dari agregat.
- b. Batang penusuk berdiameter 16 mm, panjang 600 mm dan memiliki ujung berbentuk bola.
- c. Alat perata.
- d. Palu karet.
- e. Wadah ukur berbentuk silinder

2. Bahan

- a. Adukan beton

3. Tahapan

- a. Timbang dan catatlah wadah ukur silinder
- b. Masukkan beton segar $\frac{1}{3}$ dari silinder, kemudian lakukan penusukan sebanyak 25 kali. Penusukan tidak boleh mengenai wadah silinder.
- c. Lakukan kegiatan tersebut sampai 3x kemudian ratakan permukaan wadah.
- d. Ketuk-ketuk wadah dengan palu karet agar gelembung-gelembung udara dapat keluar.
- e. Timbang dan catat beton segar beserta wadah ukur.

3.9.4 Tahapan Penuangan dan Pemadatan Beton Segar

1. Alat

- a. Cetakan silinder ukuran 15x30 cm
- b. Batang penusuk berdiameter 16 mm, panjang 600 mm dan memiliki ujung berbentuk bola.
- c. Alat perata
- d. Palu karet

2. Bahan

- a. Adukan beton

3. Tahapan

- a. Masukkan adukan beton kedalam silinder. Masukkan adukan beton sebanyak 2x, $\frac{1}{2}$ dari silinder.
- b. Setiap lapisan lakukan penusukan seperti uji slump test sebanyak 25 kali secara merata.
- c. Setelah tiap lapisan ditusuk, bagian luar silinder diketok menggunakan palu karet sebanyak 10 sampai 15 kali secara pelan-pelan untuk merapatkan lubang akibat tumbukan dan untuk mengeluarkan udara yang terperangkap.

- d. Setelah silinder terisi penuh, ratakan permukaannya dan bersihkan silinder.

3.10 Tahapan Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dapat dilakukan dengan perendaman dan juga dapat dengan menutupi beton dengan goni basah, namun harus di ingat kalau menggunakan goni basah bahwa goni harus tetap selalu dijaga agar tetap basah. Perawatan benda uji dilakukan untuk menghindari penguapan air pada benda uji. Adapun cara perendamannya adalah sebagai berikut :

1. Setelah 24 jam dari beton dibuat maka cetakan beton dibuka, lalu dilakukan perendaman terhadap sampel beton tersebut.
2. Perendaman dilakukan sampai umur beton 3 hari, 7 hari dan 28 hari didalam air biasa
3. Perendaman dilakukan didalam air biasa.

3.11 Tahapan Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 3 hari, 7 hari, dan 28 hari setelah perendaman di dalam air.

1. Alat
 - a. Timbangan
 - b. **UTM** (*Universal Testing Machine*) sebagai alat penguji kuat belah
2. Bahan
 - a. Beton yang telah di rendam
3. Tahapan
 - a. Silinder beton diangkat dari rendaman, kemudian keringkan selama 24 jam.
 - b. Menimbang dan mencatat berat sampel beton.
 - c. Meletakkan sampel beton diatas alat penguji, lalu menghidupkan mesin dan lakukan pembebanan secara perlahan.
 - d. Lakukan pembebanan sampai beton hancur.
 - e. Mencatat hasil beban maksimum.

3.12 Perancangan Beton Porous F'c 10 MPa – 17 MPa

Beton yang akan diuji memiliki kekuatan tekan (f_c') sebesar 10 MPa – 17 MPa. Perancangan beton f_c' 10 MPa – 17 MPa menggunakan metode *American Concrete Institute (ACI 522R-10)*.

Metode *mix design* (Perancangan Campuran) beton *porous* (Beton Berpori) yang paling umum digunakan mengacu pada standar **ACI 522R-10: Report on Pervious Concrete**.

Berbeda dengan beton konvensional yang mengandalkan "kepadatan maksimum" (mengisi semua rongga dengan pasta semen dan pasir), filosofi beton *porous* adalah menciptakan keseimbangan antara rongga udara (untuk drainase) dan pasta semen (untuk pengikat).

Berikut adalah panduan langkah demi langkah metode perhitungannya menurut prinsip **ACI 522R**.

1. Prinsip Dasar & Parameter Kunci dulu angka-angka properti material yang kita gunakan:

- a. **Target Rongga Udara (V_{air})** : 20% = **0.200 m³**
- b. **Agregat Kasar (Batu):**
 - Berat Isi Padat (Unit Weight) : **1,600 kg/m³**
 - Berat Jenis (SG_{sgg}) : **2.65**
- c. **Binder (Bahan Pengikat):**
 - Semen (90%): Berat Jenis (SG_c) = **3.15**
 - Silica Fume (10%): Berat Jenis (SG_{sf}) = **2.20**
- d. **Air (Water):**
 - Rasio w/b : **0.30**
 - Berat Jenis (SG_w) : **1.00**

2. Langkah A: Menghitung Volume Agregat Kasar

Pada beton porous, berat batu per meter kubik beton disamakan dengan berat isi padatnya (karena prinsip *stone-on-stone contact*).

- a. **Berat Batu** : 1,600 kg
- b. **Volume Absolut Batu (V_{agg}):** $V_{agg} = \frac{\text{Berat Batu}}{\text{Berat Isi Padat}}$

$$V_{aag} = \frac{SG_{agg} \times 1,00}{2,65 \times 1,000} = \frac{1,600}{2,650}$$

$$V_{aag} = 0,6038 \text{ m}^3$$

3. Menentukan Jatah Volume Pasta

Dalam 1 m^3 beton, ruangnya dibagi menjadi 3: Batu, Udara (Rongga), dan Pasta.

$$V_{aag} = V_{aag} + V_{air} + V_{Pasta}$$

$$1000 = 0,6038 + 0,2000 + V_{Pasta}$$

Maka, volume untuk pasta adalah:

$$V_{pasta} = 1,000 - 0,8038$$

$$V_{pasta} = 0,1962 \text{ m}^3$$

4. Menghitung Berat Binder

Pasta terdiri dari: Semen, Silica Fume, dan Air. Kita cari Total Berat Binder (B).

