

TUGAS AKHIR

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

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

Disusun Oleh :

Meti Meilani

2112241127



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

2026

LEMBAR PENGESAHAN & PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

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

Disusun Oleh :

Nama : Meti Meilani

NPM : 2112241127

Naskah Topik Khusus 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 Kusdian, 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 SUNGAI
TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS
BETON FAST TRACK POROUS
DENGAN PENAMBAHAN FILLER SILICAFUME

Disusun Oleh
Meti Meilani
2112241127

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

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa tugas akhir yang dengan judul “ *PENGARUH PRESENTASE AGREGAT KASAR BATU SUNGAI TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS BETON FAST TRACK POROUS DENGAN TAMBAHAN FILLER SILICA FUME*” ini sepenuhnya adalah 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. Dengan pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/ sanksi di jatuhkan kepada saya apa bila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya ini, atau ada klaim dari pihak terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Februari 2026

Pembuat pernyataan



Acti Meilani
2112241127

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

Oleh

Meti Meilani

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

Meti Meilani 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 fotokopi, atau cara lainya tanpa ijin dari penulis

ABSTRAK

Tujuan Penelitian ini adalah untuk merencanakan dan menganalisis karakteristik beton fast track porous (pervious) sebagai solusi untuk mengatasi limpasan air permukaan (surface runoff) dengan memanfaatkan material lokal berupa agregat kasar batu sungai, 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 Sungai (1,5 cm : 2,5 cm) yaitu B1 B Sungai (25% : 75%) B2 B Sungai (50% : 50%), dan B3 B Sungai (75% : 25%) pengujian kuat tekan difokuskan pada umur 3 hari dan 7 hari untuk meninjau karakteristik fast track, serta umur 28 hari sebagai kontrol.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa batu Sungai memiliki karakteristik agregat dengan berat jenis curah sebesar 2,25 berat isi pada rata-rata 650,6 kg/m³, dan penyerapan air yang sangat tinggi sebesar 28,78%. Nilai 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 dicapai berturut-turut adalah 5,43 Mpa (B1), 5,7 Mpa (B2), dan tertinggi pada B3 sebesar 6,6 Mpa. Pada umur 7 hari, kuat tekan meningkat menjadi 5,94 Mpa (B1), 6,21 Mpa (B2), dan 7,07 Mpa (B3) puncak kekuatan mekanis mencapai 28 hari, di mana variasi B1 B Sungai menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 8,00 Mpa, diikuti oleh B2 batu sungai sebesar 8,33 Mpa, dan B3 Sungai sebesar 9,60 Mpa. Dengan demikian, variasi Batu Sungai disimpulkan sebagai komposisi campuran optimum karena dominasi ukuran agregat yang lebih kecil mampu memperluas permukaan ikatan pasta semen dan mengoptimalkan efek saling kunci (interlocking) antar butiran batuan, sehingga menghasilkan kapasitas dukung beban mekanis tinggi pada umur awal maupun umur matang.

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

ABSTRACT

The purpose of this research is to design and analyze the characteristics of fast-track porous (pervious) concrete as a solution to mitigate surface runoff. This was achieved by utilizing local materials in the form of river stone coarse aggregates (batu sungai) and modifying the cement paste matrix using a 5% silica fume additive and 0.9% superplasticizer (Conso N11 LN) to achieve high early strength. Referencing the ACI 522R-10 standard, this study tested cylindrical specimens (15x30 cm) with three variations of river stone coarse aggregate gradation compositions (1.5 cm : 2.5 cm), namely: B1 (25% : 75%), B2 (50% : 50%), and B3 (75% : 25%). Compressive strength testing focused on the ages of 3 and 7 days to review the fast-track characteristics, with 28 days serving as the control.

The test results showed that the river stone aggregate characteristics included a bulk specific gravity of 2.25, an average bulk density of 650.6 kg/m³, and a very high water absorption rate of 28.78%. The mechanical compressive strength of the porous concrete increased linearly with the increase in the percentage of the smaller aggregate fraction (1.5 cm) and the concrete age. At the early age of 3 days, the average compressive strengths achieved were 5.43 MPa (B1), 5.7 MPa (B2), and the highest was B3 at 6.6 MPa. At 7 days, the compressive strength increased to 5.94 MPa (B1), 6.21 MPa (B2), and 7.07 MPa (B3). The peak mechanical strength was reached at 28 days, where the B1 variation produced a compressive strength of 8.00 MPa, followed by B2 at 8.33 MPa, and B3 at 9.60 MPa. Consequently, the B3 river stone variation is concluded to be the optimum mix composition because the dominance of smaller aggregate sizes expands the bonding surface of the cement paste and optimizes the interlocking effect between rock particles, thereby generating a high mechanical load-bearing capacity at both early and mature ages.

Keywords: Porous concrete, fast-track, river stone, 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 SUNGAI TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS BETON FAST TRACK POROUS DENGAN PENAMBAHAN FILLER SILICA FUME”.

Penulis mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah banyak membantuan untuk mencapai hasil yang baik terhadap penulisan ini , Penulis menyampaikan rasa 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 Topik Khusus 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 Topik Khusus ini.

9. Kedua Orang Tua yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan arahan serta dorongan baik moril, spiritual, maupun materil.
10. Suami tercinta, Wimba Sahistia Adi, S.T., M.T., yang selalu memberikan bimbingan dan semangat.
11. Dan semua yang membantu Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu namanya.

Penulis menyadari bahwa Topik Khusus 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 Topik Khusus ini bermanfaat bagi penulis secara khusus dan semua pihak yang terkait dengan penulis Tugas Akhir ini

Bandung, Januari 2026

Meti Meilani
2112241127

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR NOTASI.....	x
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.1.1 Rumusan Masalah	2
1.2. Batasan Masalah	3
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian.....	4
1.3.1 Maksud Penelitian.....	4
1.3.2 Tujuan	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Sistematika Penulisan	5
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.3 Klasifikasi Beton Berdasarkan Kuat Tekan (ACI 301).....	8
Tabel 2. 1 Klasifikasi Beton Berdasarkan ACI 301-20	8
2.5 Material Penyusun Beton	10
2.5.1 Semen Portland	10
2.5.2 Agregat Halus (Pasir).....	13
2.5.3 Agregat Kasar	17
2.5.4 Air	20
2.5.5 Admixture	22
2.7 Faktor Air Semen	28
2.9 Penelitian Terdahulu	29
BAB III.....	31
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.....	38
3.7 Tahapan Pengujian Material Agregat Kasar	39
3.7.3 Analisa Berat Isi Volume Agregat Kasar.....	42

3.7.4	Pengujian Berat Isi Agregat Kasar.....	43
3.7.5	Pengujian Kadar Lumpur.....	45
3.8	Tahapan Pengujian Material Agregat Halus.....	47
3.8.1	Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus.....	48
3.9.2	Tahapan Pengadukan Beton Segar.....	53
3.9.3	Tahapan Tes Slump Beton dengan Kerucut Abrams.....	54
3.8.5	Tahapan Pemeriksaan Berat Isi Beton.....	55
3.8.6	Tahapan Penuangan dan Pemadatan Beton Segar.....	56
3.10	Tahapan Perawatan Benda Uji.....	57
3.11	Tahapan Pengujian Kuat Tekan Beton.....	57
3.12	Perancangan Beton Porous F'c 10 MPa – 17 MPa.....	58
BAB IV		63
HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA		63
4.1	Pengujian Bahan dan Campuran Beton.....	63
4.2	Semen	63
4.3	Pengujian Agregat Kasar.....	64
4.3.1	Analisa Saringan Angregat Kasar.....	64
4.3.2	Pengujian Berat Isi Agregat Kasar.....	66
4.4	Rencana Campuran Beton.....	67
4.5	Perhitungan Rencana Campuran Beton.....	67
4.6	Pelaksanaan Campuran Beton.....	70
4.7	Perawatan Beton.....	71
4.8	Pengujian Berat Sample Kering	72
4.9	Perhitungan Kuat Kuat Tekan	72
4.10	Pengujian Pearmeabilitas Beton Porous.....	77
BAB V.....		79
KESIMPULAN DAN SARAN		79
DAFTAR PUSTAKA		81

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Beton Berdasarkan ACI 301-20.....	8
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Semen Portland Menurut Jenisnya.....	12
Tabel 2. 3 Persyaratan Gradasi Agregat Halus.....	16
Tabel 2. 4 Persyaratan Gradasi Agregat Kasar.....	19
Tabel 2. 5 Chemical Admixtures (Menurut ASTM C494)	22
Tabel 2. 6 Tabel Umum Dilapangan (ACI 211.1).....	27
Tabel 2. 7 Tabel Kuat Tekan Beton Berdasarkan Faktor Air Semen (FAS) pada Umur 28 Hari	28
Tabel 2. 8 Nilai Slump Berbagai Macam Struktur	29
Tabel 2. 9 Penelitian Terdahulu.....	29
Tabel 3. 1 Rencana Benda Uji Kuat Tekan.....	38
Tabel 3. 2 Standar Pengujian Beton	38
Tabel 3. 3 Volume Check.....	38
Tabel 2. 1 Klasifikasi Beton Berdasarkan ACI 301-20.....	8
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Semen Portland Menurut Jenisnya.....	12
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen.....	56
Tabel 4. 1 Job mix Formula (m3) (Silinder kg).....	57
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Saringan Agregat Kasar.....	59
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.....	60
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar.....	61
Tabel 4. 2 Rencana Jumlah Sample Beton.....	62
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Bahan.....	62
Tabel 4. 4 Job mix Formula (m3) (Silinder kg).....	63
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Berat Beton Kering Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Umur 3 Hari 65	
Tabel 4. 6 Angka Konversi Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Beton Dan Angka Konversi Benda Uji	67
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 3 Hari.....	67

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 7 Hari.....	68
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 7 Hari.....	69
Tabel 4.13 Ringkasan Koefisien permeabilitas Rata- Rata.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Semen ASTM C150	13
Gambar 2. 2 Grafik Gradasi Agregat Halus Batasan ASTM C33.....	17
Gambar 2. 3 Grafik Gradasi Agregat Kasar Batasan ASTM C33.....	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Perencanaan	28
Gambar 3. 2 Standar Pengujian Beton.....	34
Gambar 3. 3 Semen	35
Gambar 3. 4 Agregat Kasar (Batu Sungai).....	35
Gambar 3. 5 Agregat Halus (Pasir)	36
Gambar 3. 6 Air.....	36
Gambar 3. 7 Agregat Halus (Pasir)	37
Gambar 3. 8 Silica fume.....	37
Gambar 4. 1 Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar	57
Gambar 4.2 Pelaksanaan Pembuatan Beton porous.....	64
Gambar 4.3 Proses Curing beton.....	65
Gambar 4.4 Ilustrasi Penyebaran beban	67
Gambar 4. 5 Grafik Kuat Kuat Tekan Beton Umur 3 hari Terhadap Variasi % Agregat Kasar.....	68
Gambar 4. 6 Grafik Kuat Kuat Tekan Beton Umur 7 hari Terhadap Variasi % Agregat Kasar.....	69
Gambar 4. 5 Grafik Kuat Kuat Tekan Beton Umur 3 hari Terhadap Variasi % Agregat Kasar.....	70

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

Dalam beberapa tahun belakangan ini perkembangan industri konstruksi di Indonesia semakin maju pesat, khususnya mengenai wacana *Green Construction* atau teknologi konstruksi ramah lingkungan.

Pesatnya laju urbanisasi dan pembangunan infrastruktur di kota-kota besar Indonesia berdampak signifikan terhadap perubahan tata guna lahan. Area yang semula berfungsi sebagai daerah resapan air kini berubah menjadi lahan kedap air akibat penggunaan perkerasan jalan konvensional seperti aspal dan beton normal. Hal ini menyebabkan siklus hidrologi terganggu, di mana volume air limpasan permukaan (*surface run-off*) meningkat tajam dan sering kali melampaui kapasitas sistem drainase yang ada, yang pada akhirnya memicu terjadinya genangan dan banjir (Ferguson, 2005).

Sebagai upaya mitigasi, teknologi Beton Porous (*porous concrete*) menjadi alternatif perkerasan berkelanjutan. Beton porus dirancang khusus dengan sedikit atau tanpa agregat halus, sehingga memiliki rongga udara berkisar antara 15%-35% (ACI Committee 522R, 2010). Rongga-rongga yang saling terhubung ini memungkinkan air meresap langsung ke dalam struktur perkerasan hingga ke tanah dasar. Namun, keberadaan rongga yang besar tersebut berbanding terbalik dengan kekuatannya; semakin tinggi porositas, maka kuat tekan beton akan semakin menurun (Chandrappa & Biligiri, 2016).

Di sisi lain, kebutuhan akan efisiensi waktu dalam proyek rehabilitasi jalan di area padat lalu lintas mendorong pengembangan teknologi Fast Track Concrete. Teknologi ini memungkinkan beton mencapai kekuatan rencana dalam waktu yang sangat singkat, sehingga meminimalisir gangguan ekonomi akibat penutupan jalan yang terlalu lama. Menggabungkan konsep *porous* dan *fast track* merupakan tantangan teknis, karena beton harus memiliki kecepatan hidrasi tinggi sekaligus

struktur internal yang mampu mengalirkan air dengan baik.

Untuk mengatasi rendahnya kuat tekan pada beton porus tanpa mengorbankan nilai Permeabilitas, diperlukan modifikasi pada matriks pasta semen. Penambahan Silica Fume sebagai bahan pengisi (*filler*) sekaligus material pozzolanik menjadi solusi yang potensial. *Silica fume* memiliki ukuran partikel yang sangat halus (sekitar 0,1 hingga 0,5 mikron), yang mampu mengisi celah mikro pada zona transisi antara pasta semen dan agregat (*interfacial transition zone*). Selain itu, kandungan silika dioksida (SiO_2) yang tinggi pada *silica fume* akan bereaksi dengan kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hasil hidrasi semen menjadi kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang jauh lebih kuat dan padat disamping itu ditambahkan juga additive F (Water Reducer)

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai **"PENGARUH PRESENTASE AGREGAT KASAR BATU SUNGAI TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS BETON FAST TRACK POROUS DENGAN PENAMBAHAN FILLER SILICA FUME"**.

