TUGAS AKHIR

PENGARUH VARIASI PERSENTASE ABU BATU APUNG TERHADAP SIFAT-SIFAT BETON PORI

(Studi Penelitian)

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh:

ZIBRAN

2207210114

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama	: Zibran
Npm	: 2207210114
Program Studi	: Teknik Sipil
Judul Skripsi	: Pengaruh Variasi Persentase Abu Batu Apung Terhadap Sifat-Sifat Beton Pori
Bidang Ilmu	: Struktur

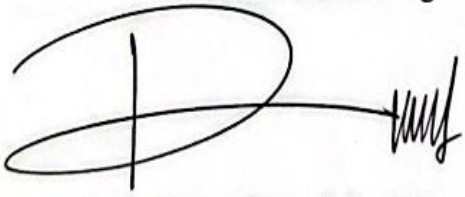
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

DISETUJUI DISAMPAIKAN
KEPADA PANITIA UJIAN
SKRIPSI

Medan, 21 Agustus 2026

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Fetra Venny Riza, S.T., MSc., Ph.D.

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

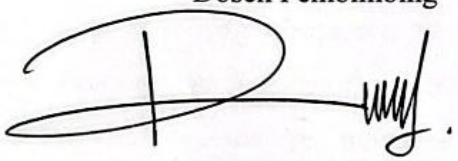
Nama	: Zibran
Npm	: 2207210114
Program Studi	: Teknik Sipil
Judul Skripsi	: Pengaruh Variasi Persentase Abu Batu Apung Terhadap Sifat-Sifat Beton Pori
Bidang Ilmu	: Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 Agustus 2026

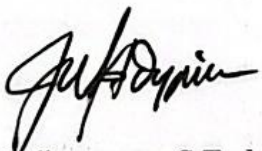
Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Fetra Venny Riza, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembanding I



Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembanding II



Rizki Efrida, S.T, M.T

Ketua Prodi Teknik Sipil



Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D.

LEMBAR PENGESAHAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama	: Zibran
Tempat, Tanggal Lahir	: Medan, 21 Juni 2005
Npm	: 2207210114
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sejujur-jujurnya bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul **"Pengaruh Variasi Persentase Abu Batu Apung terhadap Sifat-Sifat Beton Pori (Studi Penelitian)"**

Bukan merupakan hasil plagiarisme, bukan hasil pengambilan karya milik orang lain, serta bukan pula hasil pekerjaan pihak lain yang saya klaim sebagai karya sendiri,. Tugas Akhir ini sepenuhnya merupakan hasil pemikiran, penelitian, dan penulisan saya sendiri secara asli dan autentik.

Apabila di kemudian hari ditemukan adanya indikasi ketidaksesuaian antara pernyataan ini dengan kondisi yang sebenarnya, saya bersedia untuk diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, serta menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku, termasuk sanksi paling berat berupa pembatalan kelulusan atau pencabutan gelar kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran tanpa adanya tekanan maupun paksaan dari pihak mana pun, sebagai bentuk komitmen saya dalam menjunjung tinggi integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan 21 Agustus 2026

Saya yang menyatakan



Zibran

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI PERSENTASE ABU BATU APUNG TERHADAP SIFAT-SIFAT BETON PORI

Zibran
2207210114
Fetra Veny Riza, S.T., M.Sc., Ph.D.

Banjir yang sering terjadi di berbagai wilayah Indonesia mendorong pengembangan material konstruksi yang mampu meningkatkan kemampuan resapan air, salah satunya beton pori. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi persentase abu batu apung sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan, porositas, dan permeabilitas beton pori. Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan variasi kadar abu batu apung sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Perencanaan campuran beton mengacu pada ACI 522R-10, pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 1974:2011, sedangkan pengujian porositas dan permeabilitas mengacu pada ACI 522R-10.Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton pori normal sebesar 4,25 MPa. Penambahan abu batu apung meningkatkan kuat tekan menjadi 4,26 MPa (+0,24%), 4,30 MPa (+1,18%), dan 4,60 MPa (+8,24%) dibandingkan beton pori normal. Nilai porositas beton pori normal sebesar 20,06%, kemudian menurun menjadi 19,81% (-1,25%), 19,53% (-2,64%), dan 19,31% (-3,74%) pada variasi abu batu apung 5%, 10%, dan 15%. Sementara itu, nilai permeabilitas beton pori normal sebesar 0,48 cm/s, kemudian menurun menjadi 0,44 cm/s (-8,33%), 0,41 cm/s (-14,58%), dan 0,39 cm/s (-18,75%) pada variasi 5%, 10%, dan 15%.Penambahan abu batu apung menyebabkan nilai porositas dan permeabilitas mengalami sedikit penurunan, namun beton pori masih memiliki kemampuan meloloskan air dengan baik. Variasi abu batu apung sebesar 15% memberikan hasil terbaik karena mampu meningkatkan kuat tekan sekaligus mempertahankan kemampuan resapan air beton pori, sehingga berpotensi digunakan sebagai substitusi sebagian semen pada campuran beton pori.

Kata kunci: beton pori, abu batu apung, kuat tekan, porositas, permeabilitas.

ABSTRACT

Effect of Pumice Ash Percentage Variation on the Properties of Pervious Concrete

Zibran
2207210114
Fetra Veny Riza, S.T., M.Sc., Ph.D.

Frequent flooding in various regions of Indonesia has encouraged the development of construction materials capable of improving water infiltration capacity, one of which is pervious concrete. This study aimed to analyze the effect of varying percentages of pumice ash as a partial cement substitute on the compressive strength, porosity, and permeability of pervious concrete. The research was conducted experimentally in the laboratory using pumice ash variations of 0%, 5%, 10%, and 15% by weight of cement. The concrete mix design referred to ACI 522R-10, the compressive strength test referred to SNI 1974:2011, while the porosity and permeability tests referred to ACI 522R-10.The results showed that the compressive strength of normal pervious concrete was 4.25 MPa. The addition of pumice ash increased the compressive strength to 4.26 MPa (+0.24%), 4.30 MPa (+1.18%), and 4.60 MPa (+8.24%) compared to normal pervious concrete. The porosity value of normal pervious concrete was 20.06%, which decreased to 19.81% (-1.25%), 19.53% (-2.64%), and 19.31% (-3.74%) with pumice ash variations of 5%, 10%, and 15%, respectively. Meanwhile, the permeability value of normal pervious concrete was 0.48 cm/s, which decreased to 0.44 cm/s (-8.33%), 0.41 cm/s (-14.58%), and 0.39 cm/s (-18.75%) for the 5%, 10%, and 15% variations, respectively.The addition of pumice ash caused a slight decrease in porosity and permeability values; however, the pervious concrete still maintained good water infiltration capability. The 15% pumice ash variation provided the best performance because it was able to improve compressive strength while maintaining the water infiltration capacity of pervious concrete. Therefore, pumice ash has the potential to be used as a partial substitute for cement in pervious concrete mixtures.

Keywords: pervious concrete, pumice ash, compressive strength, porosity, permeability.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr.wb

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul "Pengaruh Variasi Persentase Abu Batu Apung Terhadap Sifat-Sifat Beton Pori" sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan dan bantuan, sehingga dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada:

1. Ibu Fetra Veny Riza, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing dan sekaligus Dosen di bidang Studi Teknik Sipil yang telah banyak membimbing dan mengarahkan dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Josef Hadipramana ST,M.Sc, Ph.D selaku Dosen Pembanding I dan Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membantu dan memberi saran demi kelancaran proses penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rizki Efrida, S.T, M.T selaku Dosen Pembanding II dan sekaligus sekretaris Program Studi Teknik Sipil yang telah banyak membantu dan memberi saran demi kelancaran proses penulisan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Assoc. Prof. Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmunya kepada penulis.

6. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Teristimewa kepada Ayahanda saya Masriadi dan Ibunda saya Yuliawati terima kasih untuk semua dukungan serta kasih sayang dan semangat penuh cinta yang tidak pernah ternilai harganya, dan telah bersusah payah membesarkan serta doa – doa yang tidak pernah putus hingga detik ini.
8. Kakak saya Alia Miranti yang telah memberikan doa dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Pasangan saya Najwa Putri Iskandar yang selalu memberikan doa dan dukungan, serta semangat yang telah di berikan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
10. Semua teman-teman Mahasiswa/i Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara stambuk 2022 yang telah membantu.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Medan, 21 Agustus 2026



Zibran

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING i

LEMBAR PENGESAHAN iii

LEMBAR PENGESAHAN KEASLIAN TUGAS AKHIR iv

ABSTRAK v

ABSTRACT vi

KATA PENGANTAR vii

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xii

DAFTAR GAMBAR xiii

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Ruang Lingkup Penelitian 3

1.4 Tujuan Penelitian 4

1.5 Manfaat Penelitian 4

1.6 Sistematika Penulisan 5

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 6

2.1 Beton Pori 6

2.2 Material Penyusun Beton Pori 8

2.2.1 Semen 8

2.2.2 Air 8

2.2.3 Agregat Kasar 10

2.3 Abu Batu Apung 11

2.4 Kuat Tekan 13

2.4 Porositas 14
2.5 Permeabilitas 16
2.6 Pengujian Slump pada Beton Berpori 17
BAB 3 METODE PENELITIAN 18
3.1 Bagan Alir 18
3.2 Sumber-Sumber Dalam Penelitian 20
3.3 Tempat Dan Waktu Peneletian 21
3.4 Alat Dan Bahan 21
3.4.1 Alat 21
3.4.2 Bahan 30
3.5 Pemerikasaan Bahan 33
3.5.1 Pemeriksaan Agregat Kasar 33
3.5.2 Pemeriksaan Abu Batu Apung 35
3.6 Pembuatan Beton Pori 35
3.7 Perawatan (Curing) 37
3.8 Mix Desain 38
3.9 Takaran Mix Desain 39
3.9.1 Cetakan Kubus 39
3.9.2 Cetakan Silinder 40
3.9.3 Perhitungan Dasar Mix Desain 41
3.10 Pengujian Beton Pori 42
3.10.1 Kuat Tekan 42
3.10.2 Porositas 42
3.10.3 Permeabilitas 43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 44
4.1 Pemeriksaan Agregat Kasar 44

4.1.1 Analisa Saringan 44
4.1.2 Berat Jenis 46
4.1.4 Kadar Air 46
4.2 Pemeriksaan Abu Batu Apung 47
4.3 Hasil Dan Pengujian Beton Pori 48
4.3.1 Pengujian Kuat Tekan Beton 48
4.3.2 Pengujian Porositas 50
4.3.3 Pengujian Permeabilitas 52
4.3.4 Hubungan Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas 58
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 61
5.1 Kesimpulan 61
5.2 Saran 62
DAFTAR PUSTAKA 63
LAMPIRAN 66