- Komposisi Berat:**

- Semen (C) = $0,90 \times B$
- Silica Fume (SF) = $0,10 \times B$
- Air (W) = $0,30 \times B$ (karena w/b ratio 0.30)

Persamaan Volume:

$$V_{total} = V_{semen} + V_{silica} + V_{air \text{ mix}}$$

$$0,1962 = \frac{0,9 B}{(SG_c \times 1000)} + \left(\frac{0,10 B}{SG_{sf} \times 1000} \right) + \left(\frac{0,30 B}{SG_w \times 1000} \right)$$

Masukkan Angka Berat Jenis:

$$0,1962 = \left(\frac{0,9 B}{3150} \right) + \left(\frac{0,10 B}{2200} \right) + \left(\frac{0,30 B}{1000} \right)$$

$$0,1962 = (0,0002857 B) + (0,0000455 B) + (0,0003000 B)$$

Jumlahkan Koefisien:

$$0,1962 = 0,0006321 B$$

$$B = \frac{0,1962}{0,0006312}$$

$$B = 310,83 \text{ kg}$$

5. Distribusi Berat Material

Sekarang kita pecah B (310.83 kg) ke masing-masing komponen:

a. Berat Semen (90%):

$$0.90 \times 310.83 = 279.75 \approx 280 \text{ kg}$$

b. Berat Silica Fume (10%):

$$0.10 \times 310.83 = 31.08 \approx 31 \text{ kg}$$

c. Berat Air (30%):

$$0.30 \times 310.83 = 93.25 \approx 93.3 \text{ Liter}$$

Tabel 3.3 Volume Check

Material	Berat (kg)	Hitungan Volume <i>Berat</i> () $SG \times 1000$	Hasil Vol m ³
Semen	280	$280 / 3,150$	0.0889
Silica Fume	31	$31 / 2,200$	0.0141
Air	93.3	$93.3 / 1,000$	0.0933
Batu Karang	1,600	$1,600 / 2,650$	0.6038
Rongga Udara	-	<i>Target Desain</i>	0.2000
TOTAL	2,004		$1.0001 \approx 1.00$

Selisih 0.0001 m³ hanya karena pembulatan desimal, dapat diabaikan. Dari hitungan manual di atas, didapatkan komposisi per 1 m³

1. **Semen** : 280 kg
2. **Silica Fume** : 31 kg

3. **Air** : 93.3 Liter
4. **Batu Karang** : 1,600 kg
5. **Superplasticizer** : (Dihitung terpisah dari % berat binder, tidak mempengaruhi volume secara signifikan karena cairannya dianggap menggantikan sebagian kecil air).

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Pengujian Bahan dan Campuran Beton

Pengujian material dan campuran beton porous dilakukan untuk mengetahui keseimbangan antara kemampuan peresapan air dan kekuatan beton dalam menahan beban. Karakteristik beton porous berbeda dengan beton konvensional karena penggunaan agregat kasar dengan gradasi yang relatif seragam menjadi faktor penting dalam pembentukan rongga atau pori di dalam struktur beton. Keberadaan pori tersebut memungkinkan air meresap ke dalam tanah dengan lebih baik, dengan persentase pori yang umumnya berkisar antara 15% hingga 25%. Pengujian pada kondisi beton segar tidak menggunakan slump test seperti pada beton normal, melainkan melalui pengukuran berat isi dan pengamatan visual untuk memastikan pasta semen mampu melapisi agregat secara merata tanpa menutup rongga yang dibutuhkan untuk infiltrasi air. Pengujian permeabilitas menjadi parameter utama setelah beton mengeras, yang umumnya dilakukan menggunakan metode falling head atau constant head untuk mengukur kemampuan beton dalam meloloskan air. Pengujian kuat tekan juga tetap dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menerima beban, meskipun nilai kuat tekannya relatif lebih rendah dibandingkan beton normal, yaitu berkisar antara 2,8 MPa hingga 28 MPa. Karakteristik tersebut menjadikan beton porous sesuai digunakan pada konstruksi yang menerima beban ringan hingga sedang, seperti trotoar, area parkir, dan fasilitas ramah lingkungan yang memerlukan sistem drainase yang baik.

4.2 Semen

Pengujian dilaksanakan sesuai dengan Metode Uji SNI 15-3758-2004. Untuk mengetahui kemurnian dari suatu semen portland, maka harus dilakukan pengujian berat jenis pada semen tersebut. Berat jenis semen rata-rata pada pengujian ini, didapat nilai BJ semen yaitu 3,15 dan memenuhi syarat 3,00 - 3,20. Maka semen dianggap murni dan dapat digunakan dalam pembuatan beton.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen

Jenis Pengujian	Satuan	Standar (Min/Max)	Hasil Uji (Contoh)
Kehalusan (Blaine)	m ² /kg	Min. 280	365
Waktu Pengikatan Awal	Menit	Min. 45	120
Waktu Pengikatan Akhir	Menit	Max. 375	240
Kekekalan (Le Chatelier)	mm	Max. 10	1
Berat Jenis	gr/cm ³	3.0 - 3.2	3.15
Kandungan Udara	%	Max. 12	8

Catatan:

1. Berat jenis semen portland yang memenuhi standar **SNI 15-2049-2004** adalah 3.00 – 3.20.
2. Penyimpanan bahan uji terhitung lama dan telah dibuka dari kemasan.

4.3 Pengujian Agregat Kasar

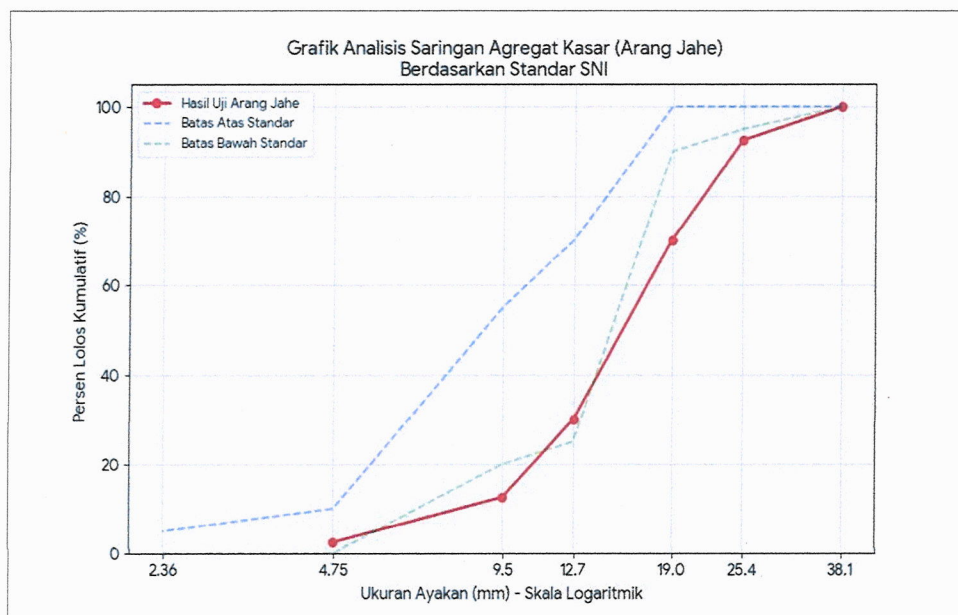
Dalam penelitian ini, pengujian yang dilakukan pada agregat kasar meliputi analisis saringan, berat jenis, daya serap, serta berat isi. Mutu agregat kasar tersebut akan memengaruhi karakteristik kuat tekan beton yang dihasilkan.