Pemilihan jenis agregat juga memegang peranan vital dalam kestabilan struktur beton porus. Penggunaan agregat batu sungai (Batu Koral/Kerikil) dipilih karena memiliki bentuk yang bulat dan tekstur permukaan yang agak sedikit kasar. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan infrastruktur jalan yang tidak hanya kuat dan cepat dalam pengerjaan, tetapi juga memiliki aspek ekologis yang baik.

1.1.1 Rumusan Masalah

Permasalahan utama dalam penelitian ini terletak pada aspek teknis pengendalian keseimbangan antara kinerja hidrolik dan kapasitas struktural beton porous, khususnya pada aplikasi fast track yang menuntut pencapaian kuat tekan dalam waktu relatif singkat. Secara spesifik mengkaji pengaruh variasi rasio agregat terhadap semen serta penambahan silica fume sebagai material pengisi terhadap pembentukan porositas, mengingat kinerja beton porous sangat ditentukan oleh keberadaan pori-pori saling terhubung untuk memenuhi persyaratan laju

infiltrasi sesuai standar ACI 522R-10. Permasalahan ini menjadi semakin kompleks akibat penggunaan agregat batu kerikil sungai, sementara keberadaan silica fume diperkirakan akan memodifikasi viskositas pasta semen dan ketebalan lapisan pengikat di sekeliling agregat. Kondisi tersebut menimbulkan pertanyaan mengenai sejauh mana penambahan silica fume mampu meningkatkan kekuatan ikatan antar butiran tanpa mengurangi volume pori efektif yang berperan penting terhadap permeabilitas.

Selain itu, fenomena ini memunculkan ketidakjelasan hubungan antara porositas dan kinerja mekanis beton, mengingat kecenderungan hubungan invers di mana peningkatan kuat tekan melalui penambahan filler sering kali diikuti oleh penurunan nilai permeabilitas. Oleh sebab itu, permasalahan penelitian ini berfokus pada penentuan kombinasi optimal antara rasio agregat-semen dan kadar silica fume yang mampu menghasilkan beton porous *fast track* dengan permeabilitas tinggi sekaligus memenuhi persyaratan kuat tekan minimum. Melalui pendekatan eksperimental, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan sifat fisik dan mekanis beton akibat variasi tersebut, sehingga dapat dirumuskan rekomendasi proporsi campuran yang paling efektif dan efisien dengan memanfaatkan agregat batu kerikil sungai lokal sebagai upaya mendukung pembangunan infrastruktur berkelanjutan di Indonesia.

1.2. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, penulis membatasi ruang lingkup masalah sebagai berikut:

1. Material :
 - a. Agregat kasar yang digunakan adalah Batu Sungai yang berasal dari wilayah Garut , dengan ukuran 1,2 cm dan di 2,5 cm.
 - b. Semen yang digunakan adalah Portland Cement Tipe 1 atau

High Early Strength Cement.

- c. Bahan tambah berupa *Silica Fume* dengan variasi 5%, dari berat semen.
 - d. Menggunakan *Admixture* (**Consol N11 LN**) untuk memfasilitasi konsep *fast track*.
2. Pengujian :
- a. Pengujian Kuat Tekan dilakukan pada umur beton 3, 7, dan 28 hari untuk memverifikasi karakteristik *fast track*.
 - b. Pengujian Permeabilitas menggunakan metode *Constant Head* atau *Falling Head* (pilih satu).
3. Penelitian ini tidak meninjau kuat tarik belah maupun kuat lentur balok secara mendalam, fokus utama pada kuat tekan dan porositas.

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Merencanakan campuran (*Mix Design*) beton *fast track porous* dengan memanfaatkan potensi material lokal agregat kasar batu sungai dan bahan tambah *Silica Fume*.
2. Melakukan pengujian laboratorium untuk mengevaluasi perilaku fisik dan mekanis beton *porous* akibat modifikasi matriks semen oleh *Silica Fume*.
3. Mengkaji kelayakan penggunaan batu sungai sebagai substitusi agregat standar pada aplikasi beton perkerasan yang membutuhkan kekuatan awal tinggi (*fast track*).

1.3.2 Tujuan

Berdasarkan pemaparan rumusan masalah, tujuan spesifik yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh penambahan variasi kadar *Silica Fume* (sebagai *filler*) terhadap nilai kuat tekan beton *fast track porous* dengan agregat batu sungai pada berbagai umur beton (umur awal

dan umur rencana).

2. Menganalisis pengaruh penambahan variasi kadar *Silica Fume* terhadap koefisien *permeabilitas* (kemampuan meloloskan air) pada beton *fast track porous* dengan agregat batu sungai.
3. Menentukan kadar optimum penggunaan *Silica Fume* yang menghasilkan keseimbangan terbaik antara peningkatan kuat tekan dan kemampuan drainase (*permeabilitas*) yang memenuhi standar perkerasan *pervious concrete*.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Manfaat Akademis
Memberikan referensi ilmiah dan data empiris mengenai pemanfaatan batu sungai dan silica fume dalam teknologi beton porous, khususnya untuk aplikasi *fast track* (kekuatan awal tinggi).
2. Manfaat Praktis
Sebagai alternatif acuan bagi industri konstruksi dalam pembuatan perkerasan jalan lingkungan, area parkir, atau trotoar yang ramah lingkungan (*Eco-Drainage*) dengan memanfaatkan material lokal yang lebih ekonomis.
3. Manfaat Lingkungan
Mendukung upaya mitigasi banjir perkotaan dan konservasi air tanah melalui penerapan teknologi perkerasan yang mampu menyerap air hujan.

1.5. Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran yang jelas dan menyeluruh mengenai penyusunan tugas akhir ini, maka materi pembahasan disusun dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang pemilihan topik mengenai beton *fast*

track porous dengan agregat batu sungai dan *silica fume*. Di dalamnya mencakup identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan masalah (ruang lingkup), maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang teori yang bersumber dari literatur buku, jurnal, dan standar peraturan yang relevan (**SNI**, **ASTM**, atau **ACI**). Materi yang dibahas meliputi teori dasar beton porous (*Pervious Concrete*), konsep beton *fast track*, karakteristik agregat kasar batu sungai, karakteristik dan mekanisme kerja *Silica Fume* dalam campuran beton, serta teori parameter pengujian yaitu kuat tekan dan permeabilitas. Bab ini juga memuat tinjauan penelitian terdahulu yang sejenis sebagai referensi pembandingan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan pelaksanaan penelitian secara sistematis yang digambarkan dalam diagram alir (*Flowchart*). Penjelasan mencakup lokasi penelitian, persiapan alat dan bahan, pemeriksaan karakteristik material dasar (agregat batu lava, semen, *silica fume*), perencanaan campuran beton (*Mix Design*), proses pembuatan benda uji, metode perawatan (*Curing*), hingga prosedur pengujian kuat tekan dan permeabilitas di laboratorium.

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*)

Beton porous, yang dikenal juga dengan istilah *permeable concrete*, *pervious concrete*, didefinisikan sebagai material beton yang memiliki rongga udara saling terhubung (*interconnected voids*) sehingga memungkinkan air atau udara mengalir melewatinya secara langsung (Ferguson, 2005). Berbeda dengan beton konvensional yang dirancang untuk mencapai kepadatan maksimum, beton porous justru sengaja dimodifikasi untuk memiliki volume rongga yang tinggi. Secara teknis, **ACI Committee 522R-10 (2010)** menjelaskan bahwa beton porous adalah campuran yang terdiri dari semen portland, agregat kasar, sedikit atau tanpa agregat halus, air, dan bahan tambah (*admixtures*). Pengurangan atau peniadaan agregat halus (pasir) menyebabkan terbentuknya sistem rongga makro di dalam struktur beton. Agregat kasar dalam campuran ini hanya diselimuti oleh selapis tipis pasta semen yang mengikat titik-titik kontak antar butiran agregat (Chandrupa & Biligiri, 2016).

Karakteristik utama beton porous adalah :

1. **Permeabilitas Tinggi**

Mampu meloloskan air dengan laju alir yang tinggi.

2. **Kuat Tekan Rendah hingga Menengah**

Karena banyaknya rongga udara, luas penampang efektif menahan beban menjadi berkurang, sehingga kuat tekannya lebih rendah dibandingkan beton konvensional.

3. **Berat Isi Ringan**

Umumnya memiliki berat isi sekitar 70% dari beton konvensional.

2.2 Beton *Fast Track*

Beton *Fast Track* adalah teknologi perkerasan beton yang dirancang

untuk mencapai kekuatan tertentu dalam waktu yang jauh lebih singkat dibandingkan beton normal, sehingga lalu lintas dapat segera dibuka kembali.

1. Beton Normal Mencapai kekuatan rencana (misal 28 MPa) pada umur 28 hari.
2. Beton Fast Track Dirancang mencapai kekuatan target (misal untuk pembukaan traffic) dalam waktu 24 jam hingga 3 hari.

Untuk mencapai kriteria fast track, beberapa strategi yang umumnya diterapkan meliputi :

1. Penggunaan semen Tipe III (*High Early Strength*) atau semen Tipe I dengan dosis lebih tinggi.
2. Penggunaan rasio air-semen (w/c) yang rendah (< 0.40).
3. Penambahan bahan kimia (*Admixture*) pemercepat
4. pengikatan (*Accelerator*) atau *High Range Water Reducer (HRWR)*.
5. Penambahan material pozzolan reaktif seperti *Silica Fume* untuk mempercepat densifikasi matriks pasta.

2.3 Klasifikasi Beton Berdasarkan Kuat Tekan (ACI 301)

CI 301-20 Specifications for Structural Concrete membagi beton ke dalam beberapa kategori berdasarkan nilai kuat tekan karakteristik (f'_c) serta penggunaannya dalam konstruksi. Tabel berikut menyajikan ringkasan klasifikasi tersebut:

Tabel 2. 1 Klasifikasi Beton Berdasarkan ACI 301-20

Klasifikasi	Rentang Kuat Tekan (f'_c)	Aplikasi Umum	Referensi ACI
Beton Normal	17–28 MPa	Struktur konvensional: pelat lantai, balok, kolom sederhana	ACI 301, Pasal 2.3
Beton Mutu Tinggi	28–55 MPa	Gedung bertingkat tinggi (<i>high-rise</i>), jembatan bentang panjang	ACI 363R-10
Beton Sangat Kuat	>55 MPa	Elemen pracetak (<i>precast</i>), struktur beton prategang (<i>pre-stressed</i>)	ACI 239R-18

Selain nilai kuat tekan, **ACI 318** juga memperkenalkan konsep kuat tekan karakteristik (f'_{cr}) yang digunakan sebagai dasar perancangan campuran, dengan rumus umum :

$$f'_{cr} = f'_c + 8.3 \text{ MPa} \text{ (untuk kontrol mutu standar, ACI 318-19 Pasal 5.3.2)}$$

Penyesuaian terhadap nilai f'_{cr} ini mempertimbangkan variabilitas hasil uji beton serta margin keamanan.

1. Klasifikasi Berdasarkan Lingkungan (*Exposure Class*)

ACI 301 juga mensyaratkan ketentuan terhadap lingkungan eksposur di mana beton akan digunakan. Kelas eksposur ini ditentukan untuk mengantisipasi pengaruh agresif lingkungan seperti serangan sulfat, korosi tulangan, dan pembekuan-pencairan.

Contoh kelas eksposur meliputi:

- **F0**: Tidak terdapat risiko pembekuan dan pencairan (*Freeze-Thaw*).
- **S1**: Terdapat paparan sulfat dalam tingkat sedang.
- **C2**: Risiko tinggi korosi akibat klorida (misalnya di lingkungan laut).

2.4 Permeabilitas (*Permeability*)

Parameter fungsional utama beton porous adalah koefisien permeabilitas (k). Standar ACI menyatakan bahwa laju aliran tipikal berkisar antara 120 hingga 320 liter per menit per meter persegi ($L/min/m^2$). Nilai yang sangat tinggi ini dirancang sebagai faktor keamanan (*safety factor*) terhadap potensi penyumbatan (*clogging*) oleh debu atau sedimen di masa mendatang.

Kemampuan permeabilitas ini tidak hanya ditentukan oleh total volume pori, tetapi juga oleh *tortuosity* aliran. **Tjaronge dkk. (2014)** menyebutkan bahwa nilai permeabilitas berbanding lurus dengan kuadrat ukuran rata-rata pori. **ACI 522R-10** merekomendasikan penggunaan

agregat gradasi tunggal (*gap-graded*) untuk mencegah masuknya butiran kecil ke dalam celah rongga besar yang dapat menghambat laju infiltrasi, sehingga efektivitas drainase tetap terjaga sepanjang umur pelayanan.

Rumus Permeabilitas (*Constant Head*) :

$$K = \frac{Q \times L}{A \times h \times t}$$

Dimana :

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

Beton porous (beton berpori) tersusun dari material dasar yang serupa dengan beton konvensional, namun dengan perbedaan utama pada proporsi dan gradasi agregatnya. Secara umum, material penyusun beton porous terdiri dari semen, agregat kasar, air, dan bahan tambah (*Admixture*) jika diperlukan. Berikut adalah rincian material yang digunakan dalam penelitian-penelitian terkait :

2.5.1 Semen Portland

Semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesi (*adhesive*) dan kohesif (*cohesive*) yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat.

Semen portland komposit merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gipsum

dengan satu atau lebih bahan anorganik. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), *pozolan*, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6-35% dari massa semen portland komposit. Semen portland komposit dikategorikan sebagai semen ramah lingkungan dan digunakan untuk hampir semua jenis konstruksi.

Keunggulan dari PCC (*Portland Composite Cement*) yaitu lebih mudah dikerjakan, suhu beton lebih rendah sehingga tidak mudah retak, permukaan acian dan beton lebih halus, lebih kedap air, mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dibanding OPC (*Ordinary Portland Cement*).