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1: Mix Desain 38
Tabel 4.1: Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar Silinder. 44
Tabel 4.2: Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar Kubus 45
Tabel 4.3: Pemeriksaan Berat Jenis 46
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar 47
Tabel 4.5: Hasil Pengujian Abu Batu Apung 47
Tabel 4.6: Hasil Pengujian Kuat Tekan 48
Tabel 4.7: Hasil Pengujian Porositas 50
Tabel 4.8: Hasil Pengujian Permeabilitas 56
Tabel 4.9: Perbandingan Kuat Tekan ,Porositas,Permeabilitas 58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1: Diagram Alir 19
Gambar 3.2: Timbangan Digital 21
Gambar 3.3: Concrete Mixer 22
Gambar 3.4: Cetakan Benda Uji Berbentuk Silinder 22
Gambar 3.5: Cetakan Benda Uji Berbentuk Kubus 23
Gambar 3.6: Alat Pemadat 23
Gambar 3.7: Bak Perendaman 24
Gambar 3.8: Oven Pengering 24
Gambar 3.9: Mesin Uji Kuat Tekan 25
Gambar 3.10: Sekop 25
Gambar 3.11: Gelas Ukur 26
Gambar 3.12: Sarung Tangan 26
Gambar 3.13: Masker 27
Gambar 3.14: Kercut Abrams 27
Gambar 3.15: Kuas 28
Gambar 3.16: Air 31
Gambar 3.17: Minyak Gemuk 32
Gambar 3.18: Abu Batu Apung 32
Gambar 3.19: Cetakan Kubus 39
Gambar 4.1: Grafik Hasil Nilai Kuat Tekan Rata-Rata 49
Gambar 4.2: Grafik Hasil Nilai Persentase Porositas Rata-Rata 51
Gambar 4.3: Grafik Hasil Nilai Koefisien Permeabilitas Rata - Rata 57
Gambar 4.4: Grafik Perbandingan Kuat Tekan,porositas dan Permeabiltas 59

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir merupakan bencana yang hampir setiap tahun melanda berbagai wilayah di Indonesia dan hingga kini masih menjadi persoalan serius yang sulit diatasi. Secara geografis, Indonesia memiliki curah hujan tinggi sepanjang tahun dengan bentang alam yang beragam, mulai dari pegunungan hingga dataran rendah yang dilalui oleh banyak sungai. Kondisi ini menyebabkan sebagian wilayah sangat rentan terhadap genangan air, terutama ketika diperparah oleh aktivitas manusia seperti berkurangnya daerah resapan air akibat pembangunan permukiman padat, penyempitan saluran air, dan alih fungsi lahan yang tidak terencana. Berdasarkan data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB**)** yang tercantum BNPB, (2025), dilaporkan bahwa pada tahun 2025 diperkirakan jumlah kejadian banjir berada di kisaran 1.500–1.700 kejadian secara nasional. BNPB mencatat bahwa peningkatan intensitas hujan ekstrem dan rendahnya kapasitas drainase perkotaan menjadi penyebab utama terjadinya banjir pada periode tersebut. Fakta ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian air dan drainase di banyak wilayah Indonesia masih belum efektif dalam menghadapi kondisi iklim yang semakin ekstrem.

Beton berpori, atau yang dikenal juga dengan pervious concrete, merupakan salah satu inovasi material konstruksi yang ramah terhadap lingkungan. Jenis beton ini dirancang agar air hujan dapat langsung meresap ke dalam tanah, sehingga mampu meminimalkan genangan di permukaan dan membantu proses penyerapan air tanah secara alami. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Handayani (2023) dijelaskan bahwa struktur beton berpori memiliki ruang-ruang antaragregat yang tidak tertutup sepenuhnya oleh pasta semen. Kondisi ini membuat air lebih mudah melewati permukaan beton tanpa mengorbankan kekuatan tekan secara berarti. Sementara itu, studi yang dilakukan oleh Mayasari (2022) menemukan bahwa penambahan bahan pengganti seperti abu terbang (fly ash) dan serbuk cangkang

kerang darah pada porous paving block mampu meningkatkan kemampuan infiltrasi air sekaligus menjaga kekokohan material. Oleh karena itu, pemanfaatan beton berpori di Indonesia menjadi sangat relevan, bukan hanya sebagai inovasi material konstruksi hijau, tetapi juga sebagai langkah nyata dalam mengurangi risiko banjir dan memperluas area resapan air di wilayah perkotaan.

Abu batu apung merupakan salah satu hasil dari proses vulkanik alami yang mengandung mineral penting seperti silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) dalam kadar cukup tinggi. Kandungan ini membuatnya berpotensi besar digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen karena memiliki sifat pozzolanik yang mampu memperkuat struktur beton. Saat dicampurkan dalam adukan, komponen kimia pada abu batu apung akan bereaksi dengan kalsium hidroksida yang terbentuk selama proses pengerasan semen, menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) yang berperan dalam meningkatkan kekuatan serta kepadatan beton Amenu et al., (2023). Berdasarkan hasil penelitian Elyigit & Ekinci (2025), karakteristik batu apung yang berpori dan ringan membantu memperkuat ikatan antarpartikel pada beton tanpa mengurangi ketahanannya terhadap suhu tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa abu batu apung tidak hanya berguna sebagai bahan pengganti sebagian semen, tetapi juga berfungsi sebagai agregat ringan yang dapat meningkatkan efisiensi termal serta ketahanan beton terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Dengan demikian, penerapan abu batu apung pada beton pori diharapkan dapat memberikan keseimbangan optimal antara kekuatan tekan dan kemampuan menyerap air, sekaligus mendukung pengembangan material bangunan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Lebih lanjut Das dan Juneja (2024) menyebutkan bahwa penelitian mengenai penggunaan batu apung pada beton berpori masih sangat terbatas. Padahal, material ini memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas beton, terutama dalam hal kemampuan menyerap air dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih fokus pada penerapan batu apung pada beton konvensional, bukan pada beton berpori yang memiliki struktur terbuka dan fungsi utama sebagai media resapan air. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang masih perlu ditelusuri lebih jauh untuk mengetahui seberapa besar

pengaruh abu batu apung ketika digunakan sebagai pengganti sebagian semen tanpa menurunkan kekuatan tekan beton secara signifikan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang tersebut, maka permasalahan yang akan dikaji yaitu:

a. Bagaimana pengaruh variasi persentase penggunaan abu batu apung sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton pori?
b. Bagaimana pengaruh variasi persentase penggunaan abu batu apung sebagai bahan pengganti Sebagian semen terhadap porositas dan permeabilitas beton pori?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk memperjelas fokus penelitian serta menghindari pembahasan yang terlalu luas atau keluar dari topik utama, maka diperlukan adanya batasan masalah. Oleh karena itu, ruang lingkup yang akan dikaji oleh penulis dalam tugas akhir ini ditetapkan sebagai berikut.

a. Metode perencanaan campuran beton pori menggunakan acuan (ACI 522R-10, 2010) tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton pori serta penyesuaian karakteristik khusus beton pori.
b. Melakukan variasi campuran beton pori dengan menggunakan abu batu apung sebagai pengganti sebagian semen pada persentase 0%, 5%, 10%, 15% Penggantian dinyatakan sebagai persentase berat terhadap total berat semen.
c. Seluruh proses penelitian dilakukan pada skala laboratorium, mencakup persiapan material, pembuatan benda uji, curing, dan pengujian sifat beton (permeabilitas, porositas, dan kuat tekan).

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pemaparan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

a. Mengetahui pengaruh variasi persentase abu batu apung sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap kekuatan tekan beton pori, sehingga dapat menentukan sejauh mana penggunaan abu batu apung memengaruhi kemampuan beton menahan beban tekan.
b. Menganalisis pengaruh variasi persentase abu batu apung terhadap porositas dan permeabilitas beton pori, guna memahami hubungan antara jumlah abu batu apung yang digunakan dengan kemampuan beton dalam menyerap dan mengalirkan air.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan pemahaman yang lebih jelas mengenai pengaruh penggunaan abu batu apung terhadap sifat-sifat beton pori, khususnya dalam meningkatkan daya serap air dan kekuatan tekan. Selain itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi dan pertimbangan untuk pengembangan beton berpori yang ramah lingkungan dan efisien sebagai solusi pengendalian banjir di wilayah perkotaan. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang teknik sipil dan teknologi bahan konstruksi, khususnya dalam pengembangan beton pori berbasis material alami seperti abu batu apung.
b. Memberikan panduan teknis dan data eksperimental bagi praktisi konstruksi dalam menentukan komposisi campuran beton pori yang ideal, baik dari segi kekuatan maupun kemampuan resapan air.
c. Mendukung upaya pengurangan penggunaan semen yang berdampak terhadap emisi karbon, sekaligus memanfaatkan batu apung sebagai sumber daya lokal yang melimpah. Penerapan beton pori berbahan abu batu apung diharapkan dapat meningkatkan daya serap air tanah dan membantu mengurangi risiko banjir di kawasan perkotaan.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan dalam penelitian ini, maka sistematika penulisan dilakukan dengan membagi tulisan menjadi beberapa bab, antara lain:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori-teori yang berkaitan dengan penjelasan beton pori,serta variasi persentase abu batu apung dengan metode perhitungan yang digunakan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan tentang tahapan penelitian, pelaksanaan penelitian, teknik pengumpulan data, dan metode analisa data.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil pengujian dan analisa data kekuatan tekan,porositas dan permeabilitas beton pori dengan abu batu apung.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bagian akhir dari skripsi yang berisikan kesimpulan dan saran dari hasil pengujian dan analisa data.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Pori

Beton pori adalah jenis beton non struktural yang memiliki celah atau rongga yang saling terhubung, sehingga air dapat mengalir dan meresap langsung ke tanah di bawahnya. Karena sifat ini, beton pori sering dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi yang mendukung sistem drainase ramah lingkungan.Menurut Manan & Utomo (2022) perbandingan antara air dan semen (faktor air-semen atau FAS) berpengaruh besar terhadap karakteristik beton porous. Jika nilai FAS terlalu tinggi, jumlah pori akan meningkat sehingga kekuatan tekan beton berkurang. Sebaliknya, ketika FAS lebih rendah, struktur beton menjadi lebih rapat dan kekuatannya meningkat.Sementara itu, penelitian Nasution (2020) menunjukkan bahwa penambahan bahan seperti zeolit dan penggunaan agregat kasar daur ulang mampu meningkatkan porositas serta daya serap beton, tetapi dapat menurunkan kekuatan tekan jika takaran campurannya tidak diatur dengan tepat. Oleh karena itu, perancangan beton pori memerlukan keseimbangan antara porositas dan kekuatan agar tetap kokoh sekaligus mampu berfungsi efektif dalam sistem drainase berkelanjutan.