4.3.1 Analisa Saringan Angregat Kasar

Pengujian analisa saringan agregat kasar dilakukan sesuai dengan standar **SNI 03-1968-1990** “Metode Pengujian Tentang Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar”. Dari hasil analisa, didapat agregat kasar yang dipakai masuk ke dalam zona 2 menurut tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Saringan Agregat Kasar

No. Ayakan (Sieve)	Diameter Lubang (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Kumulatif Tertahan (gram)	% Tertahan Kumulatif	% Lolos Kumulatif
1 1/2"	38.1	0	0	0	100
1"	25.4	150	150	7.5	92.5
3/4"	19	450	600	30	70
1/2"	12.7	800	1400	70	30
3/8"	9.5	350	1750	87.5	12.5
No. 4	4.75	200	1950	97.5	2.5
Pan	-	50	2000	100	0
TOTAL		2000			



Gambar 4. 1 Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium yang telah dilakukan, diketahui bahwa material semen yang digunakan memiliki karakteristik fisik yang memenuhi bahkan melampaui ketentuan dalam SNI 2049:2015. Nilai kehalusan sebesar 365 m^2/kg dan berat jenis 3,15 gr/cm^3 menunjukkan bahwa partikel semen memiliki tingkat reaktivitas yang baik. Hasil pengujian kekekalan (soundness) memperlihatkan nilai ekspansi sebesar 1,0 mm, sehingga potensi terjadinya retak akibat perubahan volume dapat dikatakan sangat kecil. Kondisi tersebut didukung oleh waktu ikat yang tergolong ideal, yaitu mulai mengikat pada menit ke-120 dan mencapai ikat akhir pada menit ke-240, sehingga memberikan waktu pengerjaan yang cukup bagi pelaksana konstruksi di lapangan.

4.3.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini dilaksanakan berdasarkan ketentuan SNI 03-1969-1990 tentang Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Pengujian berat jenis dan daya serap air agregat kasar bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat agregat kasar dalam kondisi jenuh kering permukaan (Saturated Surface Dry/SSD) dengan berat air suling yang memiliki volume setara dengan volume agregat kasar pada keadaan jenuh dan suhu tertentu.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

No	Parameter Pengujian	Simbol	Satuan	Hasil Uji (Contoh)
1	Berat benda uji kering oven	Bk	gram	1950.5
2	Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	Bj	gram	2000
3	Berat benda uji dalam air	Ba	gram	1250
4	Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Sd	-	2.6
5	Berat Jenis SSD (Bulk SSD Specific Gravity)	Ss	-	2.67
6	Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	Sa	-	2.78
7	Penyerapan Air (Absorption)	Sw	%	2.54

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium terhadap karakteristik fisik agregat kasar arang jahe, diperoleh data berupa berat jenis dan daya serap air material. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity) sebesar 2,60, sedangkan Berat Jenis SSD (Saturated Surface Dry) tercatat sebesar 2,67. Nilai tersebut menunjukkan bahwa material termasuk dalam kategori agregat dengan kepadatan normal, namun masih memiliki struktur yang cukup baik untuk digunakan sebagai bahan penyusun beton atau media filtrasi. Selain itu, nilai Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity) sebesar 2,78 menggambarkan kepadatan material jika pori-pori yang dapat menyerap air tidak diperhitungkan, sehingga menunjukkan tingkat kerapatan partikel yang lebih tinggi.

4.3.3 Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan dengan **SNI 03-3637-1994** tentang Metode Pengujian Berat Isi Agregat. Tujuannya adalah untuk mengetahui bobot isi lepas dan padat pada agregat kasar. Berat isi dari agregat untuk beton normal berkisar antara 1.20 - 1,75 gr/cm³.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

	Deskripsi Pengujian	Simbol	Satuan	Hasil Uji (Contoh)
	Berat Wadah (Silinder)	W_1	kg	5.2
	Berat Wadah + Agregat Padat	W_2	kg	22.45
	Berat Agregat Padat ()	W_a	kg	17.25
	Volume Wadah	V	m^3	0.01
	Berat Isi Padat	γ	Kg/m^3	1725

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, diperoleh nilai Berat Isi Padat untuk agregat kasar arang jahe sebesar 1725.0 kg/m^3 . Proses pemadatan dilakukan dengan metode penusukan standar untuk meminimalkan rongga udara antar partikel (voids). Nilai ini menunjukkan tingkat kerapatan massa agregat dalam kondisi padat maksimal.

4.4 Rencana Campuran Beton

Rencana campuran beton yang akan di buat pada penelitian ini menggunakan perbandingan jumlah semen, betu pecah, dan pasir sungai atau pasir laut. Agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat kasar yang lolos saringan $\frac{3}{4}$ " (19.00 mm,) agregat halus agregat halus yang lolos saringan no. 4 (4,75 mm), namun tertahan pada saringan no. 4 (4,75 mm). dan menggunakan semen tiga roda tipe 1.