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (SII 0013-1981). Semen diperoleh dengan membakar secara bersamaan. Suatu campuran dari *calcareous* (yang mengandung kalsium karbonat atau batu gamping) dan *argillaceous* (yang mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu (Tjokrodinuljo, 1996).

Unsur utama yang terkandung dalam semen dapat digolongkan ke dalam empat bagian yaitu: trikalsium silikat (C3S), dikalsium silikat (C2S), trikalsium aluminat (C3A), dan tetrakalsium aluminoforit (C4AF). Selain itu, pada semen juga terdapat unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil, misalnya : MgO, TiO₂, Mn₂O₃, K₂O dan Na₂O. Soda atau potasium (Na₂O dan K₂O) merupakan komponen minor dari unsur-unsur penyusun semen yang harus diperhatikan, karena keduanya merupakan alkalis yang dapat bereaksi dengan silika aktif dalam agregat, sehingga menimbulkan disintegrasi beton (Neville dan Brooks, 1987).

Unsur C3S dan C2S merupakan bagian terbesar (70% - 80%) dan paling dominan dalam memberikan sifat semen (Tjokrodinuljo, 1996). Bila semen terkena air, maka C3S akan segera berhidrasi dan memberikan

pengaruh yang besar dalam proses pengerasan semen, terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Unsur C2S bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh setelah beton berumur 7 hari. Unsur C3S bereaksi sangat cepat dan memberikan kekuatan setelah 24 jam. Semen yang mengandung unsur C3S lebih dari 10% akan berakibat kurang tahan terhadap sulfat. Unsur yang paling sedikit dalam semen adalah C3AF, sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan pasta semen atau beton. Perubahan komposisi kimia semen, yang dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen, dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. 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. 2 Komposisi Kimia Semen Portland Menurut Jenisnya

Jenis Semen	Sifat Pemakaian	Kadar Senyawa (%)						
		C3S	C2S	C3A	C4Af	CaSO4	CaO	MgO
I	Normal	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4
II	Modifikasi	46	29	6	12	2.8	0.6	3
III	Kekuatan Awal Tinggi	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6

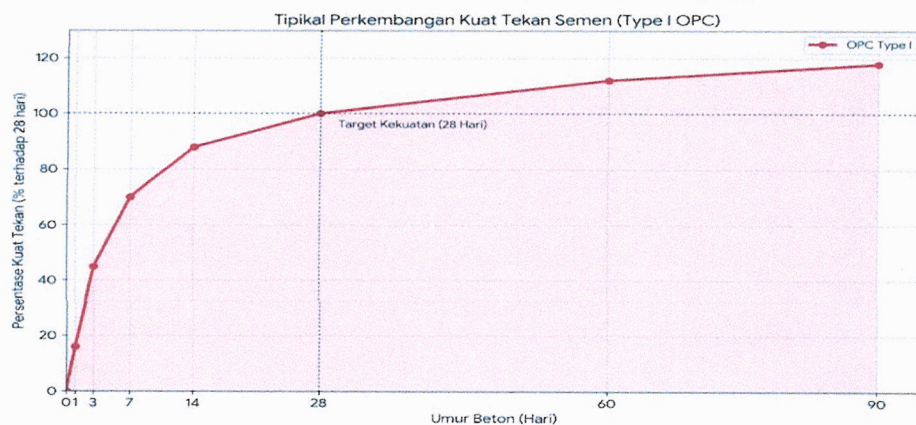
IV	Panas Hidrasi Rendah	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7
V	Tahan Sulfat	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6

Proses hidrasi yang terjadi pada semen portland dapat dinyatakan dalam persamaan kimia sebagai berikut :



Hasil utama dari proses hidrasi semen adalah $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ (tobermorite) yang berbentuk gel dan menghasilkan panas hidrasi selama reaksi berlangsung. Hasil yang lain berupa kapur bebas $\text{Ca}(\text{OH})_2$, yang merupakan sisa dari reaksi antara C_3S dan C_2S 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.

Gambar 2. 1 Grafik Semen ASTM C150



Sumber : Standar SNI / ASTM C150

2.5.2 Agregat Halus (Pasir)

Menurut **SNI 03-2834-2000** agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5,0 mm. Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Ukurannya bervariasi antara No. 4 dan No. 100 saringan standar Amerika.

Agregat halus dapat digolongkan menjadi 3 jenis (**Wuryati**

Samekto 2001:16):

Pasir Galian

Pasir galian dapat diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali dari dalam tanah. Pada umumnya pasir jenis ini tajam, bersudut, berpori, dan bebas dari kandungan garam yang membahayakan.

1. Pasir Sungai

Pasir sungai diperoleh langsung dari dasar sungai. Pasir sungai pada umumnya berbutir halus dan berbentuk bulat, karena akibat proses gesekan yang terjadi sehingga daya lekat antar butir menjadi agak kurang baik.

2. Pasir Laut

Pasir laut adalah pasir yang diperoleh dari pantai. Bentuk butiran halus dan bulat, karena proses gesekan. Pasir jenis ini banyak mengandung garam, oleh karena itu kurang baik untuk bahan bangunan. Garam yang ada dalam pasir ini menyerap kandungan air dalam udara, sehingga mengakibatkan pasir selalu agak basah, dan juga menyebabkan pengembangan setelah bangunan selesai dibangun.

Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No. 100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. (*Edward G. Nawy hal : 14*) Agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. (**SK SNI 03-2847- 2002**).

Untuk mengetahui susunan butiran pada agregat dilakukan dengan analisa ayak. Agregat yang akan diuji dimasukkan kedalam susunan saringan yang telah ditentukan, kemudian susunan saringan tersebut digetar selama 10 sampai 15 menit. Agregat yang tertahan pada masing - masing saringan dianalisa, hasilnya dibandingkan dengan persyaratan atau spesifikasi.

Syarat susunan butiran agregat untuk beton, sudah diatur dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia tahun 1971, **SK SNI**, atau dalam standard asing seperti **ASTM** dan British Standard.

Bagian yang lolos darisuatu ayakan tidak boleh lebih dari 45% dari yang tertahan pada ayakan berikutnya. Modulus kehalusan harus antara 2,3 – 3,2 dan variasi tidak lebih dari 0,2. Agregat halus terdiri dari pasir alam, pasir hasil buatan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Syaratnya Agregat Halus (**SK SNI S – 04 – 1989 – F**) :

1. Agregat halus harus terdiri dari butir – butir yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan ≤ 2.2
2. Butir – butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti matahari dan hujan.
3. Sifat kekal, diuji dengan larutan garam sulfat.
 - a. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian hancur maksimum 12 %.
 - b. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian hancur maksimum 10 %.
4. Kadar Lumpur tidak boleh melebihi 5 % dari berat pasir, apabila kadar lumpur melebihi 5 % maka pasir sebelum digunakan harus dicuci terlebih dahulu.
5. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan – bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna Abrams – Herder. Untuk itu bila direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding. Jika Agregat halus tidak memenuhi percobaan diatas, maka agregat dapat dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95 % dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dahulu dalam larutan 3% NaOH kemudian dicuci hingga bersih dengan air pada umur yang sama.

6. Susunan besar butir agregat halus mempunyai modulus kehalusan antara 1.5 – 3.8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu dalam daerah susunan butir menurut Zone 1, 2, 3, atau 4 (BS.882) dan harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut:
 - a. Sisa diatas ayakan 4.8 mm harus maksimum 2% berat.
 - b. Sisa diatas ayakan 1.2 mm harus maksimum 10% berat.
 - c. Sisa diatas ayakan 0.30 mm harus maksimum 15% berat.
7. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.
8. Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton kecuali dengan petunjuk – petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan – bahan yang diakui.
9. Agregat halus yang digunakan untuk maksud spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan diatas.

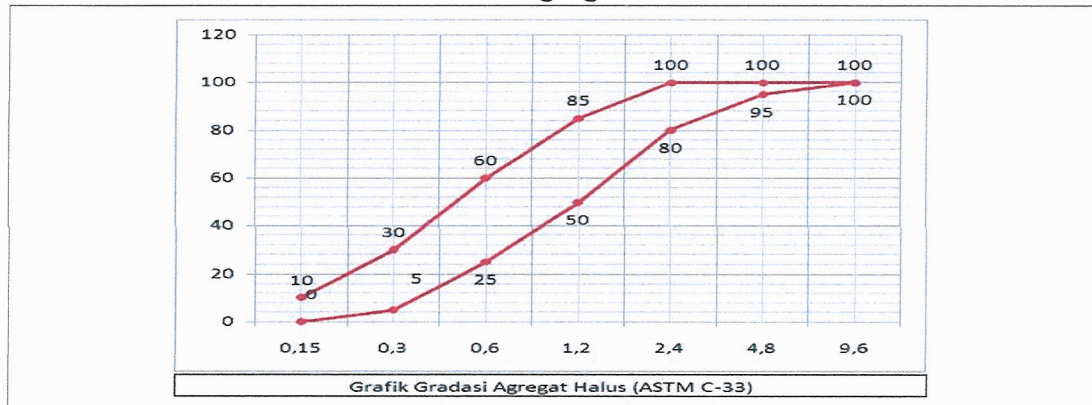
Persyaratan susunan butiran untuk agregat halus menurut British Standard dan ASTM dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2. 3 Persyaratan Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan (BS)	ASTM No.	BS 882:1973 Grading Zone 1	BS 882:1973 Grading Zone 2	BS 882:1973 Grading Zone 3	BS 882:1973 Grading Zone 4	ASTM Standard C 33-78
9.5 mm	3/8 in.	100	100	100	100	100
4.75 mm	3/16 in.	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100	95 – 100
2.36 mm	8	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100	80 – 100
1.18 mm	16	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100	50 – 85
600 µm	30	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100	25 – 60
300 µm	50	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50	10 – 30
150 µm	100	0 – 10*	0 – 10*	0 – 10*	0 – 15*	2 – 10

Sumber : Agregat Halus (ASTM C33)

Gambar 2. 2 Grafik Gradasi Agregat Halus Batasan ASTM C33



2.5.3 Agregat Kasar

Menurut **SNI 03-2834-2000** agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu sungai

yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm.

Agregat kasar diperoleh dari alam dan juga dari proses memecah batu alam. Agregat alami dapat diklasifikasikan ke dalam sejarah terbentuknya peristiwa geologi, yaitu agregat beku, agregat sediment dan agregat metamorf, yang kemudian dibagi menjadi kelompok-kelompok yang lebih kecil. Agregat pecahan diperoleh dengan memecah batu menjadi berukuran butiran sesuai yang diinginkan dengan cara meledakan, memecah, menyaring dan seterusnya. Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi $\frac{1}{4}$ in (6 mm).

Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen. (Nawy 1998 : 13)

Agregat kasar dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu Sungai, granit, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang dipecah. Agregat kasar (kerikil/batu sungai) yang akan dipakai untuk membuat campuran

beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut (**SK SNI S – 04 – 1989 – F**) :

1. Kerikil atau batu sungai maupun granit harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Kadar bagian yang lemah bila diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5 %. Kekerasan agregat kasar diperiksa dengan bejana peng`uji Rudolff dengan beban penguji 20 ton.
2. Agregat yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.
3. Butir – butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti matahari dan hujan.
4. Sifat kekal, diuji dengan larutan garam sulfat
5. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian hancur maksimum 12 %.
6. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian hancur maksimum 10 %.
7. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (terhadap berat kering) dan jika mengandung lebih dari 1%, agregat kasar harus dicuci.
8. Agregat kasar harus terdiri dari butir – butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, susunan besar

butir mempunyai modulus kehalusan antara 6 – 7.1 dan harus memenuhi syarat – syarat berikut :

- a. Sisa diatas ayakan 38 mm harus maksimum 0% berat.
- b. Sisa diatas ayakan 4.8 mm harus berkisar antara 90 dan 98 % berat.
- c. Selisih antara sisa – sisa kumulatif diatas 2 ayakan berurutan adalah maksimum 60% dan minimum 100%.

Agregat kasar, menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia, perlu diuji ketahanannya terhadap keausan (dengan mesin *Los Angeles*). Persyaratan susunan butiran untuk agregat halus menurut

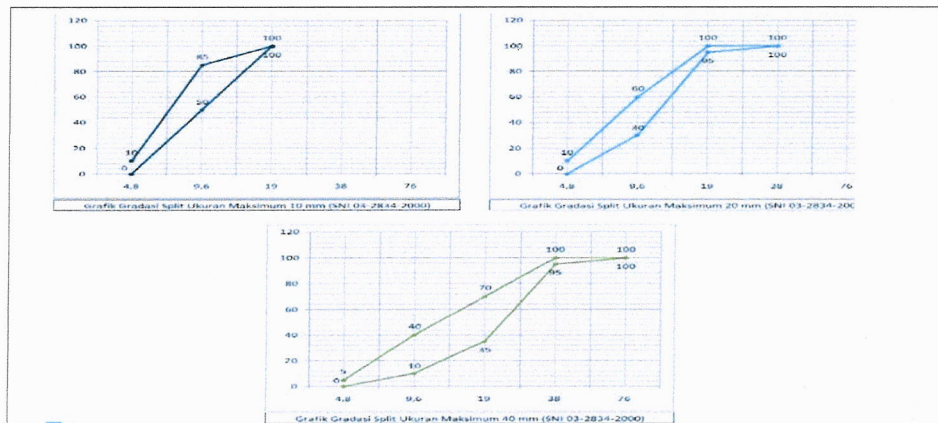
British Standard dan ASTM dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2. 4 Persyaratan Gradasi Agregat Kasar

Sieve Size (mm)	Sieve Size (in.)	Graded Aggregate	Graded Aggregate	Graded Aggregate	Single-sized Aggregate	Single-sized Aggregate
		37.5 to 4.75 mm	19.0 to 4.75 mm	12.5 to 4.75 mm	63 mm	37.5 mm
		(1½ in. to 3/16 in.)	(¾ in. to 3/16 in.)	(½ in. to 3/16 in.)	(2½ in.)	(1½ in.)
75	3	—	—	—	100	—
63	2½	—	—	—	90 – 100	—
50	2	100	—	—	35 – 70	100
38.1	1½	95 – 100	—	—	0 – 15	90 – 100
25	1	—	100	—	—	20 – 55
19	¾	35 – 70	90 – 100	100	0 – 5	0 – 15
12.5	½	—	—	90 – 100	—	—
9.5	⅜	10 – 30	20 – 55	40 – 70	—	0 – 5
4.75	3/16	0 – 5	0 – 10	0 – 15	—	—
2.36	No. 8	—	0 – 5	0 – 5	—	—

Gradasi (Pembagian/distribusi butir, *grading*) ialah distribusi ukuran butir agregat. Agregat diayak berurutan menurut ayakan standar, yang disusun mulai dari ayakan terbesar di bagian paling atas. Agregat diletakkan di bagian teratas. Setelah cukup lama ayakan digetarkan, berat agregat yang tertahan pada setiap ayakan dicatat, dihitung persentasenya. Persentase kumulatif tertahan dan persentase kumulatif lolos kemudian dihitung. Kurva gradasi suatu agregat dapat dibuat dengan menggunakan hasil dari analisis ayakan/saringan.