Beton pori dikenal sebagai beton dengan rongga-rongga yang saling terhubung sehingga memungkinkan air meresap langsung ke dalam tanah, namun beton pori memiliki kuat tekan tergolong rendah hanya berkisaran 4-5 Mpa ,R. Liu et al., (2020). Struktur pori secara langsung memengaruhi baik daya tahan maupun kekuatan tekan beton, di mana distribusi pori yang homogen dan jarak antar pori yang lebih besar cenderung meningkatkan kekuatan tekan dan ketahanan terhadap beku-cair. dalam artikel Sičáková & Kováč (2020) juga dijelaskan bahwa beton pori terbentuk dari kombinasi pasta semen dan agregat kasar dengan sedikit atau tanpa agregat halus, serta memiliki void macro (rongga besar) sebesar 15–25%, sehingga menghasilkan permeabilitas tinggi dan kemampuan alir air yang baik.

Sementara itu, dalam laporan “Desain Beton Berongga (Porous Concrete) dengan Variasi Faktor Air Semen (FAS)” disebutkan bahwa beton berongga tanpa agregat halus, hanya menggunakan agregat kasar, semen, dan air, menghasilkan porositas sekitar 20–25% dan kuat tekan yang relatif moderat menggambarkan trade-off khas beton pori antara porositas/permeabilitas dan kekuatan mekanis oleh Agus (2022). Selain itu, hasil penelitian dari Gusneli Yanti et al., (2021)mengungkapkan bahwa meningkatnya *void ratio* pada beton berpori berpengaruh terhadap kemampuan beton dalam menyalurkan dan menyerap air. Namun, peningkatan jumlah rongga tersebut juga menyebabkan penurunan pada kekuatan tekan beton. Dengan kata lain, semakin besar ruang kosong di dalam struktur beton, semakin tinggi kemampuan beton dalam meresapkan air, tetapi ketahanan mekaniknya menjadi lebih rendah. Oleh sebab itu, perlu dicapai keseimbangan yang tepat antara porositas dan kekuatan struktur agar beton porous dapat berfungsi optimal sebagai material drainase tanpa kehilangan daya dukungnya terhadap beban.

Beton pori dirancang untuk memiliki sistem rongga yang saling terhubung sehingga memungkinkan air hujan meresap langsung ke dalam tanah. Menurut ACI 522R-10**,** beton pori umumnya dibuat dengan penggunaan agregat kasar bergradasi seragam dan jumlah agregat halus yang sangat sedikit atau bahkan tanpa agregat halus agar terbentuk rongga terbuka yang kontinu. Struktur tersebut memungkinkan air mengalir secara vertikal menuju lapisan tanah di bawahnya sehingga dapat mengurangi limpasan permukaan (surface runoff) dan meningkatkan pengisian kembali air tanah (groundwater recharge)

Selain fungsi hidroliknya, keberadaan rongga udara pada beton pori juga memengaruhi sifat termal dan akustik material. Rongga tersebut dapat mengurangi konduktivitas panas dan membantu meredam sebagian energi suara sehingga beton pori berpotensi digunakan sebagai material perkerasan ramah lingkungan pada kawasan perkotaan Tennis et al., (2004). Dengan demikian, beton pori tidak hanya berfungsi sebagai media drainase, tetapi juga mendukung konsep pembangunan berkelanjutan dan infrastruktur hijau .

2.2 Material Penyusun Beton Pori

Beton pori merupakan salah satu jenis beton yang dirancang memiliki rongga-rongga terbuka sehingga air dapat mengalir melalui lapisan beton. Rongga tersebut terbentuk karena komposisi campuran beton lebih banyak menggunakan agregat kasar dan sangat sedikit atau tanpa penggunaan agregat halus. Menurut Neville (2011), sifat beton sangat dipengaruhi oleh kualitas dan proporsi material penyusunnya, yaitu semen, air, dan agregat. Ketiga material tersebut saling berinteraksi dalam proses pembentukan beton dan menentukan karakteristik beton yang dihasilkan, baik dari segi kekuatan, porositas, maupun permeabilitasnya.

Pada beton pori, pemilihan material penyusun menjadi hal yang sangat penting karena beton tidak hanya dituntut memiliki kekuatan tekan, tetapi juga kemampuan untuk meloloskan air. Oleh sebab itu, setiap material harus memenuhi persyaratan tertentu agar beton pori dapat berfungsi secara optimal sebagai material yang ramah terhadap sistem drainase lingkungan ACI Committee 522, (2010).

2.2.1 Semen

Semen merupakan bahan pengikat hidrolis yang memiliki peranan utama dalam campuran beton. Fungsi utama semen adalah mengikat butiran agregat setelah bereaksi dengan air sehingga terbentuk massa beton yang padat dan memiliki kekuatan tertentu. Mulyono (2004) menjelaskan bahwa semen Portland merupakan jenis semen yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan konstruksi karena memiliki kemampuan mengeras baik di udara maupun di dalam air.

Pada campuran beton pori, semen membentuk pasta semen yang berfungsi melapisi permukaan agregat kasar dan menghubungkan agregat satu dengan lainnya. Pasta semen tersebut menjadi elemen penting yang menentukan kuat atau tidaknya ikatan antaragregat. Apabila jumlah semen terlalu sedikit, lapisan pasta yang terbentuk tidak cukup untuk mengikat agregat secara sempurna sehingga beton mudah mengalami kerusakan atau kehilangan kekuatan tekan. Sebaliknya, penggunaan semen yang terlalu banyak dapat menyebabkan pasta semen mengisi rongga-rongga antaragregat sehingga porositas beton berkurang dan kemampuan beton untuk meloloskan air menjadi menurun Frank , (2020).

Menurut Neville (2021), ketika semen dicampur dengan air akan terjadi reaksi hidrasi yang menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (calcium silicate hydrate atau C-S-H). Senyawa ini merupakan komponen utama yang memberikan kekuatan pada beton. Proses hidrasi berlangsung secara bertahap sehingga kekuatan beton akan meningkat seiring bertambahnya umur perawatan beton.

Selain berfungsi sebagai pengikat, semen juga memengaruhi sifat-sifat lain dari beton pori, seperti kepadatan pasta, daya lekat terhadap agregat, dan ketahanan beton terhadap pengaruh lingkungan. Tjokrodimuljo (2023) menyatakan bahwa kualitas semen yang baik akan menghasilkan pasta semen yang lebih stabil dan mampu meningkatkan performa beton dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pemilihan jenis dan jumlah semen harus disesuaikan dengan kebutuhan campuran agar diperoleh keseimbangan antara kekuatan tekan dan tingkat porositas beton pori.

2.2.2 Air

Air merupakan bahan yang sangat penting dalam campuran beton karena berfungsi memulai proses hidrasi semen. Tanpa adanya air, semen tidak dapat bereaksi dan tidak akan terbentuk pasta semen yang mampu mengikat agregat menjadi satu kesatuan yang kokoh. Selain itu, air juga berfungsi memberikan kemudahan pengerjaan (workability) sehingga campuran beton dapat diaduk, dipindahkan, dan dicetak dengan lebih mudah Tjokrodimuljo, (2022).

Kualitas air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat tertentu. Air sebaiknya bersih dan bebas dari zat-zat yang dapat mengganggu proses hidrasi, seperti minyak, asam, garam, bahan organik, maupun lumpur dalam jumlah berlebihan. Penggunaan air yang tidak memenuhi persyaratan dapat menyebabkan proses pengerasan semen terganggu, menurunkan kekuatan beton, dan mempercepat terjadinya kerusakan pada beton Mulyono, (2004).

Dalam beton pori, jumlah air yang digunakan harus dikontrol secara cermat karena sangat memengaruhi pembentukan rongga-rongga beton. Jika air yang digunakan terlalu sedikit, campuran menjadi kering sehingga pasta semen tidak dapat melapisi seluruh permukaan agregat secara merata. Kondisi ini dapat menyebabkan ikatan antaragregat menjadi lemah dan kuat tekan beton menurun.

Sebaliknya, apabila air digunakan secara berlebihan, pasta semen akan menjadi terlalu encer dan dapat mengalir ke dalam rongga-rongga antaragregat sehingga pori-pori yang seharusnya terbentuk menjadi tertutup Aziz , (2020).

Menurut Jhonson, (2021), perbandingan antara jumlah air dan semen atau water cement ratio merupakan salah satu faktor terpenting yang menentukan kualitas beton. Nilai faktor air-semen yang terlalu tinggi umumnya akan meningkatkan porositas pasta semen dan menurunkan kekuatan beton, sedangkan nilai yang terlalu rendah dapat menyulitkan proses pencampuran dan pemadatan. Oleh karena itu, penggunaan air dalam beton pori harus direncanakan secara tepat agar diperoleh campuran yang mampu memberikan kekuatan yang cukup sekaligus mempertahankan kemampuan permeabilitas beton.

2.2.3 Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan komponen yang menempati proporsi terbesar dalam campuran beton pori dan berfungsi sebagai kerangka utama pembentuk struktur beton. Neville (2011) menyatakan bahwa sebagian besar volume beton terdiri atas agregat sehingga sifat agregat akan sangat memengaruhi sifat beton secara keseluruhan, baik dari segi kekuatan, kekakuan, maupun ketahanannya terhadap beban.

Pada beton pori, agregat kasar memiliki fungsi yang lebih spesifik dibandingkan pada beton normal. Agregat kasar tidak hanya berperan sebagai pengisi volume beton, tetapi juga sebagai pembentuk rongga-rongga terbuka yang memungkinkan air dapat meresap dan mengalir melalui beton. Oleh karena itu, agregat yang digunakan biasanya memiliki ukuran yang relatif seragam agar terbentuk ruang kosong antarbutiran yang saling terhubung Iskandar, (2022).

Tjokrodimuljo (2007) menjelaskan bahwa agregat kasar yang baik harus memiliki kekuatan yang cukup, tahan terhadap keausan, tidak mudah hancur, dan memiliki daya serap air yang rendah. Agregat yang berkualitas buruk dapat menyebabkan beton mudah retak atau mengalami penurunan kekuatan. Selain itu, bentuk permukaan agregat juga memengaruhi daya lekat pasta semen.

Gradasi agregat kasar menjadi faktor yang sangat penting dalam beton pori. Penggunaan agregat dengan ukuran yang terlalu beragam dapat menyebabkan

butiran kecil mengisi celah di antara butiran besar sehingga rongga-rongga beton berkurang. Akibatnya, nilai porositas dan permeabilitas beton menjadi lebih rendah. Sebaliknya, penggunaan agregat dengan ukuran yang seragam akan menghasilkan rongga yang lebih banyak sehingga kemampuan aliran air meningkat, meskipun kuat tekan beton dapat menjadi lebih rendah jika ikatan antaragregat tidak cukup baik Mulyono, (2020).

Selain memengaruhi kemampuan resapan air, agregat kasar juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton pori. Ikatan antara pasta semen dan agregat menentukan kemampuan beton dalam menahan beban tekan. Semakin baik kualitas agregat dan ikatannya dengan pasta semen, maka semakin baik pula performa mekanik beton yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemilihan jenis, ukuran, dan kualitas agregat kasar harus dilakukan dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kebutuhan kekuatan tekan dan kemampuan permeabilitas beton pori.