Tabel 4. 5 Rencana Jumlah Sample Beton

No.	Kode Benda Uji	Ukuran Batu Pecah		Additive	Admixtu re	Uji Kuat Tekan			Jumlah Total Sampel
		1,5 cm	2,5 cm	Consol N11 LN	Silicafu me	3 Hari	7 Hari	28 Hari	
1	B1 Batu karang	25%	75%	1,8%	5%	3	3	3	9
2	B2 Batu karang	50%	50%	1,8%	5%	3	3	3	9
3	B3 Batu Karang	75%	25%	1,8%	5%	3	3	3	9
						9	9	9	27

4.5 Perhitungan Rencana Campuran Beton

Berdasarkan hasil pengujian bahan yang dilakukan terhadap material campuran beton di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Bahan

Kategori	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Uji (Tipikal)	Standar / Kriteria	Status
Semen	Kuat Tekan (28 Hari)	kg/cm ²	390	Min. 280 (SNI)	Lulus
	Waktu Ikut Awal	Menit	120	Min. 45	Lulus
Agregat	Berat Jenis (SSD)	-	2.10 - 2.30	Agregat Ringan	Sesuai
Kasar	Penyerapan Air	%	5.0 - 8.0	Tinggi (Porus)	Perlu Penyesuaian
(Karang)	Berat Isi Padat	kg/m ³	1200 - 1450	< 1800 (Ringan)	Sesuai
Jahe	Ukuran Maksimum	mm	25.4	-	-
	Modulus Kehalusan	-	6.8 - 7.5	Agregat Kasar	Sesuai

Untuk mengetahui seberapa banyak kebutuhan bahan material beton yang akan digunakan dalam penelitian ini, sebaiknya dilakukan terlebih dahulu analisa volume kebutuhan semen, pasir, batu pecah dan air. Analisa tersebut dapat dimulai dengan menghitung volume benda uji silinder beton, yaitu : $1/4\pi d^2 \times t = 1/4 \pi \times 15^2 \text{ cm} \times 30\text{cm} = 5298 \text{ cm}^3$, kemudian dirubah ke dalam satuan meter kubik = $0,005298 \text{ m}^3$. Jadi volume satu buah Silinder ialah sebesar $0,005298 \text{ m}^3$ beton.

Berdasarkan uraian perhitungan analisa untuk 1 buah benda uji silinder diatas, maka kebutuhan bahan untuk melaksanakan pembuatan benda uji beton normal dengan perbandingan m³ dengan campuran yang berbeda yaitu antara agregat kasar dan pasir cimilaka adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 7 Job mix Formula (m³) (Silinder kg)

Pehitungan Rencana Semen					
No	Item Pekerjaan	Standar Deviasi	Faktor Keamanan	Rencana	Satuan
		(Sd)	(Fk)	(Fc)	
1	Mutu beton (fc)			17	Mpa
2	Mutu beton Rencana (Fcr)	4	1.64	23.56	Mpa
3	Nilai Slump			100 - 150	mm
4	Ukuran Agregat Maksimal			150-250	mm
5	Air Rencana			215	Liter
6	Faktor Air Semen			0.30	
7	Binder			716.67	Kg
8	Silicafume		5.00%	35.83	Liter
9	Konsol PH100		2.00%	14.33	Liter

Perhitungan Rencana Agregat Berdasarkan Metode ACI					
No	Item Pekerjaan	Kode Benda Uji			Satuan
		B1 B Pecah	B2 B Pecah	B3 B Pecah	
		75 % (250 mm)	50 % (250 mm)	25 % (250 mm)	
		25 % (150 mm)	50 % (150 mm)	75 % (150 mm)	
1	Modulus Halus Butir	0.69	0.69	0.69	
2	Berat Beton Segar	2004	2004	2004	kg/m ³
3	Berat Isi Kering Agregat Kasar	1420	1420	1420	kg/m ³
4	Agregat Kasar	979.8	979.8	979.8	Kg
	Agregat Kasar 250mm	734.85	489.9	244.95	Kg
	Agregat Kasar 150 mm	244.95	489.9	734.85	Kg

Perhitungan Bahan Pengikat			
No	Nama	Kebutuhan	Satuan
1	Semen	657.54	Kg
2	Silicafume	35.83	Kg
3	Air	202.46	Liter
4	Konsol PH100	14.33	Liter

Job Mix Trial Berdasarkan Metode ACI					
No	Material	Kebutuhan Benda uji (15 cm x 30 cm)			Satuan
		75 % (250 mm)	50 % (250 mm)	25 % (250 mm)	
		25 % (150 mm)	50 % (150 mm)	75 % (150 mm)	
1	Semen	3.49	3.49	3.49	Kg
2	Silicafume	0.19	0.19	0.19	Kg
3	Konsol PH100	0.08	0.08	0.08	Liter
4	Air	1.07	1.07	1.07	Liter
5	Agregat Kasar	5.19	5.19	5.19	Kg
	Agregat Kasar 250mm	3.90	2.60	1.30	
	Agregat Kasar 150 mm	1.30	2.60	3.90	
Total Berat Benda Uji		10.02	10.02	10.02	Kg

4.6 Pelaksanaan Campuran Beton

Pelaksanaan pencampuran beton pada penelitian ini dilakukan secara manual menggunakan peralatan sederhana. Proses ini dikerjakan oleh peneliti bersama rekan-rekan mahasiswa teknik sipil dengan tujuan memperoleh hasil

campuran yang lebih optimal dan merata. Waktu pencampuran berkisar antara 5 hingga 15 menit, atau sampai seluruh material beton tercampur secara homogen. Tahapan pekerjaan dimulai dari penimbangan material penyusun beton, dilanjutkan dengan proses pencampuran dan penaburan bahan, kemudian dilakukan pengujian slump, pengecoran beton, hingga tahap pemadatan..



Gambar 4. 2 Pelaksanaan Pembuatan Beton Porous

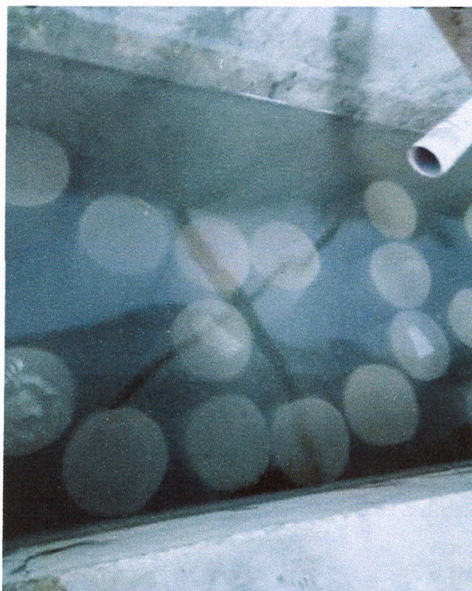
4.7 Perawatan Beton

Setelah benda uji beton dilepaskan dari cetakan, selanjutnya melakukan proses perawatan beton dengan cara merendam beton didalam air selama waktu tertentu. Dalam penelitian ini benda uji akan di tes pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari (Kontrol).