Gambar 2. 3 Grafik Gradasi Agregat Kasar Batasan ASTM C33



Sumber : Agregat Kasar (ASTM C33)

2.5.4 Air

Dalam teknologi beton, air memegang peranan vital sebagai pemicu reaksi kimiawi semen untuk membentuk pasta pengikat agregat. Namun, proporsi air harus dikontrol dengan ketat karena volume yang berlebihan akan menurunkan kuat desak beton. Selain itu, kelebihan air dapat memicu terjadinya *bleeding*. Naiknya campuran air dan semen ke permukaan beton segar yang berakibat pada lemahnya ikatan antar-lapisan beton. Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap :

1. Sifat *workability* adukan beton.
2. Besar kecilnya nilai susut beton
3. Kelangsungan reaksi dengan semen *portland*, sehingga dihasilkan dan kekuatan selang beberapa waktu.
4. Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik. Air dalam campuran beton ini harus memenuhi ketentuan yang berlaku.

Dalam (Tjokrodimulyo : 2007) dijelaskan syarat air untuk pembuatan beton minimal air minum yaitu air tawar, tidak berbau, bila di hembuskan diudara tidak keruh dan lain-lain, tetapi tidak berarti air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum.

Penggunaan air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan

sebagai berikut ini, (Tjokrodimulyo : 2007).

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/lt.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
3. Tidak mengandung *Klorida* (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.
4. Tidak mengandung senyawa *sulfat* sebagai SO_3 lebih dari 1 gr/ltr.

Faktor Air Semen (FAS) adalah perbandingan berat antara air dan semen Portland di dalam campuran adukan beton. Menurut SK SNI S-04-1989-F dan SK SNI 03-2847-2002.

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan- bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi :
 - a. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
 - b. Hasil pengujian pada umur 7, 14 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90 dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.
 - c. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan “Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis menggunakan spesimen kubus ukuran sisi 50mm”

ASTM C 109.

2.5.5 Admixture

Berdasarkan standar **ASTM C125**, *admixture* (bahan tambah) didefinisikan sebagai material selain air, agregat, semen hidrolis, dan serat tulangan yang ditambahkan ke dalam campuran beton atau mortar sesaat sebelum atau selama proses pengadukan berlangsung. Bahan ini berfungsi untuk memodifikasi sifat-sifat beton, baik dalam kondisi segar (*Fresh Concrete*) maupun setelah mengeras (*Hardened Concrete*), agar sesuai dengan kebutuhan konstruksi spesifik yang tidak

dapat dipenuhi oleh campuran beton konvensional semata. Melalui interaksi kimiawi dan fisik, penggunaan admixture memungkinkan rekayasa karakteristik beton secara presisi, seperti mengurangi kebutuhan air untuk meningkatkan kekuatan, mempercepat atau memperlambat waktu pengikatan (*setting time*) sesuai kondisi cuaca, serta meningkatkan durabilitas struktur terhadap lingkungan agresif tanpa mengorbankan kemudahan pengerjaan (*Workability*).

Standar **ASTM C494** (yang juga diadopsi menjadi **SNI 2495:2014**) mengklasifikasikan bahan tambah kimia menjadi 7 tipe utama berdasarkan fungsinya:

Tabel 2. 5 Chemical Admixtures (Menurut ASTM C494)

	Nama Inggris	Nama Indonesia	Fungsi Utama
Type A	<i>Water-reducing admixture</i>	Pengurang air (Plasticizer)	Mengurangi kebutuhan air untuk slump yang sama (beton lebih kuat).
Type B	<i>Retarding admixture</i>	Memperlambat set (Retarder)	Memperlambat waktu pengikatan beton (cocok untuk cuaca panas atau pengecoran massal).
Type C	<i>Accelerating admixture</i>	Mempercepat set (Accelerator)	Mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal (cocok untuk perbaikan cepat atau cuaca dingin).
Type D	<i>Water-reducing & retarding</i>	Pengurang air & pelambat	Kombinasi fungsi Tipe A dan Tipe B.

Type E	<i>Water-reducing & accelerating</i>	Pengurang air & pemercepat	Kombinasi fungsi Tipe A dan Tipe C.
Type F	<i>High range water-reducing</i>	Pengurang air tingkat tinggi (Superplasticizer)	Mengurangi air dalam jumlah besar (12%+) untuk membuat beton mutu tinggi atau beton sangat cair (<i>flowing</i>).
Type G	<i>High range water-reducing & retarding</i>	Superplasticizer & pelambat	Superplasticizer yang juga menunda setting time (penting agar beton tidak cepat kaku saat perjalanan jauh).
Type S	<i>Specific Performance</i>	Kinerja Khusus	Tipe baru untuk fungsi khusus (misal: <i>viscosity modifying</i> , <i>shrinkage reducing</i> , dll).

1. Air-Entraining Admixtures (Menurut **ASTM C260**) Ini diatur dalam standar terpisah, yaitu **ASTM C260**.
 - a. Fungsi: Memasukkan gelembung udara mikroskopis yang tersebar merata ke dalam beton.
 - b. Tujuan: Meningkatkan ketahanan beton terhadap siklus beku-cair (*Freeze-Thaw Durability*) di negara empat musim, dan meningkatkan kelecakan (*Workability*) campuran.
2. Mineral Admixtures (*Supplementary Cementitious Materials / SCM*)
 Sering disebut juga sebagai "admixture" di lapangan, namun secara teknis adalah material pengganti atau penambah semen. Standarnya berbeda-beda:
 - a. **Fly Ash (Abu Terbang):** Diatur dalam **ASTM C618**.
 - *Class F*: Pozzolanic (biasanya dari batubara antrasit).
 - *Class C*: Pozzolanic & Cementitious (biasanya dari batubara lignit, kadar kapur tinggi).
 - b. **Silica Fume:** Diatur dalam **ASTM C1240**. Digunakan untuk beton mutu sangat tinggi dan kedap air.
 - c. **Slag Cement (GGBFS):** Diatur dalam **ASTM C989**.
3. Ringkasan Standar Acuan
 Jika Anda sedang menyusun laporan atau spesifikasi teknis, berikut adalah referensi standar kuncinya:
 - a. **ASTM C494 / SNI 2495:** Spesifikasi Bahan Tambah Kimia

(Tipe A - G).

- b. **ASTM C260:** Spesifikasi Bahan Tambah Pembentuk Gelembung Udara (*Air-Entraining*).
- c. **ASTM C1017:** Spesifikasi Bahan Tambah Kimia untuk Beton Cair (*Flowing Concrete*).
- d. **ACI 212.3R:** Laporan komite **ACI** (*American Concrete Institute*) tentang panduan penggunaan *admixture*.

2.5.6 Additive

Aditif beton adalah bahan tambahan (kimia atau mineral) yang dicampur dalam adukan beton untuk memodifikasi sifatnya agar sesuai kebutuhan proyek, seperti meningkatkan kekuatan, daya tahan, kemudahan pengerjaan, mempercepat atau memperlambat pengerasan, serta membuatnya lebih kedap air atau tahan korosi, mengatasi keterbatasan beton konvensional dan meningkatkan performa konstruksi modern.

Zat *additive* (bahan tambah) beton menurut **SNI 2847:2013** adalah material selain semen, air, dan agregat yang ditambahkan ke dalam campuran

sebelum/selama pengadukan untuk memodifikasi sifat beton. Tujuannya meningkatkan workability, mempercepat/memperlambat pengerasan, dan menambah kuat tekan. Jenisnya dibedakan menjadi bahan kimia (*admixtures*) dan mineral (*additives/pozzolan*).

Berikut adalah poin-poin penting zat additive beton sesuai standar teknis (sering merujuk ke **SNI** dan **ASTM C494/C494M**) :

Bahan Tambah Kimia (Admixtures):

1. Tipe A (Water Reducing): Mengurangi penggunaan air untuk kekuatan lebih tinggi.
2. Tipe B (Retarder): Memperlambat pengikatan (pengerasan) untuk pengecoran jarak jauh.
3. Tipe C (Accelerator): Mempercepat pengerasan, seperti kalsium

klorida (dengan catatan risiko karat pada tulangan).

4. Tipe D (Water Reducing & Retarder): Pengurang air sekaligus memperlambat pengerasan.
5. Tipe E (Water Reducing & Accelerator): Pengurang air sekaligus mempercepat pengerasan.
6. Tipe F (High Range Water Reducing/Superplasticizer): Sangat efektif meningkatkan kelecakan beton tanpa menambah air.
7. Tipe G (High Range Water Reducing & Retarder): Superplasticizer yang juga memperlambat pengerasan.

2.6 *Workability*

Dalam istilah teknis yang baku, *Workability* (Kelecakan) bukan sekadar "encer atau kental", melainkan sifat kompleks yang didefinisikan secara resmi oleh **ACI (American Concrete Institute)** dalam standar **ACI 116R** (*Cement and Concrete Terminology*). Berikut adalah penjelasan *Workability* berdasarkan standar, metode pengujiannya, dan klasifikasinya.

1. Definisi Standar (**ACI 116R**)

Menurut **ACI 116R**, *workability* adalah: Properti dari beton atau mortar segar yang menentukan kemudahan dan homogenitas saat dicampur (mixed), dituang (placed), dipadatkan (consolidated), dan dihaluskan (finished).

2. Standar Pengujian *Workability*

Karena *workability* adalah kombinasi dari beberapa sifat, tidak ada satu alat ukur tunggal. Namun, standar **ASTM** dan **SNI** menetapkan beberapa metode uji untuk mengukur indikator *workability*:

a. A. Slump Test (Uji Slump) - Paling Umum

Ini mengukur **konsistensi** (kebasahan) adukan.

- **Standar:** ASTM C143 / SNI 1972:2008
- **Cara Kerja:** Mengukur penurunan ketinggian beton segar setelah cetakan kerucut terpancung diangkat.

- **Kelemahan:** Tidak efektif untuk beton yang sangat kental (*dry cast*) atau sangat cair (*self-compacting*).

b. Slump Flow Test (Untuk Beton SCC)

Digunakan khusus untuk **Self-Consolidating Concrete (SCC)** atau beton yang memadat sendiri.

- **Standar:** ASTM C1611
- **Cara Kerja:** Bukan mengukur tinggi penurunan, tapi mengukur **diameter sebaran** beton (karena beton sangat encer). Ukuran standar biasanya diameter 600–750 mm.
- **Parameter Tambahan:** ASTM C1621 (J-Ring Test) untuk mengukur kemampuan beton SCC melewati celah tulangan tanpa macet (*passing ability*).

c. Vebe Time (Untuk Beton Kering/Kaku)

Digunakan untuk beton dengan slump sangat rendah (misal: beton untuk bendungan RCC atau perkerasan jalan kaku).

- **Standar:** ASTM C1170
- **Cara Kerja:** Mengukur waktu (detik) yang dibutuhkan beton untuk memadat di bawah getaran mesin.

d. Bleeding Test (Uji Air Lindi)

Mengukur stabilitas adukan (apakah air memisah dari campuran).

- **Standar:** ASTM C232 / SNI 03-6817-2002
- **Indikator:** Workability yang buruk ditandai dengan *bleeding* (air naik ke permukaan) atau *segregasi* (kerikil turun ke bawah) yang berlebihan.

3. Klasifikasi Tingkat Workability (ACI 211.1)

Standar **ACI 211.1** (*Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*) memberikan panduan nilai slump berdasarkan jenis konstruksinya.

Tabel berikut adalah acuan umum di lapangan:

Tabel 2. 6 Tabel Umum Dilapangan (ACI 211.1)

Tingkat Workability	Nilai Slump (mm)	Penggunaan Tipikal (Berdasarkan ACI 211.1)	Metode Pemadatan
Sangat Rendah	0 - 25 mm	Perkerasan jalan (Rigid Pavement), Beton massa.	Getaran Mesin Kuat
Rendah	25 - 50 mm	Pondasi telapak, Dinding bawah tanah tanpa tulangan rapat.	Getaran Mesin
Sedang (Normal)	50 - 100 mm	Balok, Kolom, Pelat lantai (Konstruksi gedung umum).	Vibrator Internal
Tinggi	100 - 175 mm	Beton pompa (<i>pumped concrete</i>), Struktur tulangan rapat.	Vibrator Ringan / Rojokan
Sangat Tinggi (SCC)	<i>Flow</i> > 600 mm	Beton arsitektural rumit, <i>Precast</i> tulangan sangat rapat.	Tanpa Pemadatan (Self-Weight)

Sumber : ACI 211.1

4. Faktor Penentu *Workability*

Dalam desain campuran (*Mix Design*), *workability* dipengaruhi oleh:

- Rasio Air-Semen (w/c ratio): Semakin banyak air, semakin tinggi slump (tapi kekuatan turun).
- Gradasi Agregat (ASTM C33): Gradasi yang menerus (seperti grafik yang Anda buat sebelumnya) mengisi rongga dengan baik, membuat adukan seperti "dilumasi". Agregat gap-graded membuat beton kasar dan susah dikerjakan.
- Bentuk Agregat: Batu sungai halus tidak berpori berpengaruh pada interlock
- Admixture* (ASTM C494): Penggunaan *Plasticizer* (Tipe A) atau *Superplasticizer* (Tipe F) menaikkan *workability* secara drastis tanpa menambah air.
- e.