2.3 Abu Batu Apung

Abu batu apung dikenal sebagai salah satu jenis pozzolan alami yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian semen karena kandungan senyawa kimianya, seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3), yang tinggi dan memenuhi kriteria dalam standar ASTM C618 Eniarti et al., (2024). Penelitian yang dilakukan oleh (Gaus et al., 2020) menunjukkan bahwa penggunaan batu apung sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton mampu mengurangi berat jenis beton serta meningkatkan keberlanjutan material tanpa menurunkan kekuatan tekan secara signifikan. Temuan ini diperkuat oleh Sumesh Mathialagan (2020) yang menyatakan bahwa abu batu apung memiliki potensi besar sebagai bahan pengganti semen karena dapat memperbaiki daya tahan beton terhadap lingkungan agresif sekaligus mendukung penerapan konstruksi ramah lingkungan. Secara keseluruhan, pemanfaatan abu batu apung tidak hanya berkontribusi terhadap efisiensi material, tetapi juga terhadap pengurangan emisi karbon dari industri semen.

Sejumlah penelitian lain turut memperkuat temuan tersebut dengan menyoroti sifat pozzolanik abu batu apung yang berperan penting dalam memperbaiki proses hidrasi dan pembentukan karakteristik mekanik beton. Penelitian oleh Ke et al.,

(2022) menunjukkan bahwa penambahan bubuk batu apung sebagai pengganti sebagian semen mampu meningkatkan proses hidrasi dan ketahanan beton tanpa menurunkan kekuatan tekan secara signifikan.Hasil serupa dikemukakan oleh Wube & Gebreyouhannes (2020) yang menyatakan bahwa penggunaan bubuk batu apung hingga kadar sekitar 5% dalam campuran beton normal dapat mempertahankan kekuatan tekan beton tanpa menurunkan sifat mekanisnya secara signifikan.

Batu apung memiliki kandungan silika yang sangat tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Hwang et al., (2023), menunjukkan bahwa komposisi utama batu apung terdiri atas SiO_2 sebesar 70,3–71,3%**,** Al_2O_3 sebesar 17,3–17,9%**,** dan Fe_2O_3 sekitar 3,4–3,5%, serta mengandung oksida lain dalam jumlah lebih kecil seperti K_2O, CaO, SO_3, dan TiO_2. Tingginya kandungan silika dan alumina tersebut menunjukkan bahwa batu apung berpotensi sebagai bahan pozzolan alami yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton atau mortar.

Berdasarkan standar (C618, 2019), bahan pozzolan untuk penggunaan dalam beton diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu Class N, Class F, dan Class C. Pozzolan Class N**.** Berdasarkan hasil analisis kimia abu batu apung yang menunjukkan kandungan SiO_2 sebesar 70,3–71,3%**,** Al_2O_3 sebesar 17,3–17,9%**,** dan Fe_2O_3 sebesar 3,4–3,5%, diperoleh jumlah kandungan (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3) sebesar 91,0–92,7%. Nilai tersebut melebihi persyaratan minimum 70% yang ditetapkan dalam ASTM C618 untuk pozzolan Class N, sehingga abu batu apung tersebut memenuhi kriteria sebagai pozzolan alami dan sesuai digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen Portland**.**

Selain berperan sebagai bahan pozzolan alami, abu batu apung juga dapat berfungsi sebagai filler dalam campuran beton. Filler merupakan material berukuran sangat halus yang mampu mengisi rongga-rongga kecil di antara partikel semen dan agregat sehingga meningkatkan kepadatan pasta semen. Partikel abu batu apung yang lolos saringan No. 200 memiliki ukuran yang cukup halus untuk mengisi ruang kosong (voids) pada zona transisi antara pasta semen dan agregat (interfacial transition zone/ITZ), sehingga ikatan antara pasta semen dan agregat menjadi lebih rapat dan homogen Mehta & Monteiro, (2014).

Fungsi filler pada abu batu apung memberikan beberapa keuntungan terhadap sifat beton. Pengisian rongga halus dapat mengurangi pori kapiler sehingga struktur beton menjadi lebih padat dan berpotensi meningkatkan kuat tekan. Selain itu, distribusi partikel yang lebih merata membantu mengurangi konsentrasi tegangan pada zona transisi agregat–pasta semen serta memperbaiki workability campuran karena partikel halus membantu melapisi permukaan agregat secara lebih merata Neville, (2011). Oleh karena itu, abu batu apung tidak hanya memberikan kontribusi melalui reaksi pozzolanik, tetapi juga melalui efek filler yang memperbaiki kepadatan mikrostruktur beton.

2.4 Kuat Tekan

Kuat tekan beton pori merupakan salah satu parameter utama untuk menilai kemampuan struktural beton berpori dalam menahan beban tekan. Karena beton pori memiliki banyak rongga udara yang memungkinkan air mengalir melewatinya, kekuatan tekan cenderung lebih rendah dibandingkan beton konvensional. Oleh sebab itu, penelitian modern berfokus pada upaya menemukan keseimbangan antara porositas dan kekuatan tekan agar beton tetap ramah lingkungan tanpa kehilangan daya dukungnya. Pendekatan ini menekankan pentingnya proporsi campuran, ukuran agregat, dan kepadatan struktur dalam menentukan kualitas beton pori Pareek & Hong (2020).

Berdasarkan penelitian Sanjaya et al., (2021), nilai kuat tekan beton berpori umumnya berada pada kisaran 2,8 hingga 28 MPa. Variasi nilai tersebut dipengaruhi oleh jenis dan ukuran agregat, rasio campuran semen terhadap agregat, serta metode pemadatan yang digunakan. Semakin besar ukuran pori yang terbentuk di dalam beton, kekuatan tekannya akan semakin rendah. Namun, kondisi ini justru meningkatkan kemampuan beton untuk meloloskan air, yang menjadi fungsi utama dari beton berpori sebagai material perkerasan ramah lingkungan.

Penelitian terbaru oleh Fajar (2024) juga menegaskan bahwa variasi komposisi campuran pada beton berpori sangat memengaruhi nilai kuat tekan dan permeabilitasnya. Peningkatan proporsi semen terhadap agregat mampu meningkatkan kekuatan tekan, tetapi menurunkan kemampuan drainase. Temuan ini menekankan pentingnya optimasi desain campuran untuk mencapai

keseimbangan antara performa mekanik dan fungsi hidrolik, sehingga beton berpori dapat tetap berfungsi sebagai material konstruksi yang kuat sekaligus berwawasan lingkungan.

Kuat tekan beton pori sangat dipengaruhi oleh tingkat kepadatan pasta semen yang melapisi agregat kasar. Pada beton pori, kegagalan tekan umumnya terjadi pada zona kontak antara agregat dan pasta semen karena bagian tersebut memiliki konsentrasi rongga yang lebih tinggi dibandingkan beton normal. Semakin baik kualitas ikatan pada zona transisi agregat–pasta semen (interfacial transition zone), maka kemampuan beton dalam menahan beban tekan akan meningkat Fajar, (2014).

Selain faktor kepadatan pasta semen, ukuran dan distribusi rongga juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton pori. Rongga yang terlalu besar atau tidak tersebar secara merata dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan sehingga beton lebih mudah mengalami retak dan keruntuhan. Sebaliknya, distribusi rongga yang seragam memungkinkan beban tekan tersebar lebih merata ke seluruh struktur beton sehingga kuat tekan dapat meningkat meskipun beton tetap memiliki kemampuan infiltrasi air Josep, (2021).

Penggunaan bahan halus seperti abu batu apung dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan kuat tekan melalui efek filler dan efek pozzolanik. Partikel halus abu batu apung mampu mengisi rongga mikro di sekitar agregat, sedangkan kandungan silika aktifnya bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen untuk membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan. Kombinasi kedua mekanisme tersebut dapat meningkatkan kepadatan mikrostruktur dan memperkuat ikatan pasta semen dengan agregat sehingga kuat tekan beton pori berpotensi meningkat Scrivener et al., (2015).

2.4 Porositas

Porositas adalah ukuran banyaknya rongga di dalam beton yang berfungsi untuk menyalurkan air melewati strukturnya. Dalam beton berpori, nilai porositas menjadi faktor penting yang menentukan keseimbangan antara kemampuan mengalirkan air dan kekuatan tekan beton. Berdasarkan penelitian Liu et al., (2025) peningkatan porositas memang membuat beton lebih mudah menyerap air, tetapi

juga menurunkan kekuatan tekan karena jumlah rongga yang terlalu banyak membuat struktur beton menjadi kurang padat.

Sementara itu, Oinam et al., (2022) menambahkan bahwa kontrol terhadap porositas sangat penting selama proses pencampuran dan pemadatan. Jika porositas terlalu kecil, air akan sulit menembus beton dan menyebabkan genangan di permukaan. Namun, jika terlalu besar, beton bisa kehilangan kestabilannya dan mudah rusak.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa beton berpori umumnya memiliki tingkat porositas antara 15% hingga 35%. Variasi porositas ini berpengaruh langsung pada kuat tekan dan kemampuan beton menyerap serta mengalirkan air. Beton berpori dengan porositas lebih rendah cenderung memiliki kuat tekan yang lebih tinggi, tetapi kemampuan infiltrasi airnya menjadi terbatas. Sebaliknya, porositas yang lebih tinggi membuat air lebih mudah meresap dan mengalir, namun menurunkan kekuatan tekan. Karena karakteristik tersebut, beton berpori lebih cocok digunakan pada konstruksi ringan dan kurang ideal untuk elemen struktur yang memikul beban berat.

Porositas pada beton pori merupakan parameter yang menunjukkan persentase volume rongga terhadap volume total beton. Rongga-rongga tersebut berfungsi sebagai jalur infiltrasi air sehingga keberadaannya sangat menentukan kemampuan drainase beton pori. Semakin banyak rongga yang saling terhubung, semakin besar kemampuan beton dalam menyerap dan mengalirkan air Liu et al., (2025).

Nilai porositas dipengaruhi oleh gradasi agregat, rasio air-semen, dan metode pemadatan selama proses pembuatan beton. Pemadatan yang terlalu kuat dapat menyebabkan sebagian rongga tertutup, sedangkan pemadatan yang terlalu rendah dapat menghasilkan struktur beton yang kurang stabil. Oleh karena itu, beton pori memerlukan tingkat pemadatan yang cukup untuk menjaga keseimbangan antara kekuatan dan kemampuan infiltrasi Oinam et al., (2022).

Penggunaan abu batu apung sebagai bahan halus dapat memengaruhi porositas beton pori melalui pengisian rongga-rongga kecil yang tidak efektif. Partikel halus abu batu apung mampu memperbaiki susunan pasta semen sehingga pori mikro menjadi lebih sedikit, sementara rongga makro antar agregat tetap dapat

dipertahankan sebagai jalur aliran air. Kondisi ini dapat menghasilkan struktur pori yang lebih stabil dan seragam Gaus et al., (2020).