Perawatan (curing) beton bertujuan untuk mempertahankan kelembapan

agar proses hidrasi semen dapat berlangsung secara optimal. Pengendalian kelembapan ini juga berfungsi untuk mencegah penguapan air yang terlalu cepat karena dapat memicu terjadinya retak pada beton. Hidrasi semen terjadi ketika semen mulai bercampur dengan air hingga membentuk pasta yang bersifat plastis dan mudah dikerjakan.

Tahapan pengerasan semen dimulai setelah terbentuknya pasta semen, yaitu dari waktu ikat awal (initial setting time) hingga mencapai waktu ikat akhir (final setting time) ketika semen telah mengeras sepenuhnya dan tidak lagi mengalami perubahan bentuk. Proses hidrasi berlangsung secara berkelanjutan seiring bertambahnya waktu sehingga kekuatan semen semakin meningkat dan struktur beton menjadi lebih kuat.



Gambar 4. 3 Proses Curing Beton

4.8 Pengujian Berat Sample Kering

Pengukuran berat benda uji beton dalam kondisi kering dilakukan setelah seluruh proses perawatan (*curing*) atau perendaman selesai sesuai dengan umur pengujian yang telah ditentukan. Sebelum benda uji digunakan dalam pengujian kuat tekan, masing-masing sampel terlebih dahulu ditimbang untuk memperoleh data berat beton yang akan digunakan dalam analisis hasil pengujian. Berikut merupakan hasil pengujian berat benda uji beton kering pada umur 3 hari, 7 hari,

dan 28 hari.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Berat Beton Kering Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Umur 3 Hari

No.	Benda Uji	Berat Benda Uji (Kg)	M/V
			Berat jenis beton
1	B1 karang	7.00	1321
2	B2 karang	7.15	1349
3	B3 karang	7.20	1358

Dari data hasil pengujian berat sampel beton kering pada pengujian Kuat Tekan Beton didapat berat sampel beton kering pada masing - masing campuran yaitu 7.00 kg, 7.15 kg, dan 7.20 kg.

4.9 Perhitungan Kuat Kuat Tekan

Untuk menghitung kuat tekan beton dari hasil pembebanan benda uji, bisa digunakan rumus Kuat Tekan adalah Beban maksimum dibagi Luas penampang benda uji (Kuat Tekan = P/A). Langkah pertama adalah menghitung luas penampang benda uji dengan menggunakan rumus :

$$\text{Luas Penampang Silinder} = 1/4 \pi d^2$$

Maka luas penampang untuk beton Silinder dengan Panjang sisi 30cm adalah : Luas penampang = $1/4\pi d^2 = 1/4\pi \times 15^2 \text{ cm} = 176.71 \text{ cm}^2$

Nilai f'_c adalah besar kuat tekan benda Uji Silinder dimana beban tekan dibagi dengan luas bidang tekan. Sedangkan nilai f'_c adalah besar kuat tekan benda uji silinder yang didapat dari konversi benda Uji Silinder. Adapun cara konversi tersebut, yaitu :

$$F'_c = P/A$$

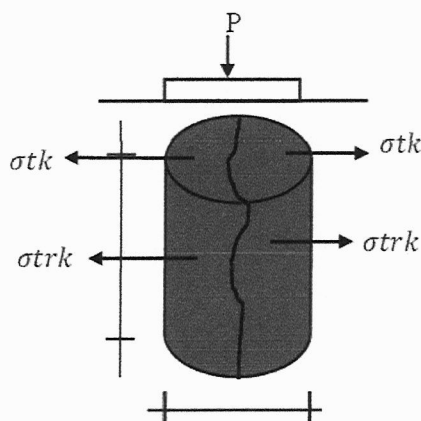
$$P = \text{Beban Maksimum}$$

$$A = \text{Luas Penampang Silinder}$$

$$F'_c = \text{N/cm}^2$$

Pengujian kuat tekan beton dalam penelitian ini menggunakan alat yang bernama *Compression Machine* 2000 kN yang ada di Laboratorium Bahan dan

Konstruksi Universitas Sangga Buana Bandung dengan kapasitas pengujian hingga 100 kN/ 1 kN. Berikut adalah contoh gambar penunjukan jarum dial *Compression Machine* pada masing-masing campuran ;



Gambar 4. 4 Ilustrasi Penyebaran Beban

Tabel 4. 9 Angka Konversi Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Beton Dan Angka Konversi Benda Uji

Konversi Benda Uji	Kekuatan Beton Pada Berbagai Umur				
Jenis Beton Uji	3	7	14	21	28
Silinder 30 x 15 cm	0,46	0,70	0,88	0,96	1,00

Perhitungan Kuat Tekan Silinder Beton :