2.7 Faktor Air Semen

Faktor Air-Semen (**FAS**), atau dalam bahasa Inggris disebut *Water-Cement Ratio (w/c ratio)*, adalah perbandingan antara berat air terhadap berat semen dalam campuran beton. Nilai ini dinyatakan dalam bentuk rasio, misalnya 0,5 berarti 0,5 kg air untuk setiap 1 kg semen.

$$FAS = (\text{Berat Air})/(\text{Berat Semen})$$

FAS merupakan salah satu faktor paling krusial dalam menentukan kuat tekan beton. Semakin kecil nilai **FAS**, maka kuat tekan beton cenderung lebih tinggi, karena jumlah air yang berlebih akan menyebabkan pori-pori yang melemahkan beton setelah air menguap.

Campuran dengan **FAS** yang lebih tinggi akan lebih mudah dikerjakan (lebih plastis), tetapi bisa mengurangi kekuatan dan durabilitas jika tidak dikontrol. Beton dengan **FAS** rendah menghasilkan struktur yang lebih padat dan tahan terhadap penetrasi air, klorida, dan zat agresif lainnya. **FAS** yang tinggi cenderung meningkatkan penyusutan selama proses pengeringan, yang bisa menyebabkan retak mikro pada beton.

Tabel 2.7 Tabel Kuat Tekan Beton Berdasarkan Faktor Air Semen (FAS) pada Umur 28 Hari

FAS	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)
0,35	50 MPa
0,45	40 MPa
0,55	30 MPa
0,65	20 MPa

Catatan : Data ini bersifat umum dan dapat bervariasi tergantung jenis bahan dan kondisi curing.

2.8 Slump

Slump merupakan tinggi dari adukan dalam kerucut terpancung terhadap tinggi adukan setelah cetakan diambil. *Slump* merupakan pedoman yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton, semakin tinggi tingkat kekenyalan maka semakin mudah pengerjaannya (nilai

workability tinggi). Nilai slump berbagai macam struktur diperlihatkan pada tabel 2.11.

Tabel 2. 8 Nilai Slump Berbagai Macam Struktur

URAIAN	Nilai Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	80	25
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan konstruksi di bawah Tanah	80	25
Pelat, balok, kolom dan dinding	100	25
Perkerasan jalan	80	25
Pembetonan missal	50	25

Sumber : Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992

2.9 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah tabel rangkuman penelitian mengenai Beton Porous (Beton Berpori) berdasarkan file yang Anda unggah. Tabel ini membandingkan material, metode, dan hasil utama dari setiap penelitian.

Ringkasan dari penelitian-penelitian relevan yang menjadi rujukan utama dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 9 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti & Tahun	Judul / Topik	Material & Variabel Utama	Benda Uji	Hasil Utama (Kuat Tekan / Permeabilitas / Porositas)
1	Ghilman & Walujodjati (2023)	Kuat Lentur & Permeabilitas dengan Agregat Cilopang	Agregat Kasar: 19 mm, 12 mm, 9 mm	Balok (10 x 15 x 60 cm)	• Permeabilitas: Agregat 19 mm memiliki laju resapan tercepat (indikasi 12.31 mm/det) dibanding ukuran lebih kecil.
			Variasi: Ukuran agregat		• Memenuhi standar ACI 522R-10.
2	Santoso et al. (2024)	Analisis Agregat	Agregat Kasar: 20 mm (Gradasi)	Silinder (15 x 30 cm)	• Kuat Tekan (28 hari): Rata-rata 4.092 MPa.
		Bergradasi 20 mm	Fokus: Kuat tekan & Porositas		• Porositas: 13.22% (28 hari).
					• Permeabilitas: 1.17

					mm/s.
3	Febrianto & Wardhono (2016)	Pengaruh Silica Fume pada <i>Porous Concrete Block</i>	Material: Silica Fume (10% - 50%)	Paving Block (21 x 10.5 x 8 cm) & Silinder	• Komposisi Optimum: Silica Fume 10%.
			Aplikasi: Paving Block		• Kuat Tekan: 20.40 MPa (masuk mutu parkir).
					• Permeabilitas: 0.29 cm/det.
					• Porositas: 15.50%.
4	Simanjuntak & Tampubolon (2022)	Pengaruh Variasi Agregat Kasar	Agregat Kasar: 12.5 mm dan 6.7 mm	Silinder (80 x 160 mm)	• Kuat Tekan: 13.26 MPa.
			FAS: 0.35		• Permeabilitas: Laju aliran debit air dinilai cukup baik (0.087 m ³ /s atau aliran stabil).
5	Andriansyah & Walujodjati (2023)	Pengaruh <i>Superplasticizer</i>	Admixture: Superplasticizer	Silinder (15 x 30 cm)	• Kuat Tekan Tertinggi (28 hari): 8.01 MPa (Agregat 9.5 mm + Superplasticizer).
			Agregat: 19, 12.5, 9.5 mm		• Efek: Penambahan superplasticizer meningkatkan kuat tekan dibandingkan beton porous normal.

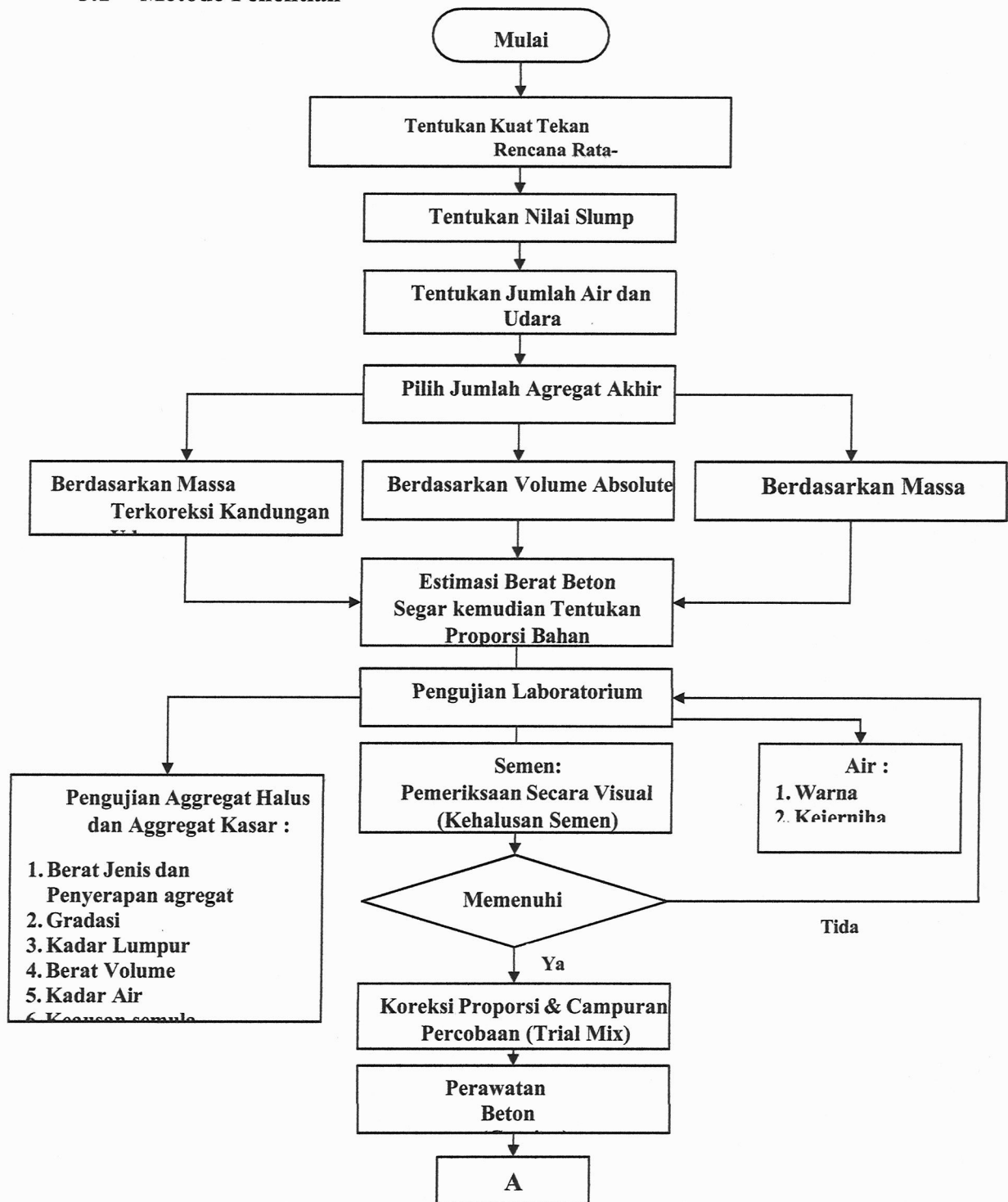
Ringkasan Temuan:

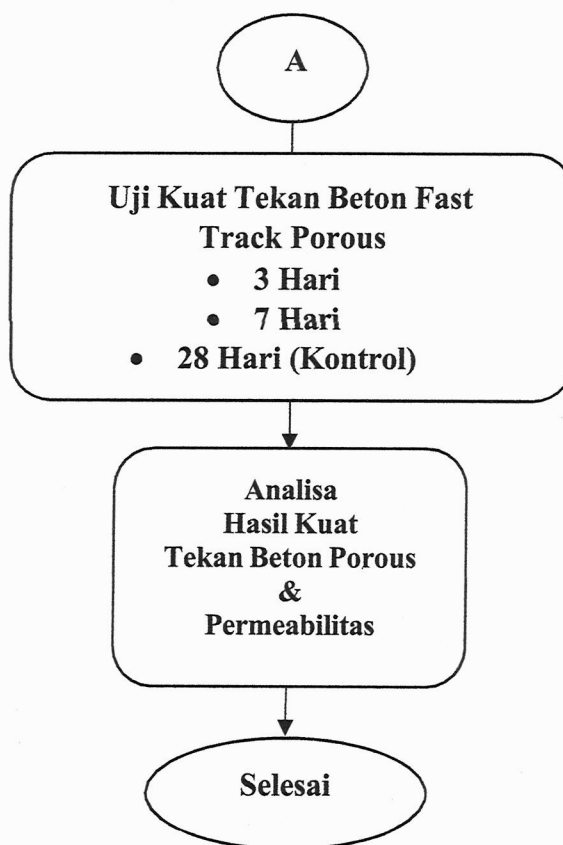
- **Kuat Tekan vs Permeabilitas:** Secara umum, beton porous dengan agregat lebih kecil (misal 9.5 mm) atau dengan bahan tambah (*admixture*) seperti Silica Fume/Superplasticizer cenderung memiliki **kuat tekan lebih tinggi**, namun porositas/permeabilitasnya bisa sedikit menurun.
- **Material Tambahan:** Penggunaan **Silica Fume** (hingga 10%) dan **Superplasticizer** terbukti efektif meningkatkan kekuatan beton porous yang biasanya rendah.
- **Aplikasi:** Kuat tekan yang dihasilkan bervariasi dari **4 MPa hingga 20 MPa**, yang menunjukkan beton porous dari studi ini cocok untuk perkerasan *non- struktural* seperti area parkir, trotoar, atau taman

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian





Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan Tabel 3. 1 Rencana Benda Uji Kuat Tekan

No.	Kode Benda Uji	Ukuran Batu sungai		Additive	Admixture	Uji Kuat Tekan			Jumlah Total Sampel
		1,5 cm	2,5 cm	Consol N11 LN	Silicafume	3 Hari	7 Hari	28 Hari	
1	B1 Batu Sungai	25%	75%	0,9%	5%	3	3	3	9
2	B2 Batu Sungai	50%	50%	0,9%	5%	3	3	3	9
3	B3 Batu Sungai	75%	25%	0,9%	5%	3	3	3	9
						9	9	9	27

Keterangan :

B1 Batu Sungai : Komposisi Agregat Kasar Batu sungai ukuran 1,5 cm 25%.

Perbandingan Agregat Kasar Batu Sungai ukuran 2,5 cm 75%

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

Penggunaan Admixture (Silicafume) 5%.

- B2 Batu Sungai :** Komposisi Anggregat Kasar Batu Sungai ukuran 1,5 cm 50%.
 Perbandingan Anggregat Kasar Batu Sungai ukuran 2,5 cm 50%
 Penggunaan Additive Type G (Consol N11 LN) 0,9%.
 Penggunaan Admixture (Sillicafume) 5%.
- B3 Batu Sungai :** Komposisi Anggregat Kasar Batu Sungai ukuran 1,5 cm 75%.
 Perbandingan Anggregat Kasar Batu Sungai 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 aggregat kasar batu sungai, 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

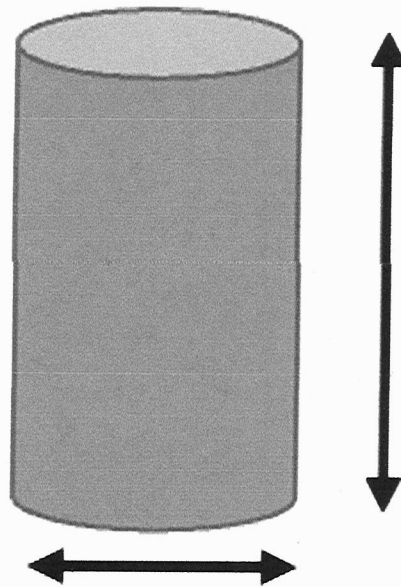
Benda uji yang akan digunakan adalah cetakan berbentuk Silinder

dengan ukuran 150x300 mm.