2.5 Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan suatu bahan seperti beton atau mortar untuk dilalui air melalui pori-porinya. Sifat ini sangat penting karena menentukan seberapa baik beton mampu menahan masuknya air, udara, atau zat kimia yang dapat menyebabkan kerusakan. Berdasarkan penelitian Li et al., (2021), besarnya nilai permeabilitas dipengaruhi oleh jumlah pori dan banyaknya mortar di dalam campuran beton. Semakin besar nilai permeabilitas, semakin mudah air mengalir di dalam beton, tetapi hal itu juga bisa mempercepat timbulnya korosi atau penurunan mutu material.

Selain itu, Milla et al., (2021) menjelaskan bahwa pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui seberapa tahan beton terhadap rembesan air. Uji ini biasanya mengacu pada standar seperti ASTM C1202 atau BS EN 12390-8, dengan cara memberikan tekanan air atau mengukur seberapa banyak air yang melewati benda uji dalam waktu tertentu.

Nilai permeabilitas yang terlalu rendah biasanya disebabkan oleh penyumbatan pori atau distribusi agregat yang kurang optimal sehingga rongga internal menjadi tidak saling terhubung. Hal ini dapat menghambat infiltrasi air dan menyebabkan air tertahan di permukaan. Sebaliknya, permeabilitas yang terlalu tinggi akibat ukuran pori yang terlalu besar dapat mengurangi kestabilan mekanik material sehingga tidak mampu menahan beban secara optimal. Riyanto et al., (2023).

Permeabilitas beton pori menunjukkan kemampuan air untuk mengalir melalui jaringan rongga yang saling terhubung di dalam beton. Nilai permeabilitas sangat dipengaruhi oleh ukuran rongga, kontinuitas jalur aliran, dan tingkat keterhubungan antar pori yang terbentuk di antara agregat kasar Montes & Haselbach, (2021).

Hubungan antara porositas dan permeabilitas tidak selalu linier karena permeabilitas lebih ditentukan oleh keterhubungan rongga daripada jumlah rongga semata. Beton dengan porositas yang cukup tetapi memiliki jalur aliran yang kontinu dapat menunjukkan permeabilitas yang tinggi dan mampu mengalirkan air hujan dengan cepat Bean et al., (2022).

Penambahan material halus dalam campuran beton pori perlu dikendalikan karena partikel halus yang berlebihan dapat menyumbat sebagian rongga dan menurunkan koefisien permeabilitas. Namun, penggunaan material halus dalam kadar yang sesuai masih dapat mempertahankan jalur aliran air sambil meningkatkan kestabilan pasta semen dan kekuatan beton pori Chandrappa & Biligiri, (2023).

2.6 Pengujian Slump pada Beton Berpori

Adresi et al. (2023) melakukan kajian mendalam mengenai beton berpori (pervious concrete) dengan menggunakan standar ASTM C143 sebagai acuan utama dalam pengujian slump. Penelitian tersebut menyoroti bahwa penerapan standar tersebut pada beton berpori memerlukan perhatian khusus karena karakteristik campurannya berbeda dengan beton konvensional. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kekentalan campuran yang memiliki rasio air-semen (water cement ratio) relatif rendah, yaitu antara 0,27 sampai 0,34. Berdasarkan hasil pengujian, beton berpori umumnya menunjukkan karakteristik zero-slump atau hampir tidak mengalami penurunan bentuk setelah kerucut diangkat. Nilai slump yang masih dapat diterima berada pada kisaran 20–50 mm, sehingga campuran tetap mampu mempertahankan stabilitasnya tanpa mengalami segregasi yang berlebihan Adresi et al., (2023).

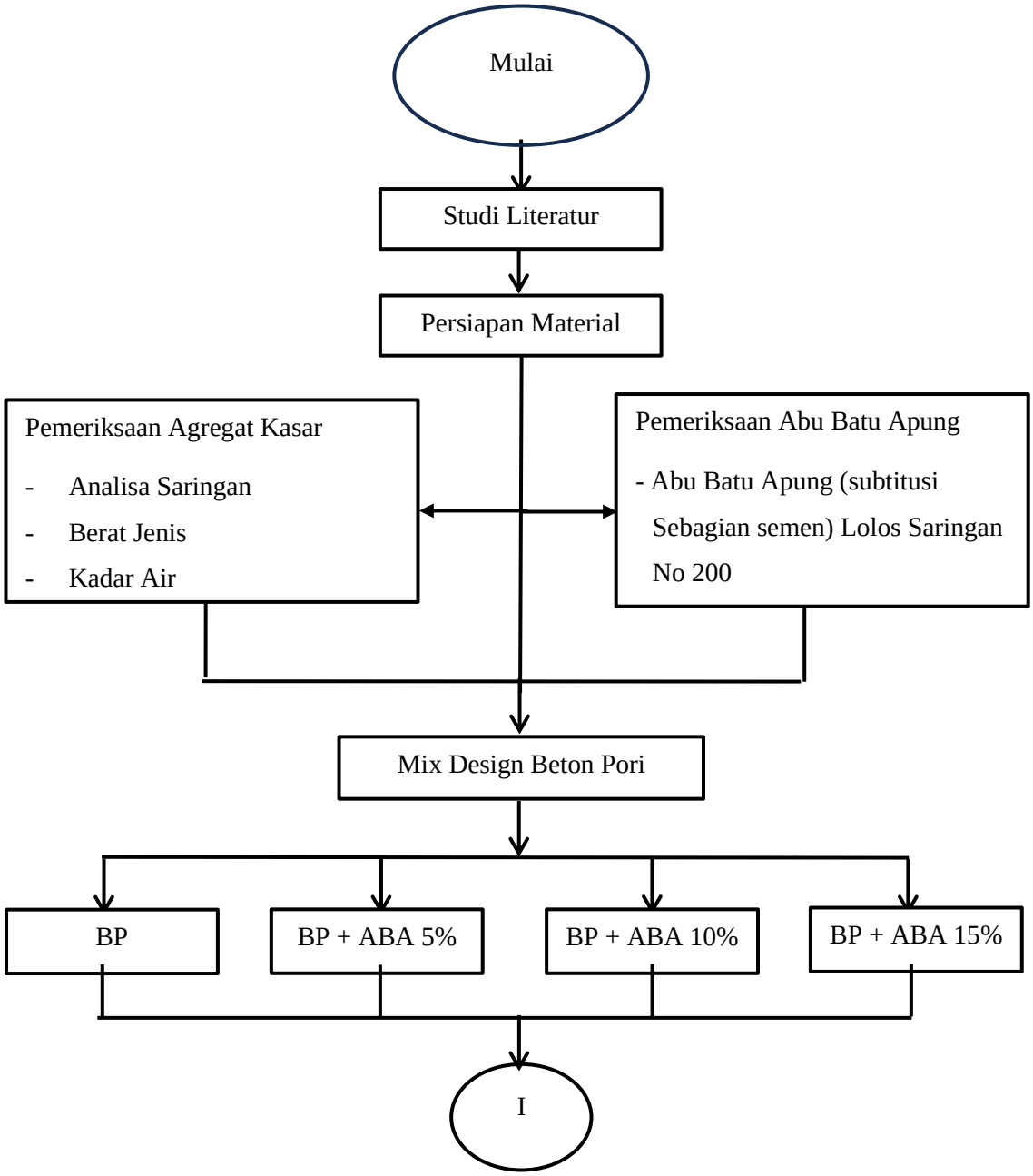
Hamzah dan Rochmah (2025) menerapkan pedoman ACI 522R-10 dalam perencanaan serta pengujian beton berpori dengan variasi gradasi agregat kasar. Pengujian slump dilakukan untuk memastikan bahwa pasta semen memiliki konsistensi yang cukup untuk melapisi permukaan agregat secara merata tanpa menyebabkan pemisahan antara pasta dan agregat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran beton berpori memiliki perilaku zero-slump, yaitu campuran tetap mempertahankan bentuk kerucut setelah cetakan diangkat. Penggunaan agregat berukuran lebih besar, yaitu 10–15 mm, cenderung menghasilkan campuran yang lebih sulit dikerjakan apabila volume pasta semen tidak disesuaikan dengan luas permukaan agregat yang lebih besar Hamzah & Rochmah, (2025

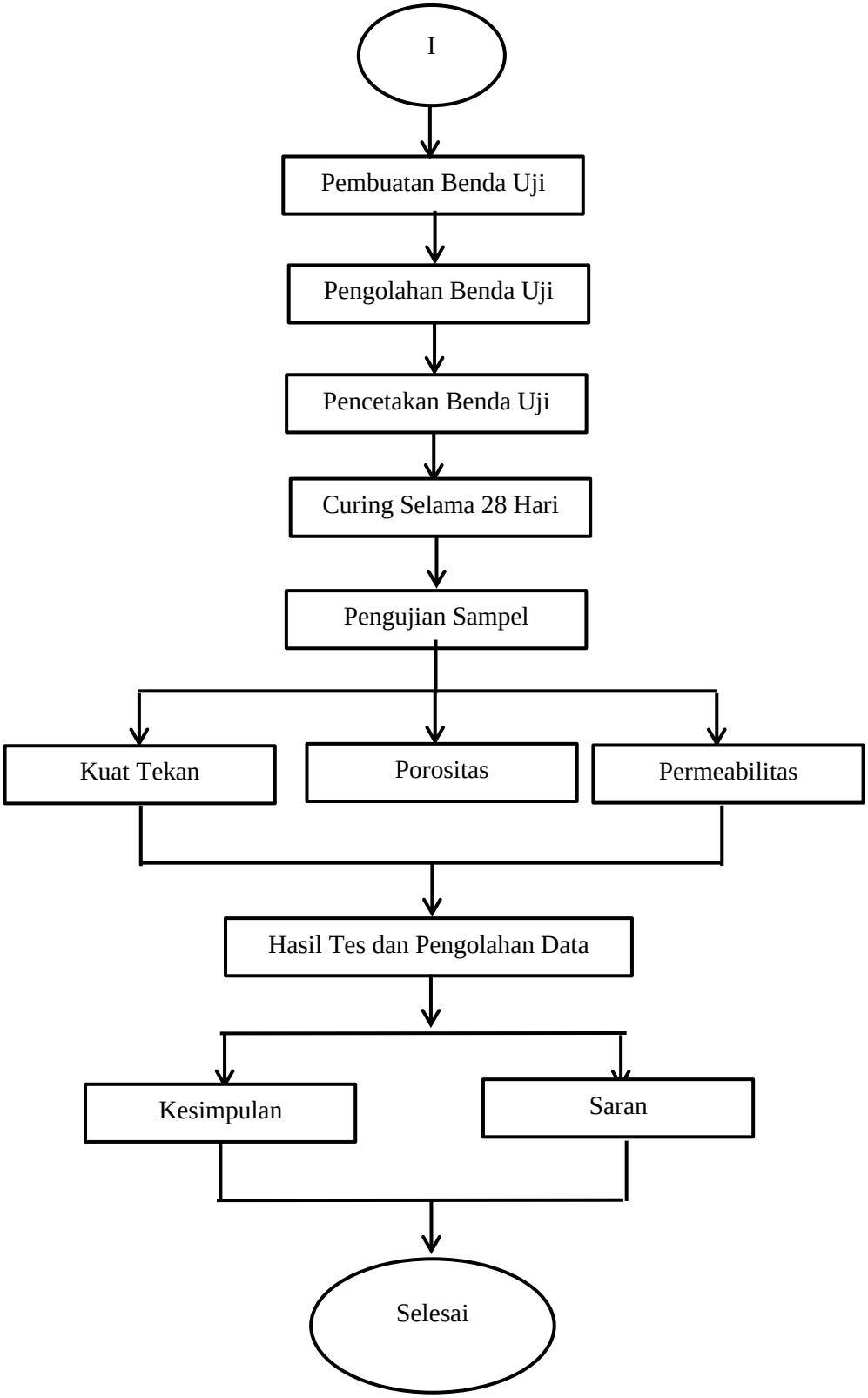
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Bagan Alir