$$1 \text{ KN} = 1000 \text{ N}$$

$$\text{Luas penampang Silinder} = 1/4\pi d^2$$

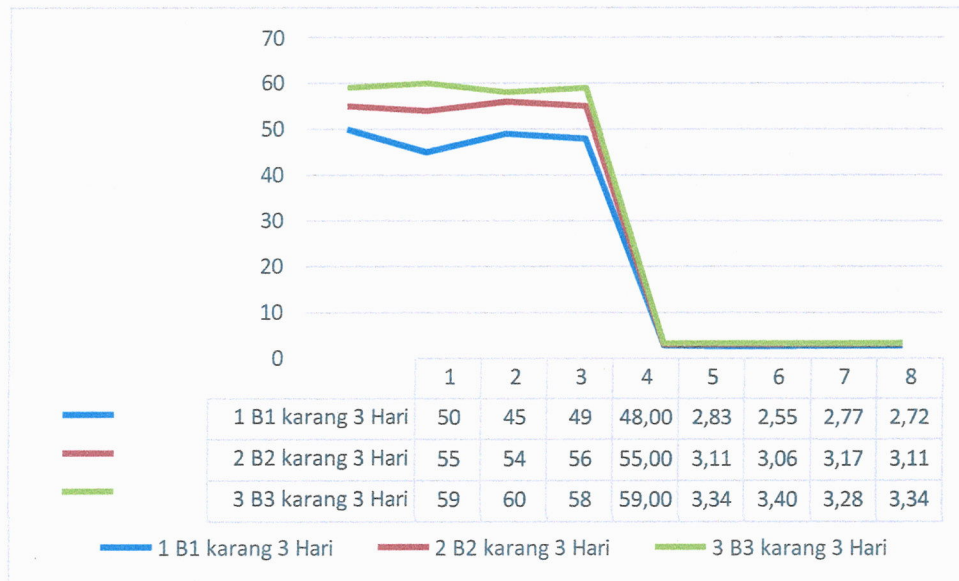
$$= 1/4\pi \times 150^2 \text{ mm}$$

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 3 Hari

No	Identifikasi benda uji	Umur (Hari)	Luas Bidang (m ²)	Beban (kN)			Rata-rata kN	f 'c (Mpa)			Rata-rata Mpa
				I	II	III		I	II	III	
1	B1 karang	3 Hari	0.001767	50	45	49	48.00	2.8 3	2.55	2.77	2.72
2	B2 karang	3 Hari	0.001767	55	54	56	55.00	3.1 1	3.06	3.17	3.11
3	B3 karang	3 Hari	0.001767	59	60	58	59.00	3.3 4	3.40	3.28	3.34

Catatan : 1 Mpa = 1000 kN/m²

Gambar 4. 5 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 3 hari Terhadap Variasi %

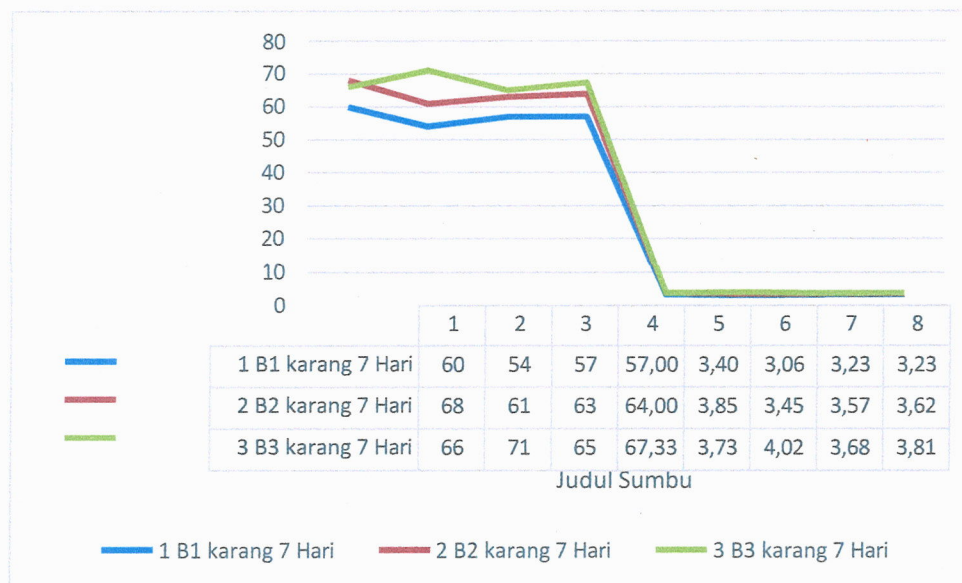


Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 7 Hari

No	Identifikasi benda uji	Umur (Hari)	Luas Bidang (m ²)	Beban (kN)			Rata-rata kN	f 'c (Mpa)			Rata-rata Mpa
				I	II	III		I	II	III	
1	B1 karang	7 Hari	0.001767	60	54	57	57,00	2.83	2.55	2.77	2.72
2	B2 karang	7 Hari	0.001767	68	61	63	64,00	3.11	3.06	3.17	3.11
3	B3 karang	7 Hari	0.001767	66	71	65	67,33	3.34	3.40	3.28	3.34

Catatan : 1 Mpa = 1000 kN/m²

Gambar 4. 6 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 7 hari Terhadap Variasi %

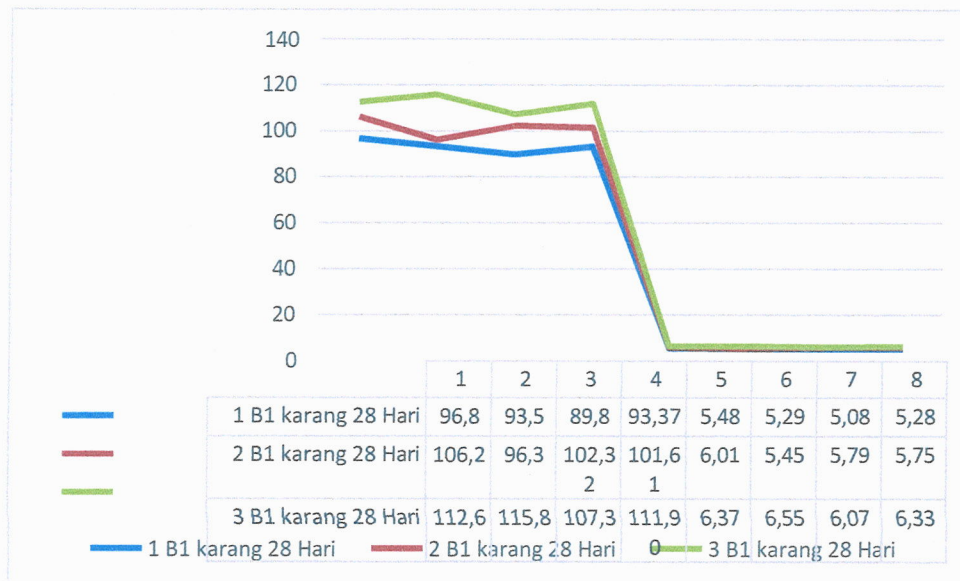


Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 28 Hari

No	Identifikasi benda uji	Umur (Hari)	Luas Bidang (m ²)	Beban (kN)			Rata-rata	f 'c (Mpa)			Rata-rata
				I	II	III		I	II	III	
1	B1 karang	28 Hari	0.001767	96,8	93,5	89,8	93,37	2.83	2.55	2.77	2.72
2	B2 karang	28 Hari	0.001767	106,2	96,3	102,3	101,61	3.11	3.06	3.17	3.11
3	B3 karang	28 Hari	0.001767	112,6	115,8	107,3	111,90	3.34	3.40	3.28	3.34