Volume silinder = $0,25 \times 3.14 \times 15 \times 15 \times 30 = 0.005298 \text{ m}^3$

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

Bahan baku yang digunakan untuk sampel beton pada penelitian ini adalah

1. Semen *Portland* (PC)

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), khususnya yang merujuk pada standar utama untuk Semen Portland (SNI 15-2049-2004 atau revisinya SNI 2049:2015). Semen yang dipakai adalah Tipe I semen (PC) Tiga Roda. Kemasan 50 kg.

Gambar 3. 3 Semen



Sumber: <https://www.blibli.com/p/semen-tiga-roda-tigaroda-1-sak-50-kg-50kg-purwokerto/ps--IBE-70028-04322>

2. Agregat Kasar (Batu Sungai)

Agregat kasar batu sungai (kerikil alami) umumnya berukuran 5-40 mm, berbentuk bulat atau lonjong dengan permukaan halus akibat erosi air. Karakteristik utamanya meliputi ketahanan tinggi terhadap cuaca, berat jenis yang konsisten.

Agregat kasar dengan ukuran kurang lebih 1,5 - 2,5 cm

Gambar 3. 4 Agregat Kasar (Batu Sungai)



Sumber : istockphoto-1446891148-612x612

3. Agregat Halus (Pasir)

Pasir adalah material butiran yang menjadi komponen vital dalam dunia konstruksi maupun dekorasi. Melanjutkan pembahasan Anda sebelumnya mengenai Semen dan Batu Lava, pasir berfungsi sebagai bahan pengisi (filler) atau agregat.

Gambar 3. 5 Agregat Halus (Pasir)

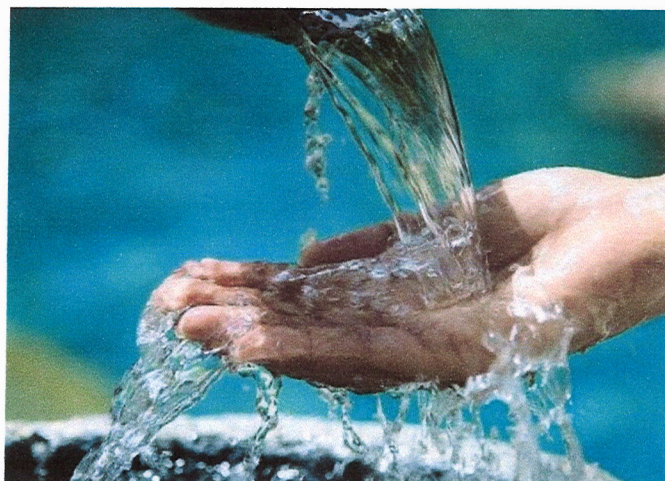


Sumber: <https://labkons.dinaspuvr.kalselprov.go.id/post/detail/pasir-dalam-konstruksi/74>

4. Air

Air yang digunakan berasal dari Labolatorium Bahan dan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung. Secara visual air tampak jernih, tidak berwarna dan tidak berbau.

Gambar 3. 6 Air



Sumber: <https://unnu.com/blog/ciri-ciri-air-bersih-menurut-who>

5. *Concrete Additive (Consol N11 LN)*

Additive yang digunakan berupa bahan kimia cair (*Consol N11 LN*) yang dibeli dari Depo Bangunan Soekarno Hatta.

Gambar 3. 7 Concrete Additive (Consol N11 LN)



Sumber: <https://www.monotaro.id/s044468422.html>

6. *Silica fume*

Silica fume merupakan produk sampingan (by-product) dari produksi logam silikon atau paduan ferrosilikon dalam selubung busur listrik. Bahan ini mempunyai kandungan silika (Si O_2) yang sangat tinggi dengan partikel yang sangat halus (sekitar 100 kali lebih kecil dari partikel semen, sehingga berperan sebagai bahan pozzolan yang sangat efektif dalam campuran beton.

Gambar 3. 8 Silica fume



Sumber : <https://www.axiatek.com/product/sika-fume-p250967.aspx>

3.4.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam proses pembuatan beton adalah

1. Timbangan Saringan / Ayakan
2. Mixer
3. Cetakan Silinder Ukuran 150 x 300 mm
4. Kerucut Abrams, Plat Baja & Tongkat Pemadat
5. Meteran
6. Sendok Semen
7. Oven dengan Pengatur Suhu
8. Palu Karet.

3.5 Standar Pengujian

Penelitian Laboratorium yang dilakukan adalah :

1. Pemeriksaan terhadap sifat-sifat dasar material pembentuk beton, yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus.
2. Pemeriksaan terhadap sifat-sifat beton pada fase plastis, yaitu perubahan nilai slump.
3. 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

Pengujian	Metoda Pengujian
Uji saringan agregat kasar dan halus	ASTM-C136
Uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar	ASTM-C128
Uji berat jenis dan penyerapan agregat halus	ASTM-C128
Uji berat isi tanah	ASTM-29
Metode pengujian slump beton	SNI - 03 - 1972 - 1990

Metode pengujian pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium	SNI - 03 - 2493 - 1991
Pengujian kuat tekan beton	SNI - 03 - 1974 - 1990

3.7 Tahapan Pengujian Material Agregat Kasar

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 laboratorium Universitas Sangga Buana YPKP Bandung. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pengujian material penyusun beton. 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. Benda uji dikeringkan dalam oven 110 ± 5 °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 ± 5 °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 untuk menampung 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. Goyangkan 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. keluarkan benda uji keluarkan 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 diaduk dan dienggokan menyerupai bukit berbentuk lingkaran. Lingkaran ini dibagi empat, dua bagian yang berhadapan dicampur dan yang lainnya dipisahkan. Pekerjaan ini dilakukan beberapa kali sehingga didapatkan jumlah contoh yang cukup untuk percobaan bobot isi padat dan gembur agregat kasar dan agregat halus.

2. Cara *Riffle Sample*

Contoh agregat diaduk dan dimasukkan kedalam *Riffle Sampler*, dimana alat ini dengan sendirinya membagi contoh agregat menjadi dua bagian. Terhadap salah satu bagian dilakukan pemisahan dengan *Riffle Sampler* lagi. Pekerjaan ini dilakukan sehingga dicapai jumlah contoh yang cukup

untuk percobaan bobot isi padat dan gembur 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 cetakann dengan alat perata
- d. Timbang berat cetakan + isi = W_{cac}
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 tersebur $\pm 1/2$ 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. 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

- i. Nilai bahan lolos

- ii. Dimana

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

- iii. $W1$ = Berat benda uji sebelum dicuci kering oven (Gr)

- iv. $W2$ = 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 kurang lebih 15 menit, kemudian mesin dimatikan dan biarkan selama 5 menit untuk pengendapan debu-debu di dalamnya.
- e. Pisahkan beda 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 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. Pengukur suhu dengan keterlitian pembacaan 1°C
- i. Bejana tempat air
- j. Pompa *vacum* (hampa udara) atau tungku
- k. Desikator

2. Bahan

- a. Agregat halus

3. Prosedur Pengujian

- a. Keadaan berat benda uji tidak akan berubah lebih dari 0,1 % selama 3kali penimbangan dan pemanasan dalam oven selama 2 jam berturut-

- turut. Setelah dingin pada suhu ruang, benda uji direndam dalam air selama 24 jam (plus atau minus empat 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 permukaan menjadi kering, masukkan 500 gram bahan uji ke dalam piknometer dan tambahkan air suling sampai isi piknometer mencapai 90%. Putar piknometer sampai tidak ada gelembung udara lagi. Untuk mempercepat proses ini, gunakan pompa hampa udara, tetapi pastikan tidak ada air yang terhisap. Cara lain untuk melakukannya adalah dengan merebus piknometer. Rendam piknometer dalam air dan ukuran suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25°C
 - e. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas
 - f. Timbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (**Bt**).
 - g. Keluarkan benda uji keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5^{\circ}\text{C})$ sampai berat tetap , kemudian dinginkan benda uji dalam desikator
 - h. Setelah benda uji dingin kemudian timbanglah (**Bk**).
 - i. 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 :

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

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

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

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

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

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

- 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.

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 menyamakan 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 :

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

$$Id = \frac{(r \times 100)}{(100 + w)}$$

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)

Tahapan Pembuatan Benda Uji

Tahapan Penimbangan Material

5. Alat
 - a. Timbangan
 - b. Ember atau Wadah untuk bahan
6. Bahan
 - a. Agregat Kasar
 - b. Agregat Halus
 - c. Semen
 - d. Silica fume
 - e. Air
 - f. *Additive Concrete (SikaViscocrete)*

7. Tahapan

Menimbang semua material yang digunakan dalam pembuatan beton sesuai dengan desain campuran dan menghitung bahan-bahan tersebut agar sesuai dengan yang dibuat. Timbangan digital digunakan dalam proses pembuatan benda uji. Pemakaian timbangan digital dapat mengurangi kesalahan dan mengoptimalkan waktu. Nilai yang terlihat pada timbangan digital hampir tepat dalam pengukuran

bahan

3.9.2 Tahapan Pengadukan Beton Segar

Alat:

1. Alas Baja
2. Sekop
3. Pacul
4. Ember
5. Bahan
6. Agregat asar

7. Agregat Halus
8. Semen
9. Silica Fume
10. Air
11. *Additive Concrete (Sika Viscocrete)*

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

1. Siapkan agregat-agregat yang akan diaduk.
2. Terlebih dahulu, masukan agregat halus dan semen dan memutar mesin pengaduk.
3. Masukan agregat kasar dan putar kembali sampai campuran merata
4. Masukan air sedikit demi sedikit sampai 50% air yang akan dimasukan dan putar mesin pengaduk dengan tenaga mesin.
5. 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
2. Kerucut Abrams
3. Batang penusuk berdiameter 16 mm, panjang 600 dan memiliki ujung berbentuk bola. Biasanya terbuat dari besi
4. Penggaris atau alat ukur kerucut abram
5. Plat baja untuk alat test slump
6. Bahan
7. Adukan beton

Tahapan :

1. Menyediakan alat-alat slump test. Kemudian menuangkan beton segar kedalam cetakan kerucut sebanyak $\frac{1}{3}$ dari tinggi kerucut tersebut.
2. Kemudian melakukan pemadatan dengan cara ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali tusukan. Lakukan kembali pemasukan beton segar kemudian ditusuk-tusuk lagi. Lakukan sampai cetakan kerucut penuh.
3. Setelah penuh beton diratakan bagian atasnya, dan angkat tabung kerucut secara vertikal tanpa adanya gerakan horizontal. Dengan waktu tidak lebih dari $5 \pm$ detik.
4. Kemudian letakan tabung kerucut disamping beton yang tumpah dan penusuk tepat diatasnya.
5. 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.
6. Selesaikan seluruh proses dari awal hingga akhir dengan waktu kurang dari 2,5 menit.

3.8.5 Tahapan Pemeriksaan Berat Isi Beton

Alat :

1. Timbangan dengan ketelitian 0,3% dari agregat.
2. Batang penusuk berdiameter 16 mm, panjang 600 mm dan memiliki ujung berbentuk bola.
3. Alat perata.
4. Palu karet.
5. Wadah ukur berbentuk silinder
6. Bahan

7. Adukan beton

Tahapan :

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

3.8.6 Tahapan Penuangan dan Pemadatan Beton Segar

1. Alat
2. Cetakan silinder ukuran 15x30 cm
3. Batang penusuk berdiameter 16 mm, panjang 600 mm dan memiliki ujung berbentuk bola.
4. Alat perata
5. Palu karet
6. Bahan
7. Adukan beton

Tahapan :

1. Masukkan adukan beton kedalam silinder. Masukkan adukan beton sebanyak 3x, $\frac{1}{3}$ dari silinder.
2. Setiap lapisan lakukan penusukan seperti uji slump test sebanyak 25 kali secara merata.
3. 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.

4. Setelah silinder terisi penuh, ratakan permukaannya dan segera bersihkan silinder.

3.10 Tahapan Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji bisa dilakukan dengan perendaman dan juga dapat dengan menutupi beton dengan goni basah atau *geotextile non woven*, namun harus 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, 7 & 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 kuat 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 membuat seimbang antara rongga udara (untuk drainase) dan pasta semen (untuk pengikat).

Berikut adalah panduan 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}) :**

$$\text{Berat Batu } aag = V_{aa}$$

$$\frac{\quad}{S_{gg} \times 1,00}$$

$$V_{agg} = \frac{1,600}{2,65 \times 1,00} = \frac{1600}{2,650}$$

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

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 (S_{Gsgg}) : 2.65
 - c. Binder (Bahan Pengikat):
 - Semen (90%): Berat Jenis (S_{Gc}) = 3.15
 - Silica Fume (10%): Berat Jenis (S_{Gsf}) = 2.20
 - d. Air (Water):

- Rasio w/b : 0.30
- Berat Jenis (SGw) : 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}) :

$$V_{agg} = \frac{\text{Berat Batu}}{SG_{agg} \times 1,00}$$

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

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

3. Menentukan Jatah Volume Pasta

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

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

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

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 :

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

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

Masukkan Angka Berat Jenis:

$$\begin{aligned} & 0,9 B \quad 0,10 B \quad 0,30 B \\ & \underline{0,1962 = (3150) + (2200) + (1000)} \\ & 0,1962 = (0,0002857 B) + (0,0000455 B) + (0,0003000 B) \end{aligned}$$

Jumlahkan Koefisien :

$$\begin{aligned} 0,1962 &= 0,0006321 B \\ \hline 0,1962 & \end{aligned}$$

$$B = 0,0006312$$

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

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 $\left(\frac{\text{Berat}}{SG \times 1000} \right)$	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	1,600	1,600 / 2,650	0.6038
Rongga Udara	-	Target Desain	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 Sungai** : 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 bahan dan campuran beton porous berfokus pada keseimbangan antara kemampuan drainase dan kekuatan struktural. Berbeda dengan beton konvensional, tahap awal pengujian menekankan pada pemilihan agregat kasar dengan gradasi seragam untuk menciptakan volume pori yang optimal, biasanya berkisar antara 15% hingga 25%. Dalam kondisi segar, beton ini tidak diuji dengan slump test biasa melainkan melalui pengujian berat isi dan pengamatan visual untuk memastikan pasta semen menyelimuti agregat tanpa menyumbat rongga. Setelah mengeras, pengujian permeabilitas menjadi parameter paling krusial menggunakan metode falling head atau constant head untuk mengukur kecepatan infiltrasi air. Meskipun memiliki kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan beton normal (umumnya 2,8 hingga 28 MPa), pengujian mekanis tetap dilakukan guna memastikan kelayakan beton dalam menahan beban lalu lintas ringan seperti pada trotoar atau area parkir ramah lingkungan.