Langkah-langkah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:





Gambar 3.1: Diagram Alir

3.2 Sumber-Sumber Dalam Penelitian

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan suatu masalah dilakukan dengan cara mengumpulkan, mencatat, mempelajari, dan menganalisis data yang diperoleh selama penelitian berlangsung. Dalam pelaksanaannya, proses pemecahan masalah sangat bergantung pada data pendukung yang dikumpulkan secara teratur dan terencana. Data tersebut diperoleh dari dua sumber utama, yaitu:

1. Data Primer

   Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari hasil percobaan yang dilakukan di laboratorium selama penelitian berlangsung. Dalam penelitian beton pori ini, data yang dikumpulkan meliputi:

   a. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar
   b. Pemeriksaan gradasi agregat kasar
   c. Pemeriksaan kadar lumpur agregat
   d. Penentuan kadar air optimum
   e. Proporsi campuran beton pori sesuai variasi Faktor Air Semen (FAS)
      dan bahan tambahan (Abu Batu Apung)
   f. Hasil pengujian kuat tekan**,** porositas, dan permeabilitas beton pori setelah masa perawatan 28 hari.

2. Data Sekunder

   Data sekunder diperoleh dari berbagai sumber literatur dan referensi ilmiah yang relevan dengan penelitian beton pori, meliputi:

   a. Jurnal, buku, dan laporan penelitian terdahulu yang membahas perancangan dan karakteristik beton pori
   b. American Concrete Institute (ACI) yang digunakan sebagai acuan, seperti ACI 522R-10 tentang “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Pori” .

3.3 Tempat Dan Waktu Peneletian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Beton, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Muhammadiya Sumatera Utara, dengan menggunakan metode eksperimen laboratorium. Kegiatan penelitian berlangsung selama tiga bulan, yakni mulai dari Februari hingga Juni.

3.4 Alat Dan Bahan

3.4.1 Alat

yang akan di gunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Timbangan Digital

Ge-162 digital 20000 Gram (20 kg) digunakan untuk menimbang bahan sampel seperti penyesunan beton pori sesuai dengan komposisi campuran yang di rencana.



Gambar 3.2: Timbangan Digital

2. Concrete Mixer Atau Mixer Manual

Digunakan Untuk Mencampur Seluruh Bahan Beton pori dari semen portland agregat kasar serta bahan tambahan hingga di peroleh campuran yang baik.



Gambar 3.3: Concrete Mixer

3. Cetakan Benda Uji Berbentuk Silinder

Berupa Cetakan Silinder Diameter 15 x 30 cm ,Sesuai Dengan Standar Pengujian Kuat Tekan Beton.



Gambar 3.4: Cetakan Benda Uji Berbentuk Silinder

4. Cetakan Benda Uji Berbentuk Kubus

Berupa Cetakan Silinder Diameter 15 x 30 cm ,Sesuai Dengan Standar Pengujian Kuat Tekan Beton.



Gambar 3.5: Cetakan Benda Uji Berbentuk Kubus

5. Alat Pemadat

Seperti Tongkat Pemadat Atau Alat Getar Ringan, Digunakan Untuk Membantu Proses Pemadatan Tanpa Menutup Rongga Beton Pori.



Gambar 3.6: Alat Pemadat

6. Bak Perendaman Atau Curing Tank

Digunakan Untuk Perawatan Benda Uji Selama Masa Perawatan.



Gambar 3.7: Bak Perendaman

7. Oven Pengering

Digunakan Untuk Pengeringan Material Atau Benda Uji Pada Tahap beton pori ,Alat ini mampu bekerja pada suhu 50-250 °C dengan pengaturan suhu digital.



Gambar 3.8: Oven Pengering

8. Mesin Uji Kuat Tekan

Alat ini digunakan untuk menilai mutu serta kualitas beton berdasarkan kemampuan beton dalam menahan gaya tekan yang diberikan.



Gambar 3.9: Mesin Uji Kuat Tekan

9. Sekop

Dingunakan untuk memindahkan atau mengambil material bahan uji seperti agregat kasar.



Gambar 3.10: Sekop

10. Gelas ukur

adalah alat laboratorium berbentuk silinder dengan skala pengukuran di sisi luar yang berfungsi untuk mengukur volume cairan secara tepat.



Gambar 3.11: Gelas Ukur

11. Sarung tangan

Digunakan untuk melindungi tangan saat penelitian ,alat ini mencegah kontak langsung dengan material yang dapat menyebab kan iritasi atau cedera.


Gambar 3.12: Sarung Tangan

12. Masker

Digunakan untuk melindungi saluran pernafasan akibat menghirup udara kotor pada proses penelitian di laboraturium



Gambar 3.13: Masker

13. Krucut Abrams

Alat uji slump beton yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan (workability) beton segar.



Gambar 3.14: Kercut Abrams

14. Kuas

Fungsinya adalah untuk meratakan lapisan minyak gemuk pada permukaan cetakan agar beton tidak lengket saat proses pembongkaran, sehingga hasil permukaan beton menjadi halus, rapi, dan mudah dilepaskan dari cetakan tanpa kerusakan.



Gambar 3.15: Kuas

15. Palu Karet

Digunakan untuk memberikan pukulan ringan tanpa menimbulkan kerusakan pada permukaan benda uji maupun cetakan beton.



Gambar 3.16: Palu Karet

16. Saringan No 200

Digunakan untuk memisahkan butiran halus hasil pemecahan batu apung sehingga diperoleh material dengan ukuran yang lebih kecil dan seragam, yang disebut sebagai abu batu apung. Alat ini memiliki ukuran bukaan 0,075 mm (75 mikron), sehingga berfungsi efektif dalam menyaring partikel sangat halus dari hasil penggilingan atau penghancuran batu apung.



Gambar 3.17: Saringan No 200

17. Saringan N0 4

Alat ini digunakan pada pengujian agregat di laboratorium teknik sipil untuk memilah butiran agregat sesuai dengan ukurannya. Saringan ini memiliki bukaan berukuran 4,75 mm, yang berperan sebagai pembatas antara agregat halus dan agregat kasar.



Gambar 3.18: Saringan No 4

18. Pan

Berfungsi untuk Manahan cetakan agar tetap stabil saat beton di tuangkan, mencegah adukan tumpah kepermukaan kerja,mempermudah cetakan setalah pengecoran,menjaga area tempat kerja tetap bersih dan aman.



Gambar 3.19: Pan

3.4.2 Bahan

Bahan yang akan di gunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Semen portland

Berfungsi untuk sebgai bahan pengikat yang melapisi permukaan agregat kasar dan merekatkan campuran.



Gambar 3.20: Semen Portland

2. Batu kerikil

Berfungsi untuk membantu menciptakan pori-pori yang saling terhubung peresapan air yang efektif .



Gambar 3.21: Batu Kerikil

3. Air

Berfungsi Untuk Proses Hidrasi Semen dan air tersebut harus di kontrol agar tidak menyumbat sistem drainase terhadap beton pori tersebut



Gambar 3.16: Air

4. Minyak Gemuk

minyak gemuk berfungsi sebagai pelumas kental yang digunakan untuk mengurangi gesekan serta mencegah kelengketan antara permukaan cetakan dengan beton, sehingga proses pembongkaran cetakan dapat dilakukan dengan mudah tanpa merusak permukaan beton dan sekaligus melindungi cetakan dari korosi maupun keausan.



Gambar 3.17: Minyak Gemuk

5. Abu Batu Apung

Abu batu apung dapat dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen Portland, sehingga jumlah semen yang digunakan dapat dikurangi tanpa menurunkan kualitas dan fungsi beton.


Gambar 3.18: Abu Batu Apung

3.5 Pemerikasaan Bahan

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan dan pemeriksaan bahan,di antaranya

3.5.1 Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material berupa batu pecah atau kerikil alami yang berukuran lebih besar dari 4,75 mm dan berfungsi sebagai pengisi utama dalam campuran beton, termasuk beton pori (pervious concrete)**.** Agregat kasar berperan penting dalam membentuk struktur kerangka beton, menentukan kekuatan tekan**,** daya tahan (durabilitas)**,** serta porositas campuran. Oleh karena itu, sebelum digunakan, agregat kasar harus melalui serangkaian pemeriksaan laboratorium untuk memastikan kualitasnya sesuai standar. Berikut langkah-langkah pemeriksaan agregat kasar :

1. Analisa Saringan

Agregat kasar yang akan di uji ditimbang sesuai kebutuhan (±5 kg), kemudian diayak menggunakan satu set saringan standar (19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, dan pan) sesuai SNI 03-1968-1990. Proses pengayakan dilakukan selama ±10 menit dengan mesin pengayak atau secara manual. Setelah selesai, berat agregat yang tertahan pada tiap saringan ditimbang dan dicatat. Hasil pengujian digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butiran (gradasi) agregat. Untuk beton pori, digunakan gradasi seragam (uniform grading) dengan ukuran butiran dominan 9,5–19 mm agar terbentuk rongga udara antar butir sebagai jalur permeabilitas.

$$\%\ Tertahan = \frac{\text{Wi}}{\text{Wt}} x100\% \quad (3.1)$$

$$\%\ Lolos\ Koumulatif = 100 - (Jumlah\ \%\ Kumulatif) \quad (3.2)$$

Keterangan :

- Wi = Berat agregat yang tertahan pada saringan ke-i (gram)
- Wt = Berat total sampel (gram)

2. Berat Jenis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui massa jenis (specific gravity) dan daya serap air (absorption) agregat kasar berdasarkan SNI 1970:2008**.** Sampel agregat dikeringkan di oven hingga berat konstan, kemudian direndam dalam air selama 24 jam. Setelah itu, agregat dikeringkan hingga kondisi Surface Saturated Dry (SSD) dan ditimbang dalam tiga kondisi: kering oven, SSD,dan dalam air.Hasil penimbangan digunakan untuk menghitung berat jenis curah, berat jenis semu, serta penyerapan air, yang berpengaruh terhadap perhitungan proporsi campuran beton

$$G_{ssd} = \frac{B}{B-C} \tag{3.3}$$

Keterangan :

- B = Berat agregat dalam kondisi SSD (gram)
- C = Berat agregat dalam air (gram)

c. Uji Kadar Air

Pemeriksaan kadar air bertujuan untuk menentukan persentase kandungan air yang terdapat dalam agregat kasar sesuai dengan SNI 1971:2011. Pengujian dilakukan dengan menimbang berat awal agregat dalam kondisi alami, kemudian mengeringkannya di dalam oven pada suhu 110 ± 5°C hingga mencapai berat konstan. Setelah proses pengeringan selesai, agregat didinginkan dan ditimbang kembali. Selisih antara berat awal dan berat kering oven digunakan untuk menghitung kadar air agregat. Nilai kadar air ini diperlukan sebagai dasar penyesuaian jumlah air pada campuran beton agar faktor air-semen tetap sesuai dengan rancangan dan mutu beton yang dihasilkan dapat tercapai.