Catatan : 1 Mpa = 1000 kN/m²

Gambar 4. 7 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 28 hari Terhadap Variasi %



Aggregat Kasar

1. Pengaruh Agregat Kasar: Penambahan volume agregat kasar (karang jahe) memberikan kontribusi positif terhadap kekuatan tarik beton di usia awal (3 hari). Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara pasta semen dan permukaan karang jahe menciptakan ikatan (*bonding*) yang cukup baik untuk menahan tegangan tarik.
2. Laju Peningkatan: Peningkatan kekuatan dari B1 ke B3 menunjukkan tren yang stabil. Meskipun Karang Jahe bersifat porus, distribusinya sebagai kerangka beton (agregat kasar) mampu meningkatkan integritas struktural beton ringan tersebut.
3. Aplikasi: Nilai kuat tarik di kisaran 2.72 hingga 3.34 MPa pada umur 3 hari tergolong cukup baik untuk beton dengan agregat ringan, mengingat beton biasanya mencapai kekuatan puncaknya pada umur 28 hari.

4. Pengaruh Agregat Kasar: Penambahan volume agregat kasar (karang jahe) memberikan kontribusi positif terhadap kekuatan tarik beton di usia awal (3 hari). Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara pasta semen dan permukaan karang jahe menciptakan ikatan (*bonding*) yang cukup baik untuk menahan tegangan tarik.
5. Laju Peningkatan: Peningkatan kekuatan dari B1 ke B3 menunjukkan tren yang stabil. Meskipun Karang Jahe bersifat porus, distribusinya sebagai kerangka beton (agregat kasar) mampu meningkatkan integritas struktural beton ringan tersebut.
6. Aplikasi: Nilai kuat tarik di kisaran 2.72 hingga 3.34 MPa pada umur 3 hari tergolong cukup baik untuk beton dengan agregat ringan, mengingat beton biasanya mencapai kekuatan puncaknya pada umur 28 hari.

4.10 Pengujian Permeabilitas Beton Porous

Penggunaan agregat kasar yang berukuran lebih kecil umumnya menghasilkan susunan butiran yang lebih rapat sehingga struktur beton menjadi lebih padat. Kepadatan tersebut membuat ikatan antara agregat dan pasta semen menjadi lebih baik, sehingga nilai kuat tekan beton cenderung meningkat. Di sisi lain, struktur yang semakin padat menyebabkan jumlah rongga di dalam beton berkurang, sehingga kemampuan beton porous untuk mengalirkan air menjadi lebih rendah. Sebaliknya, apabila digunakan agregat kasar dengan ukuran yang lebih besar, rongga yang terbentuk di dalam beton akan semakin banyak dan berukuran lebih besar. Kondisi ini meningkatkan kemampuan beton dalam meloloskan air atau nilai permeabilitasnya. Akan tetapi, semakin besarnya rongga yang terbentuk menyebabkan bidang kontak antaragregat berkurang sehingga ikatan di dalam beton menjadi tidak sekuat beton yang menggunakan agregat berukuran lebih kecil. Akibatnya, kuat tekan beton porous cenderung mengalami penurunan.

Sesuai rumus pengujian permeabilitas metode Costant head yang tertera pada Liratur bab II,serta standar koefisien permeabilitas menurut ACI 522R-10 berkisar

antara 0,2 cm/detik. Berikut merupakan saran untuk visualisasi dan pengujian permeabilitas yang sejalan dan koheren dengan data kekuatan tekan.

Langkah langkah untuk menguji permeabilitas menggunakan metode falling head di laboratorium adalah sebagai berikut:

Ambil sampel silinder beton berpori yang sudah melalui masa perawatan (curing) dan keringkan permukaannya. Tutup sisi samping silinder beton dengan solasi/karet secara rapi untuk memastikan aliran air hanya bergerak secara vertikal dari atas ke bawah. Selanjutnya masukan sampel beton ke dalam tabung alat uji, pastikan sambungan antara tabung dan beton tidak bocor. Kemudian masukan air kedalam tabung sampai melewati tingkat ketinggian awal (h_1) untuk menjenuhkan sampel lebih dulu.

Catat waktu dengan mengikuti langkah – berikut :

Memberikan air mengalir ke bawah. Mulailah stopwatch saat air menyentuh garis awal (h_1) dan berhentikan stopwatch ketika air mencapai garis akhir (h_2).

Laksanakan pengujian ini sebanyak 3 kali untuk setiap sampel agar memperoleh nilai rata-rata yang tepat.

Tabel 4.13 Ringkasan Koefisien Permeabilitas Rata-rata

No	Identifikasi benda uji	Komposisi Ukuran Agregat kasar (1,5cm ; 2,5 cm)	Trial (Cm/detik)			Rata-rata Koefisien permeabilitas (k) Cm/detik	standar batas ACI 522R-10
			I	II	III		
1	B1 B Karang	25% : 75%	0,50	0,44	0,47	0,48	Memenuhi Syarat
2	B2 B Karang	50% : 50%	0,36	0,34	0,33	0,35	Memenuhi Syarat
3	B3 B Karang	75% : 25%	0,23	0,21	0,2	0,22	Memenuhi Syarat

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik Material: Hasil pengujian menunjukkan bahwa semen Portland yang digunakan memenuhi standar SNI 2049:2015 dengan berat jenis 3,15 gr/cm³. Agregat kasar batu karang (arang jahe) memiliki berat jenis SSD sebesar 2,67 dan berat isi padat sebesar 1725 kg/m³, yang menunjukkan material tersebut solid dan layak digunakan sebagai rangka struktur beton porous.
2. Kuat Tekan Awal (Fast Track): Penambahan Silica Fume sebesar 5% dan penggunaan Superplasticizer terbukti mampu memberikan kekuatan awal pada beton porous pada umur 3 hari. Nilai kuat tekan rata-rata pada umur 3 hari berkisar antara 2,72 MPa hingga 3,34 MPa.
3. Pengaruh Variasi Agregat: Terdapat tren peningkatan kuat tekan seiring dengan perubahan proporsi ukuran agregat kasar. Campuran B3 (dengan proporsi agregat 1,5 cm sebesar 75% dan 2,5 cm sebesar 25%) menghasilkan kuat tekan tertinggi pada umur 3 hari yaitu sebesar 3,34 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi ukuran agregat yang lebih kecil memberikan interlocking yang lebih baik pada zona transisi (ITZ).
4. Workability: Meskipun beton porous bersifat zero-slump (nilai slump 0-20 mm), penggunaan superplasticizer Consol N11 LN sangat krusial untuk menjaga pasta semen tetap kohesif dan memastikan agregat terselimuti dengan baik tanpa menyebabkan penyumbatan pori (clogging).
5. Fungsi Drainase: Penggunaan Silica Fume sebagai filler meningkatkan kepadatan pasta semen melalui reaksi pozzolanik tanpa menghilangkan fungsi utama permeabilitas beton, sehingga target beton ramah lingkungan dengan kemampuan drainase tetap terpenuhi