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. 5 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

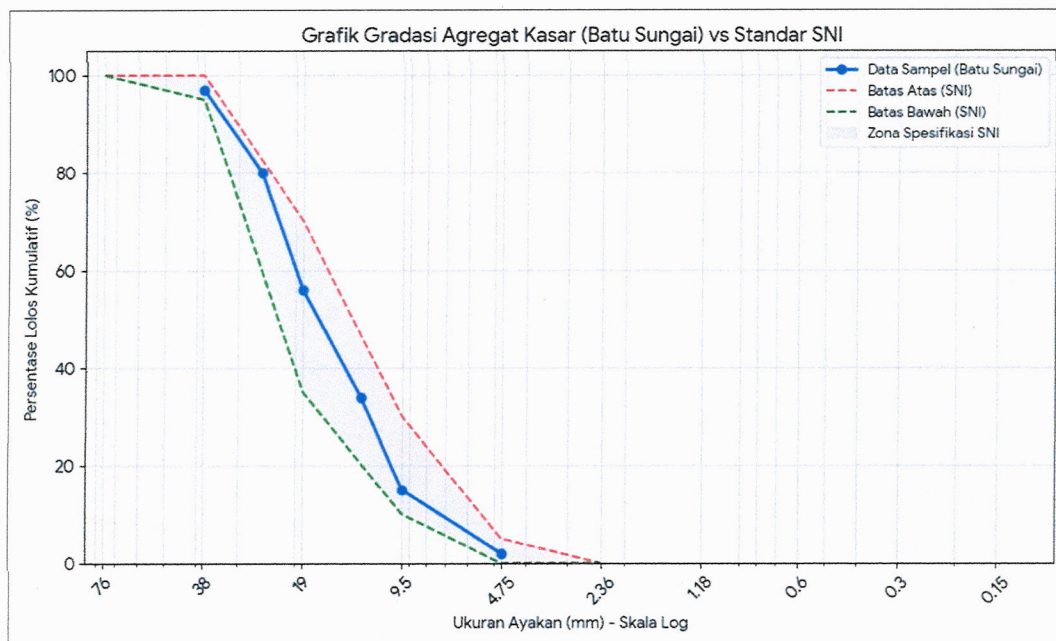
Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar meliputi pengujian analisa saringan, berat jenis, penyerapan, berat isi. Kualitas dari agregat kasar ini akan menentukan karakteristik kuat tekan beton yang dibuat.

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. 6 Hasil Pengujian Saringan Agregat Kasar

No. Saringan (Inch)	Ukuran Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Persen Tertahan (%)	Persen Tertahan Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
3"	76.2	0	0	0	100
2"	50.8	0	0	0	100
1 1/2"	38.1	150	3	3	97
1"	25.4	850	17	20	80
3/4"	19	1200	24	44	56
1/2"	12.7	1100	22	66	34
3/8"	9.5	950	19	85	15
No. 4	4.75	650	13	98	2
Pan	-	100	2	100	0
Total		5000	100		



Gambar 4. 1 Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisis saringan pada 5000 gram sampel batu sungai menunjukkan bahwa agregat kasar ini memiliki pembagian gradasi yang sangat konsisten dan ideal. Sebagian besar fraksi agregat ditemukan tertahan pada saringan berukuran 19 mm ($3/4"$) hingga 12.7 mm ($1/2"$), membuktikan bahwa material ini didominasi oleh ukuran butir sedang yang cocok untuk campuran beton struktural. Selain itu, perhitungan fisis menghasilkan nilai Modulus Kehalusan (Fineness Modulus) sebesar 7.30, sebuah capaian yang berada di dalam koridor standar mutu agregat kasar, yaitu antara 6.0 hingga 8.0. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Metode pengujian ini sesuai dengan standar **SNI 03-1969-1990**, "Metoda Pengujian BJ dan Penyerapan Air Agregat Kasar". Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat agregat kasar jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry-SSD*) dengan berat air suling yang volumenya sama dengan volume agregat kasar dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

No.	Deskripsi Pengujian	Simbol	Satuan	Sampel I	Sampel II	Rata-rata
1	Berat Benda Uji Kering Oven	Bk	gr	2000	2000	2000
2	Berat Benda Uji Kering Permukaan (SSD)	Bj	gr	2045.5	2048.2	2046.85
3	Berat Benda Uji Dalam Air	Ba	gr	1280.4	1282.1	1281.25
A	Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Gsb	-	2.61	2.61	2.61
B	Berat Jenis SSD (Bulk SSD SG)	Gssd	-	2.67	2.67	2.67
C	Berat Jenis Semu (Apparent SG)	Gsa	-	2.78	2.78	2.78
D	Penyerapan Air (Absorption)	Sw	%	2.28	2.41	2.34

1. **Berat Jenis (Specific Gravity):** Biasanya untuk batu sungai berkisar antara **2.5 hingga 2.7**. Jika nilai di bawah 2.5, agregat mungkin terlalu berpori atau kurang padat.
2. **Penyerapan Air (Absorption):** Untuk agregat kasar yang baik, nilai penyerapan air idealnya di bawah **3%**. Nilai yang terlalu tinggi menunjukkan batu sungai tersebut sangat berpori, yang dapat melemahkan kekuatan beton dan meningkatkan kebutuhan air semen.

4.3.2 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. 8 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

No.	Uraian Pengujian	Simbol	Satuan	Berat Isi Padat	Berat Isi Lepas
1	Berat Wadah/Silinder	W ₁	Kg	5.2	5.2
2	Berat Wadah + Agregat	W ₂	Kg	21.45	19.85
3	Berat Agregat (W ₂ – W ₁)	W _a	Kg	16.25	14.65
4	Volume Wadah	V	Liter (dm ³)	10	10
5	Berat Isi (W_a / V)	γ	Kg/liter	1.625	1.465

Berdasarkan data di atas, didapatkan nilai Berat Isi Padat sebesar 1.625 kg/liter dan Berat Isi Lepas sebesar 1.465 kg/liter. Perbedaan ini menunjukkan adanya pengaruh pemadatan mekanis yang mengurangi ruang kosong (void) antar butiran batu sungai.

Batu sungai yang cenderung memiliki bentuk bulat atau lonjong biasanya memiliki berat isi yang sedikit lebih tinggi dan void yang lebih kecil dibandingkan dengan batu pecah (split) yang bersudut tajam. Angka berat isi ini sangat krusial dalam Mix Design Beton, karena digunakan untuk mengonversi satuan volume agregat menjadi satuan berat dalam proses penimbangan material di lapangan.

4.4 Rencana Campuran Beton

Rencana Campuran Beton yang akan dibuat penelitian ini menggunakan campuran semen, batu sungai, dan pasir sungai. 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. 8 Rencana Jumlah Sample Beton

No	Kode Benda Uji	Ukuran Batu Sungai		Additive	Admixturer	Uji Kuat Tekan			Jumlah Total Sampel
		1,5 cm	2,5 cm			3 Hari	7 Hari	28 Hari	
1	B1 Batu Sungai	25%	75%	0,9%	5%	3	3	3	9
2	B2 Batu Sungai	50%	50%	0,9%	5%	3	3	3	9
3	B3 Batu Sungai	75%	25%	0,9%	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. 9 Hasil Pengujian Bahan

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Satuan	Spesifikasi (Umum)	Keterangan
1	Analisis Saringan				

	- Modulus Kehalusan (FM)	7.3	-	6.0 - 8.0	Memenuhi
	- Ukuran Maksimum	38.1	mm	-	-
2	Berat Jenis (Specific Gravity)				
	- Berat Jenis Curah (Bulk)	2.61	-	Min. 2.5	Memenuhi
	- Berat Jenis SSD	2.67	-	-	-
	- Berat Jenis Semu (Apparent)	2.78	-	-	-
3	Penyerapan Air (Absorption)	2.34	%	Maks. 3.0%	Memenuhi
4	Berat Isi (Bulk Density)				
	- Berat Isi Padat	1.625	kg/L	-	-
	- Berat Isi Lepas	1.465	kg/L	-	-

Untuk mengetahui seberapa banyak kebutuhan bahan material beton yang akan digunakan dalam penelitian ini, sebaiknya dilakukan terlebih dahulu analisa volume kebutuhan semen, pasir, batu sungai dan air. Analisa tersebut dapat dimulai dengan menghitung volume benda uji silinder beton, yaitu : $\frac{1}{4}\pi d^2 \times t = \frac{1}{4} \pi \times 15^2 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 5298 \text{ cm}^3$, 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. 10 Job mix Formula (m3) (Silinder kg)

Pehitungan Rencana Semen					
No	Item Pekerjaan	Standar Deviasi (Sd)	Faktor Keamanan (Fk)	Rencana (Fc)	Satuan
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 N11 LN		2.00%	14.33	Liter

Perhitungan Rencana Agregat Berdasarkan Metode ACI

No	Item Pekerjaan	Kode Benda Uji			Satuan
		B1 B Sungai	B2 B Sungai	B3 B Sungai	
		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 N11 LN	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 2,5 Cm	3.90	2.60	1.30	
	Agregat Kasar 1,5 cm	1.30	2.60	3.90	
Total Berat Benda Uji		10.02	10.02	10.02	Kg

4.6 Pelaksanaan Campuran Beton

Pelaksanaan campuran beton pada penelitian ini proses pencampuran beton dilaksanakan secara manual menggunakan alat - alat pencampur manual dan dilakukan oleh peneliti sendiri dan juga rekan-rekan mahasiswa sipil lainnya Tujuannya untuk mendapatkan hasil yang optimal. Lamanya waktu pencampuran berkisar antara 5 sampai 15 menit atau sampai adukan beton benar – benar tercampur secara merata. Dari mulai penimbangan bahan pembuat beton, penaburan dan pencampuran bahan, pengujian slump, pengecoran beton hingga pemadatan.



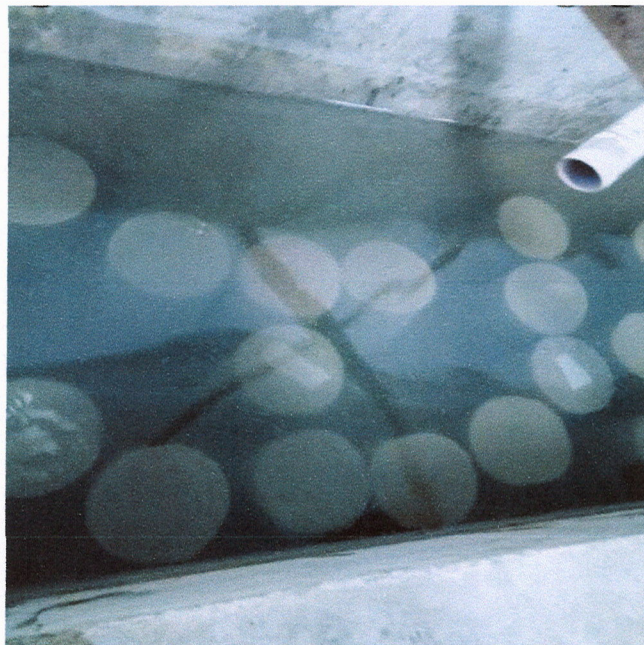
Gambar 4. 1 Pelaksanaan Pembuatan Beton Porous

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).

Proses perawatan beton ini dilakukan dengan tujuan untuk menghindari terjadinya proses hidrasi semen secara berlebihan yang bisa mengakibatkan beton menjadi retak proses hidrasi semen terjadi ketika semen mulai tercampur dengan air sampai menghasilkan pasta yang plastis dan mudah dikerjakan.

Pada proses pengerasan semen setelah semen menjadi pasta dikenal dengan waktu pengerasan awal hingga tercapai waktu pengerasan akhir hingga semen benar – benar mengeras dan tidak berubah. Seiring berjalannya waktu proses pengerasan berjalan secara terus menerus hingga diperoleh kekuatan semen yang semakin baik.



Gambar 4. 2 Proses Curing Beton

4.8 Pengujian Berat Sample Kering

Pengujian berat sampel beton kering dilakukan setelah proses perawatan beton atau perendaman dalam air dilakukan sesuai dengan umur beton yang akan di uji. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan beton berat sampel benda uji ditimbang berikut adalah hasil Pengujian berat sampel beton kering pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari.

Tabel 4. 11 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 B Sungai	12.51	2156
2	B2 B Sungai	12.55	2198
3	B3 B Sungai	13.45	2208

Dari data hasil pengujian berat sampel beton kering pada pengujian Kuat Tekan Beton didapat berat sampel beton kering pada masing - masing campuran yaitu 12.51 kg, 12.55 kg, dan 13.45 kg.