.

$$\text{Kadar Air } (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \text{ X } 100\% \tag{3.4}$$

Keterangan :

- W_1 = Berat agregat sebelum pencucian (gram)
- W_2 = Berat agregat setelah pencucian dan pengeringan (gram)

3.5.2 Pemeriksaan Abu Batu Apung

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran (gradasi) abu batu apung berdasarkan SNI 03-1968-1990 tentang Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar. Sampel abu batu apung ditimbang sebanyak 200 gram, kemudian diayak menggunakan susunan saringan No. 50 (0,300 mm), No. 100 (0,150 mm), dan No. 200 (0,075 mm) serta pan sebagai penampung akhir. Setelah proses pengayakan selesai, material yang tertahan pada setiap saringan dan pan ditimbang untuk menentukan persentase tertahan, persentase tertahan kumulatif, dan persentase lolos saringan. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui tingkat kehalusan abu batu apung yang digunakan sebagai bahan substitusi semen pada campuran beton pori, karena ukuran butiran yang halus dapat mempengaruhi kepadatan pasta semen, porositas, dan karakteristik beton yang dihasilkan.

3.6 Pembuatan Beton Pori

Berdasarkan ACI 522R-10 tentang *Pervious Concrete Report*, pembuatan benda uji beton pori bertujuan untuk menghasilkan spesimen yang dapat mewakili kondisi beton pori di lapangan secara konsisten, baik dari segi struktur internal, porositas, maupun kekuatan mekanis. Spesimen harus dipersiapkan sedemikian rupa agar hasil pengujian dapat diinterpretasikan secara objektif, terukur, dan dapat dibandingkan antarvariabel penelitian.

Berikut tahapan umum dalam proses pembuatan beton pori sesuai dengan panduan ACI 522R-10:

a. Persiapan Material

Material penyusun beton pori terdiri atas semen portland, agregat kasar bergradasi seragam (uniformly graded coarse aggregate), air, serta bahan tambahan (admixture) jika diperlukan. Agregat kasar yang digunakan harus bersih, keras, tahan aus, dan bebas dari debu, lempung, serta bahan organik, karena kontaminan dapat menghambat ikatan antara pasta semen dan agregat. Gradasi agregat yang umum direkomendasikan oleh ACI 522R-10 berada pada kisaran 9,5 mm hingga 19 mm, dengan proporsi yang menghasilkan porositas efektif 15–25%. Rasio air-

semen (w/c ratio) dijaga pada kisaran 0,27–0,35 untuk mencapai keseimbangan antara kekuatan dan permeabilitas.

b. Persiapan Cetakan

Cetakan benda uji dibuat sesuai dengan ukuran standar ASTM C39/C192, umumnya berbentuk silinder berukuran 100 mm × 200 mm atau 150 mm × 150 mm tergantung kebutuhan pengujian kuat tekan. Cetakan harus dalam kondisi bersih, kering, kedap air, dan dilapisi minyak pelumas tipis (release agent) agar beton tidak menempel dan mudah dilepas setelah proses perawatan awal.

c. Proses Pencampuran

Pencampuran dilakukan sesuai dengan rekomendasi ACI 522R-10 Section 4.3, yaitu dengan mengaduk agregat kasar dan semen terlebih dahulu dalam keadaan kering hingga merata. Setelah itu, air ditambahkan sedikit demi sedikit sambil diaduk hingga semua butiran agregat terlapisi secara merata oleh pasta semen tipis.Proses pencampuran harus dilakukan secara cepat dan efisien, untuk menghindari kehilangan air akibat penguapan serta menjaga kestabilan pori dalam campuran. Pengadukan biasanya dilakukan menggunakan mixer berputar lambat (low-speed mixer) untuk mengurangi segregasi material.

d. Pengisian Beton dalam Cetakan

Campuran beton pori yang telah homogen dimasukkan ke dalam cetakan secara bertahap dalam dua atau tiga lapisan, sambil ditekan ringan menggunakan batang penusuk baja atau kayu. Tujuannya adalah untuk mengisi cetakan secara merata tanpa menyebabkan pemisahan agregat (segregation) maupun penutupan rongga udara antar butir (clogging). Selama pengisian, harus dipastikan bahwa struktur pori tetap terbentuk secara kontinu di seluruh bagian benda uji.

e. Pemadatan Beton Pori

Menurut ACI 522R-10 Section 4.4, beton pori tidak boleh dipadatkan secara berlebihan karena dapat menutup pori dan mengurangi permeabilitas. Pemadatan dilakukan dengan tekanan ringan menggunakan pelat datar atau penumbuk kayu, cukup untuk menstabilkan agregat tanpa menghancurkan jaringan pori. Dalam

beberapa kasus, pemadatan dapat dilakukan menggunakan vibrator permukaan frekuensi rendah, namun harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak mengakibatkan segregasi.

f. Perataan Permukaan

Permukaan beton pori diratakan menggunakan alat perata baja atau kayu (screed) hanya sampai campuran tampak padat dan rata. Tekanan yang diberikan harus minimal untuk menjaga porositas di lapisan permukaan atas agar beton tetap memiliki kemampuan drainase.

g. Pelepasan Cetakan

Setelah proses pencetakan dan pemadatan selesai, cetakan dilepas dalam waktu 24 jam setelah beton mencapai kekakuan yang cukup. ACI 522R-10 merekomendasikan agar pelepasan cetakan dilakukan tanpa guncangan atau hentakan untuk mencegah kerusakan pada struktur pori.

3.7 Perawatan (Curing)

Perawatan beton pori dilakukan untuk menjaga kadar air di dalam beton agar proses hidrasi semen dapat berjalan dengan baik tanpa merusak susunan pori yang sudah terbentuk. Mengacu pada ACI 522R-10, beton pori perlu dijaga tetap lembap setelah proses pencetakan supaya tidak terjadi kehilangan air yang terlalu cepat pada tahap awal pengerasan. Setelah beton mencapai kekuatan awal, benda uji dikeluarkan dari cetakan dengan hati-hati, kemudian dilakukan curing dengan cara dialiri air secara terus-menerus selama 7 hari pada permukaan beton. Cara ini bertujuan untuk memastikan ketersediaan air selama proses hidrasi semen, menjaga kelembapan beton, serta mempertahankan karakteristik rongga dan porositas beton pori. Setelah pengaliran air selama 7 hari selesai, benda uji tetap dipelihara dalam kondisi lembap hingga umur pengujian 28 hari. Selama masa perawatan, benda uji juga ditempatkan di lingkungan yang terlindung dari sinar matahari langsung dan angin agar penguapan air dapat dikurangi. Perawatan ini dilakukan agar perkembangan kekuatan beton berlangsung optimal sehingga hasil pengujian yang diperoleh sesuai.

3.8 Mix Desain

Tahap Awal Sebelum Melakukan Perencanaan Campuran Beton Pori, Dilakukan Pengujian Terhadap Komponen-Komponen Dasar Pembentuk Beton Pori Sesuai Dengan Aci (Pengujian Meliputi Material Penyusun Utama, Yaitu Agregat Kasar, Semen, Serta Bahan Tambahan Yang Digunakan. Selanjutnya, Dilakukan Perencanaan Campuran Beton Pori Berdasarkan Ketentuan Dan Pedoman Yang Berlaku Dalam Sni.

1. Benda uji untuk pengujian kuat tekan beton pori menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm sesuai ketentuan pengujian beton.
2. Benda uji untuk pengujian porositas dan permeabilitas beton pori menggunakan benda uji silinder dengan ukuran yang sama, yaitu diamter 15 dan tinggi 30 cm, guna memastikan keseragaman hasil pengujian mekanik dan hidrolik.
3. Abu batu apung (ABA) digunakan sebagai subtitusi semen dengan persentase 5% ,10%,15% yang berfungsi meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah, memperbaiki mikrostruktur pasta semen, serta menyesuaikan karakteristik porositas dan kuat tekan beton pori.

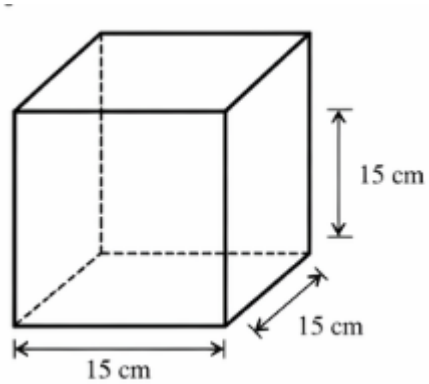
Tabel 3.1: Mix Desain

MIX DESAIN			
Variasi Beton	**Fas**	**ABA**	**Jumlah Sampel**
BN	**0,34**	**0**	**9**
BP+ ABA	**0,34**	**5%**	**9**
BP+ ABA	**0,34**	**10%**	**9**
BP+ ABA	**0,34**	**15%**	**9**
TOTAL			**36**

3.9 Takaran Mix Desain

3.9.1 Cetakan Kubus

Acuan : ACI 255R (Spesifikasi beton pori untuk pengujian kuat tekan) SNI 03-6805-2002 (Kuat tekan). Dimensi Benda Uji:



Gambar 3. 19: Cetakan Kubus

Menghitung campuran mortar dengan perbandingan 1:4

Berat cetakan beton pori = 10.000 gr.