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Variasi Persentase Silica Fume: Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi persentase Silica Fume yang lebih beragam (misalnya 7,5% atau 10%) untuk menemukan titik optimum antara peningkatan kuat tekan dan penurunan permeabilitas.
2. Pengujian Durabilitas: Disarankan untuk menambah parameter pengujian berupa uji ketahanan aus (abrasi) dan uji kuat lentur mengingat aplikasi beton ini ditujukan untuk area perkerasan jalan lingkungan.
3. Metode Pemadatan: Diperlukan standarisasi energi pemadatan yang lebih presisi di laboratorium agar volume rongga udara (target 20%) dapat tercapai secara konsisten pada setiap sampel benda uji.
4. Pengamatan ITZ: Penggunaan mikroskop elektron (SEM) disarankan pada penelitian mendatang untuk melihat lebih detail perbaikan struktur mikroskopis pada Interfacial Transition Zone (ITZ) akibat penambahan Silica Fume.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1981). *AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures 1972 (Chapter III, revised 1981)*. Washington DC, USA: AASHTO.
- Alfredo, Marchin. (2012). *Kuat Tekan Beton Normal Mutu Sedang Dengan Campuran Abu Sekam Padi (RHA) dan Limbah Adukan Beton (CSW)*. Depok: Fakultas Teknik Sipil Universitas Indonesia.
- American Concrete Institute. (2002). *ACI 211.1-91 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2002)*. USA: PCA. Reported by ACI Committee 211.
- ASTM International. (2007). *ASTM D 422: Standard Method of Laboratory for Particle Size Analysis of Soils*. West Conshohocken, Pennsylvania, USA: American Society for Testing and Materials.
- Aulia Ziaulhaq. (2012). *Teknologi Bahan I*. Jakarta: Program SP-4 Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1990). *Metode Pengujian Kadar Agregat: SNI 03-1971:1990*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1990). *Metode Pengujian Slump Beton: SNI 03-1972:1990*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1996). *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No.200: SNI 03-4142-1996*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal: SNI 03-2834:2000*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2002). *Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti: SNI 03-2492:2002*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- Departemen Pekerjaan Umum. (2004). *Semen Portland: SNI 15-2049:2004*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2008). *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton: SNI 1973:2008*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2008). *Tata Cara Pembuatan Kaping untuk Benda Uji Silinder Beton: SNI 6369:2008*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder: SNI 1974:2011*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2011). *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium: SNI 2493-2011*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2013). *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Spesimen Uji Beton di Lapangan: SNI 4810-2013*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Fadlan, Romie. (2011). *Modul Beton I: Mix Design Beton Normal*. Samarinda: Teknik Sipil Universitas Mulawarman.
- Kusuma, Dwi. (2012). *Peranan Air Dalam Pembuatan Beton*. Jakarta. Mulyono, Tri. (2005). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- Oktaria, Tika. (2013). *Durabilitas Beton dengan Subtisi Sebagian Semen dengan Abu Sekam Padi*. Bandung: Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Perpustakaan Prosida. (1971). *Penjelasan & Pembahasan mengenai Peraturan Beton Indonesia*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Ryanto, Muhammad. (2014). *Teknologi Bahan Beton: Perencanaan Campuran Beton*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP.

- Tjokrodimuljo, Kardiyono. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Andriansyah & Walujodjati. (2023). Pengaruh Superplasticizer terhadap Kuat Tekan Beton Porous.
- Febrianto & Wardhono. (2016). Pengaruh Silica Fume pada Porous Concrete Block.
- Ghilman & Walujodjati. (2023). Kuat Lentur & Permeabilitas dengan Agregat Cilopang. Santoso et al. (2024). Analisis Agregat Bergradasi 20 mm pada Beton Porous.
- Sihombing. (2017). Pengaruh Sika Fume terhadap Kuat Tekan Beton Porous.
- Simanjuntak & Tampubolon. (2022). Pengaruh Variasi Agregat Kasar pada Beton Porous.



PUSTAKALAYA

UNIVERSITAS SANGGA BUANA

YAYASAN PENDIDIKAN KEUANGAN DAN PERBANKAN

Jl. PHH. Mustofa No.68, Kel. Cikutra, Kec. Cibeunying Kidul, Kota Bandung

Website: pustakalaya.usbypkp.ac.id Email: library@usbypkp.ac.id

Surat Keterangan Cek Plagiarisme

Nomor: 206/VI/SKCP/USB-YPKP/2027

Sehubungan dengan kewajiban Cek Plagiarisme dengan *similarity check maximal 25%* sebagai salah satu kelengkapan persyaratan administrasi bagi mahasiswa tingkat akhir, dengan ini UPT Perpustakaan Universitas Sangga Buana menerangkan bahwa:

Nama : Gunawan
NPM : 2112241128
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Judul Karya Tulis Ilmiah : "PENGARUH PRESENTASE AGREGAT KASAR BATUKARANG TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS BETON FAST TRACK POROUS DENGAN PENAMBAHAN FILLER SILICA FUME"
Tanggal Cek Turnitin : 30 Juni 2026
Status : Lulus dengan **25% Similarity Check**

Adalah benar telah dilakukan *similarity check* sebagaimana data tersebut diatas, dan surat ini dibuat berdasarkan keadaan yang sebenar benarnya, untuk bisa dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandung, 04 Juli 2026

Kepala Pustakalaya

Widyapuri Prasastiningtyas, S.Sos., M.I.kom.

NIP. 432.200.173