4.9 Perhitungan Kuat Kuat Tekan

Untuk menghitung kuat tekan beton dari hasil pembebanan benda uji, bisa digunakan rumuas 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 :

$$\text{Luas penampang} = 1/4\pi d^2 = 1/4\pi \times 15^2 \text{ cm} = 176.71 \text{ cm}^2$$

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 :

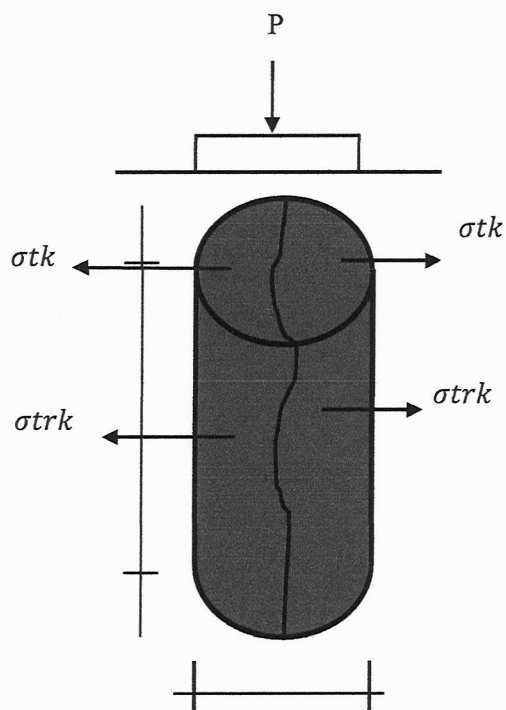
$$F'_c = P/A$$

P = Beban Maksimum

A = Luas Penampang Silinder

$$F'_c = N/cm^2$$

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. 3 Ilustrasi Penyebaran Beban

Tabel 4. 12 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 :

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

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang Silinder} &= 1/4\pi d^2 \\ &= 1/4\pi \times 150^2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 3 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 B Sungai	3 Hari	0.001767	96	95	97	96,00	5,43	5,38	5,49	5,43
2	B2 B Sungai	3 Hari	0.001767	100	100	102	100,67	5,66	5,66	5,77	5,70
3	B3 B Sungai	3 Hari	0.001767	115	110	125	116,67	6,51	6,22	7,07	6,60

Catatan : 1 Mpa = 1000 kN/m²

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

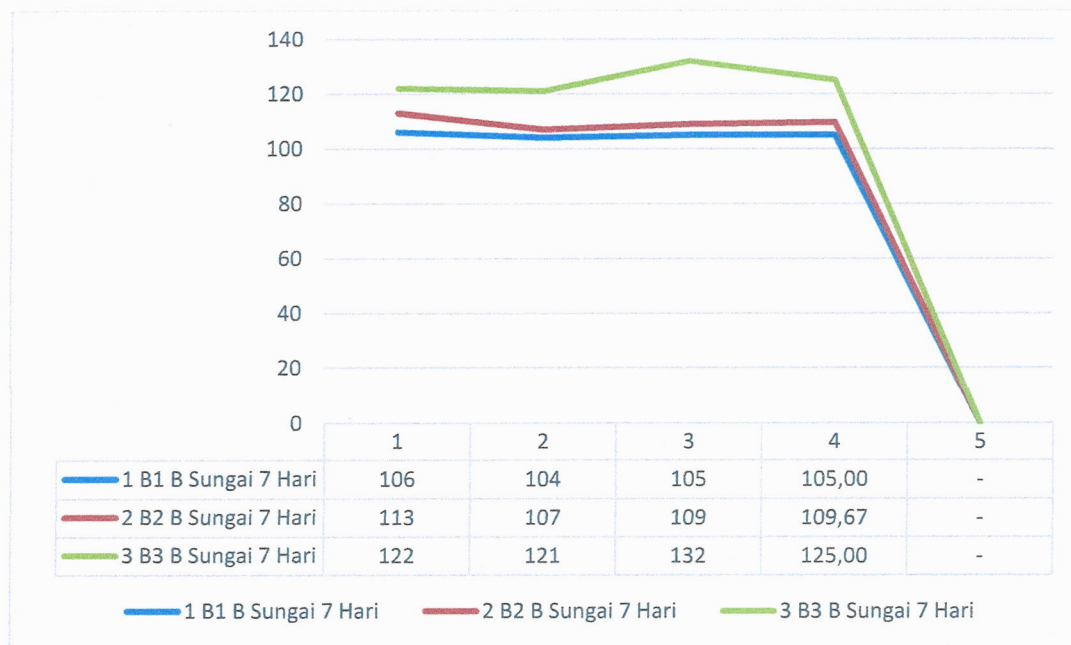


Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 7 Hari

No	Identifikasi benda uji	Umur (Hari)	Beban (kN)			Rata-rata	f 'c (Mpa)			Rata-rata
			I	II	III		I	II	III	
1	B1 B Sungai	7 Hari	106	104	105	105,00	6,00	5,89	5,94	5,94
2	B2 B Sungai	7 Hari	113	107	109	109,67	6,39	6,05	6,17	6,21
3	B3 B Sungai	7 Hari	122	121	132	125,00	6,90	6,85	7,47	7,07

Catatan : 1 Mpa = 1000 kN/m²

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

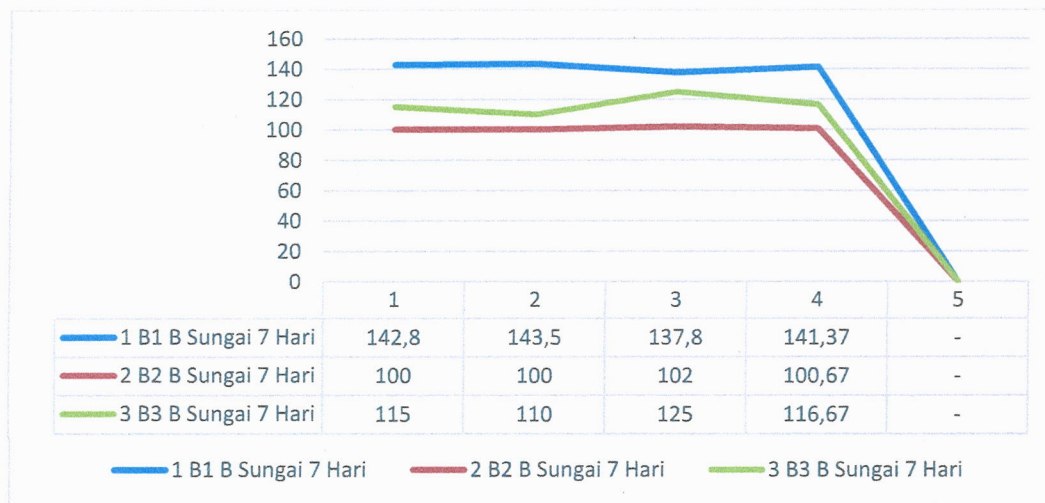


Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Pada Umur 28 Hari

No	Identifikasi benda uji	Umur (Hari)	Beban (kN)			Rata-rata	f 'c (Mpa)			Rata-rata
			I	II	III		I	II	III	
1	B1 B Sungai	7 Hari	142,8	143,5	137,8	141,37	8,08	8,12	7,80	8,00
2	B2 B Sungai	7 Hari	151,2	142,3	148,3	147,27	8,56	8,05	8,39	8,33
3	B3 B Sungai	7 Hari	168,6	165,8	174,3	169,57	9,54	9,38	9,86	9,60

Catatan : 1 Mpa = 1000 kN/m²

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



Berdasarkan grafik hasil pengujian yang disajikan, terlihat adanya korelasi positif antara variasi volume agregat kasar terhadap kekuatan mekanis beton porous pada umur 3 hingga 28 hari. Nilai kuat tekan mengalami kenaikan yang konsisten, dimulai dari variasi B1 umur 3 hari sebesar 5,43 MPa, meningkat menjadi 5,70 MPa pada variasi B2, dan mencapai puncaknya pada variasi B3 dengan nilai sebesar 6,60 MPa. Kemudian pada umur beton 7 hari peningkatan juga mengalami kenaikan yang konsisten sebesar B1 5,94. Kemudian pada B2 meningkat menjadi 6,21. Dan terjadi peningkatan pada B3 sebesar 7,07. Peningkatan Pada umur 28 sebesar B1 8,00, B2 8,33 . Kemudian B3 sebesar 9,60.

Kenaikan nilai tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan proporsi volume agregat kasar yang lebih dominan pada variasi B3 berhasil membentuk struktur internal beton yang lebih solid dalam menahan beban, melebihi variasi lainnya. Secara umum, hasil ini membuktikan bahwa efisiensi volume agregat kasar memegang peran krusial dalam memacu kekuatan awal beton porous, tanpa mereduksi sifat dasarnya yang memiliki kemampuan permeabilitas tinggi.

4.10 Pengujian Pearmeabilitas Beton Porous

Penggunaan Agregat kasar dengan ukuran yang lebih kecil akan meningkatkan kepadatan matriks beton dan menaikkan kuat tekan, akan tetapi konsekuansinya adalah Volume rongga udara berkurang dan menurunkan koefisien pearmeabilitas

pada beton porous. Sebaliknya, agregat yang berukuran besar akan membuat rongga udara lebih besar dan meningkatkan kemampuan permeabilitas, akan tetapi mengurangi kuat tekan beton tersebut.

Sesuai dengan rumus Pengujian Permeabilitas metode Constant head yang tercantum pada Literatur bab II, serta standart koefisien permeabilitas menurut ACI 522R-10 yaitu antara 0,2 cm/ detik hingga 0,55 cm/detik. Berikut adalah usulan visualisasi dan pengujian permeabilitas yang sinkron dan konsisten dengan data kuat tekan.

Langkah-langkah pengujian permeabilitas dengan metode *Falling Head* di laboratorium adalah sebagai berikut:

Ambil sampel silinder beton porous yang telah melewati masa perawatan (*curing*) dan keringkan permukaannya. Lapsi bagian selimut (sisi samping) silinder beton menggunakan solasi/karet secara rapat guna memastikan aliran air hanya bergerak secara vertikal dari atas ke bawah. Kemudian masukkan sampel beton ke dalam tabung aparatus uji, pastikan sambungan antara tabung dan beton kedap air. Lalu Alirkan air ke dalam tabung hingga melewati batas ketinggian awal (h_1) untuk menjenuhkan sampel terlebih dahulu.

Lakukan pencatatan waktu dengan cara dengan langkah langkah membiarkan air mengalir turun. Jalankan *stopwatch* tepat saat muka air menyentuh garis batas awal (h_1) dan hentikan *stopwatch* saat air menyentuh batas akhir (h_2). Lakukan pengujian ini sebanyak 3 kali untuk setiap sampel guna mendapatkan nilai rata-rata yang akurat.

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 Sungai	25% : 75%	0,51	0,45	0,46	0,47	Memenuhi Syarat
2	B2 B Sungai	50% : 50%	0,38	0,34	0,33	0,35	Memenuhi Syarat
3	B3 B Sungai	75% : 25%	0,22	0,21	0,2	0,21	Memenuhi Syarat

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian "Pengaruh Presentase Agregat Kasar Batu Sungai Terhadap Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Fast Track Porous Dengan Penambahan Filler Silica Fume", maka dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Peningkatan Karakteristik Mekanis penambahan Silica Fume sebagai filler terbukti secara efektif meningkatkan kepadatan pasta semen pada zona transisi (ITZ), sehingga memperkuat ikatan antar agregat batu Sungai.
2. Performa Kuat Tekan Awal (Fast Track) hasil pengujian pada umur 3 hari menunjukkan kenaikan kuat tekan yang konsisten seiring dengan bertambahnya persentase agregat kasar tertentu. Variasi B3 mencapai nilai tertinggi sebesar 6,60 MPa, diikuti oleh B2 (5,70 MPa) dan B1 (5,43 MPa).
3. Optimalisasi Agregat penggunaan agregat batu Sungai dengan tekstur kasar dan bersudut tajam (angular) memberikan stabilitas struktur yang lebih baik melalui mekanisme mechanical interlocking dibandingkan agregat bulat.
4. Efektivitas Bahan Tambah penggunaan superplasticizer (Consol N11 LN) sangat krusial dalam menjaga workability beton porous pada FAS rendah (0,30), sehingga campuran tetap homogen dan mudah dipadatkan tanpa mengalami penyumbatan pori (clogging) akibat pasta yang terlalu encer.
5. Kesesuaian Standar karakteristik material penyusun, termasuk semen portland tipe I dan agregat kasar batu sungai, telah memenuhi spesifikasi teknis SNI dan ASTM yang dipersyaratkan untuk pembuatan beton.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dan penyempurnaan aplikasi beton porous di lapangan, penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Variasi Kadar Silica Fume perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi persentase Silica Fume yang lebih luas (misalnya 7,5% atau 10%) untuk menemukan titik optimum di mana kuat tekan meningkat maksimal tanpa menurunkan nilai permeabilitas secara drastis.

2. Pengujian Permeabilitas Lanjutan disarankan untuk melakukan uji permeabilitas secara eksperimental menggunakan metode falling head pada seluruh sampel untuk memvalidasi apakah peningkatan kuat tekan pada variasi B3 tetap menjaga laju infiltrasi air sesuai standar ACI 522R-10.
3. Uji Durabilitas mengingat aplikasi beton ini untuk area perkerasan, penelitian selanjutnya sebaiknya mencakup uji abrasi (ketahanan aus) dan uji kuat lentur untuk memastikan ketahanan beton terhadap gesekan roda kendaraan.
4. Kontrol Suhu Perawatan mengingat penggunaan Silica Fume meningkatkan panas hidrasi, disarankan untuk lebih memperketat kontrol suhu selama proses curing (perawatan) guna meminimalisir risiko retak rambut pada permukaan beton.
5. Penggunaan Serat (Fiber) mempertimbangkan penambahan serat (misal: polypropylene) untuk meningkatkan daktilitas beton porous yang cenderung getas karena tingginya volume rongga udara.

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 Substitusi 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 Silica Fume terhadap Kuat Tekan Beton Porous.
- Simanjuntak & Tampubolon.** (2022). Pengaruh Variasi Agregat Kasar pada Beton Porous.

Surat Keterangan Cek Plagiarisme

Nomor: 189/VI/SKCP/USB-YPKP/2026

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 : Meti Meilani

NPM : 2112241127

Program Studi : S1 Teknik Sipil

Judul Karya Tulis Ilmiah : "PENGARUH PRESENTASE AGREGAT KASAR BATU SUNGAI TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS BETON FAST TRACK POROUS DENGAN PENAMBAHAN FILLER SILICA FUME"

Tanggal Cek Turnitin : 25 June 2026

Status : Lulus dengan **21% Similaraty 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, 25 June 2026

Kepala Pustakalaya



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

NIP. 432.200.173