Volume Cetakan beton pori = 15 x 15 x 15

= 0,003375 m^3

Berat isi semen = 1,180 kg

Berat isi agregat kasar = 4,700 kg

Faktor air semen = 0,34

Jumlah yang akan di cetak = 12 buah

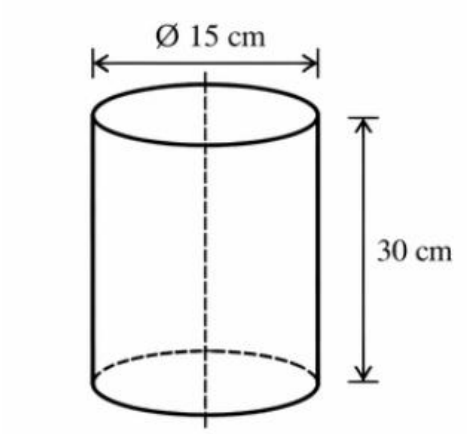
Catatan teknis:

1. Tidak ada slump tes
2. Pemadatan ringan menggunakan palu karet
3. Curing plastic min 7 hari
4. Target 2,8 - 28 mpa
5. Uji kuat tekan setelah 28 hari

3.9.2 Cetakan Silinder

Acuan : ACI 255R/ ASTM C1701 (Spesifikasi beton pori untuk pengujian porositas dan permeabilitas). Dimensi Benda Uji:

Dimensi benda uji:



Gambar 4.2: cetakan silinder

Menghitung campuran beton pori dengan perbandingan 1:4

Berat cetakan beton pori = 10.000 gr.

Volume Cetakan beton pori = $v = 3{,}14x\frac{0{,}15^2}{4}\ x\ 0{,}30$

= 0,0053 m^3

Berat isi semen = 1,850 kg

Berat isi agregat kasar = 7,400 kg

Faktor air semen = 0,34+-0

Jumlah yang akan di cetak = 24 buah

Catatan teknis:

1. Tidak ada slump tes
2. Pemadatan ringan menggunakan palu karet
3. Curing plastic min 7 hari
4. Uji porositas dan permeabilitas setelah 28 hari

3.9.3 Perhitungan Dasar Mix Desain

Data dasar mix desain untuk kg/m³

1. Semen

Berat semen yang dipakai sebesar 350 kg/m^3. Berdasarkan ACI 522R-10 rasio yang diizinkan yaitu 300 – 400 kg/m^3, maka semen yang dibutuhkan untuk membuat 1 benda uji yaitu:

Kubus = 350 kg/m^3 x 0,003375 m^3 = ± 1,180 kg

Silinder = 350 kg/m^3 x 0,005301 m^3 = ± 1,850 kg

2. Agregat Kasar

Berat agregat kasar yang dipakai sebesar 1400 kg/m^3. Berdasarkan ACI 522R-10 rasio yang diizinkan yaitu 1400 – 1600 kg/m^3, maka agregat kasar yang dibutuhkan untuk membuat 1 benda uji yaitu:

Kubus = 1400 kg/m^3 x 0,003375 m^3 = ± 4,700 kg

Silinder = 1400 kg/m^3 x 0,005301 m^3 = ± 7,400 kg

3. Air

Rasio FAS yang dipakai sebesar 0,34. Berdasarkan ACI 522R-10 rasio w/c yang diizinkan yaitu 0,27 – 0,34, maka Air yang dibutuhkan untuk membuat 1 benda uji yaitu:

Kubus = ± 1,180 kg x 0,34 = 0,401 kg = ± 401 ml

Silinder = ± 1,850 kg x 0,34 = 0,629 kg = ± 629 ml

4. Abu Batu Apung

Persenan ABA yang dipakai yaitu 10%, 15% dan 20% dikali dengan total berat semen, maka ABA yang dibutuhkan untuk membuat 1 benda uji yaitu:

a. ABA 5%

Kubus = ± 1,180 kg x 5% = ± 0,059 kg

Silinder = ± 1,850 kg x 5% = ± 0,092 kg

b. ABA 10 %

Kubus = ± 1,180 kg x 10% = ± 0,118 kg

Silinder = ± 1,850 kg x 10% = ± 0,185 kg

c. ABA 15%

Kubus = ± 1,180 kg x 15% = ± 0,177 kg

Silinder = ± 1,850 kg x 15% = ± 0,278 kg

3.10 Pengujian Beton Pori

3.10.1 Kuat Tekan

Kuat tekan pada beton pori menggambarkan kemampuan material ini dalam menahan beban tekan yang diberikan secara vertikal pada permukaan benda uji. Standar Nasional Indonesia (SNI) 1974:2011 cara uji kuat tekan beton dengan benda uji kubus yang menjadi acuan utama pengujian kuat tekan beton berbentuk kubus yang dicetak di laboratorium atau lapangan besaran kuat tekan tersebut diperoleh melalui persamaan berikut:

$$f'c(\text{MPa}) = \frac{P\text{maks}}{A} \tag{3.5}$$

dimana:

$f'c$ = kuat tekan beton pori (MPa)

P_{maks} = beban tekan maksimum yang dicatat selama pengujian (N)

A = luas permukaan penampang benda uji (mm^2)

3.10.2 Porositas

Porositas pada beton pori menggambarkan tingkat keberadaan rongga atau celah udara di dalam massa beton. Pengujian porositas umumnya mengacu pada ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete, yaitu pedoman yang diterbitkan oleh American Concrete Institute dan banyak digunakan sebagai rujukan dalam kajian beton berpori. Pedoman ini digunakan sebagai dasar pengujian porositas beton dengan benda uji berbentuk silinder yang dicetak di laboratorium maupun di lapangan. Besarnya nilai porositas kemudian dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{M_{jenuh} - M_{kering}}{\rho \cdot V} x100\% \tag{3.6}$$

dimana:

n = Persentase porositas beton

M = (jenuh) = Berat benda uji setelah direndam hingga jenuh (gram)

M = (kering) = Berat benda uji setelah pengeringan (gram)

ρ = Massa jenis air (1 g/cm³)

V = Volume total benda uji (cm³)

3.10.3 Permeabilitas

Permeabilitas beton adalah ukuran kemampuan beton untuk membiarkan air atau cairan lainnya mengalir melalui struktur porinya.ACI 522R-10 adalah salah satu sumber rujukan paling sering dipakai untuk beton porous/pervious concrete. Yang Menjadi Acuan Utama Pengujian permeabilitas Beton Berbentuk Silinder Yang Dicetak Di Laboratorium Atau Lapangan permeabilitas tersebut diperoleh melalui persamaan berikut:

$$k = \frac{Q\ x\ L}{A\ x\ h\ x\ t} \tag{3.7}$$

Keterangan :

(k)= Koefisien permeabilitas (m/s atau cm/s)
(Q)= Volume air yang mengalir (cm³)
(L)= Panjang/tebal benda uji (arah aliran)(cm)
(A)= Luas penampang benda uji (m²)
(h) = Perbedaan tinggi tekanan air (head loss)(cm)
(t) = Waktu aliran (s)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Agregat Kasar

4.1.1 Analisa Saringan

Berdasarkan acuan standar ASTM C33 dan ACI 522R, diperoleh hasil pengujian analisis saringan untuk agregat kasar sebagai berikut.

Tabel 4.1: Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar Silinder.

SIEVE SIZE	*Retained Fraction*				*Cumulative*	
	Sampel 1	Sampel 2	Total *Weight* (gr)	*Retained* (%) (% Berat Tertahan)	*Cum Retained* (% Kum Berat Tertahan)	*Passing* (% Berat yang Lolos)
3/4”	388.5	159.1	547.6	3.70	3.70	96.30
1/2”	3330	2321.9	5651.9	38.19	41.89	58.11
3/8”	2225.5	2623.9	4849.4	32.77	74.65	25.35
No. 4	1456	2295.1	3751.1	25.35	100.00	0.00
Total	7400	7400	14800	100.00		
FM (Modulus Kehalusan):					2.20	
Wt. Of Oven Dry Sampel:					14800	

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa persentase lolos agregat kasar pada saringan ukuran No. 4 sebesar 0,00%**.** Pada saringan ukuran 3/8” diperoleh persentase lolos sebesar 25,35%**.** Sementara itu, saringan ukuran 3/4” memiliki persentase lolos sebesar 58,11%**.** Adapun pada saringan ukuran 1,5” diperoleh persentase lolos terbesar yaitu sebesar 96,30%**.** Hasil analisis saringan tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar agregat kasar tertahan pada saringan ukuran

3/4” dan 3/8”**,** sehingga distribusi ukuran butiran agregat cenderung berada pada rentang ukuran tersebut.

Tabel 4.2: Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar Kubus

SIEVE SIZE	*Retained Fraction*				*Cumulative*	
	Sampel 1	Sampel 2	Total *Weight* (gr)	*Retained* (%) (% Berat Tertahan)	*Cum Retained* (% Kum Berat Tertahan)	*Passing* (% Berat yang Lolos)
1.5”	236.5	96.8	333.3	3.70	3.70	96.30
3/4”	2025	1410.7	3435.7	38.17	41.88	58.12
3/8”	1352	1604.3	2956.3	32.85	74.73	25.27
No. 4	886.5	1388.2	2274.7	25.27	100.00	0.00
Total	4500	4500	9000	100.00		
FM (Modulus Kehalusan):					2.20	
Wt. Of Oven Dry Sampel:					9000	

Berdasarkan hasil analisis saringan yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, diperoleh persentase agregat kasar yang lolos pada saringan ukuran No. 4 sebesar 0,00%**,** yang menunjukkan bahwa seluruh agregat tertahan pada saringan tersebut. Pada saringan ukuran 3/8”**.**persentase lolos yang diperoleh adalah 25,27%**.** Selanjutnya, pada saringan ukuran 3/4” persentase lolos meningkat menjadi 58,12%**,** sedangkan pada saringan ukuran 1,5” diperoleh persentase lolos tertinggi yaitu sebesar 96,30%**.** Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar butiran agregat kasar berada pada rentang ukuran antara 3/4” hingga 3/8”**.** Selain itu, nilai Modulus Kehalusan (FM) yang diperoleh sebesar 2,20, yang menggambarkan karakteristik gradasi agregat yang digunakan pada pengujian ini.

4.1.2 Berat Jenis

Hasil pemeriksaan menurut ASTM C127 dan ACI 255R berat jenis dan penyerapan agregat kasar sebagai berikut:

Tabel 4.3: Pemeriksaan Berat Jenis

Nama Contoh	Simbol	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Wt of SSD sample in Air (Berat contoh (SSD) kering permukaan jenuh) (A)	A	2550	2520	2535
Wt of SSD sample in Water (Berat contoh (SSD didalam air) (B)	B	1490	1510	1500
Wt of Oven Dry Sample (Berat contoh (SSD) kering oven (110°C) Sampai Konstan (C)	C	2495	2468	2482
Bulk Sp. Gravity-Dry (Berat Jenis contoh kering)	$\frac{C}{A-B}$	2.35	2.44	2.40
Bulk Sp. Gravity-SSD (Berat jenis contoh SSD)	$\frac{A}{A-B}$	2.41	2.50	2.45
Apparent Sp. Gravity-Dry (Berat jenis contoh semu)	$\frac{C}{C-B}$	2.48	2.58	2.53
Penyerapan air (%)	$\frac{A-C}{C} X100\%$	2.20	2.11	2.16

Berdasarkan hasil pengujian, agregat kasar menunjukkan nilai berat jenis SSD rata-rata sebesar 2,45, berat jenis kering sebesar 2,40, serta berat jenis semu sebesar 2,53. Nilai tersebut menunjukkan bahwa agregat masih tergolong sebagai agregat normal karena berada pada kisaran standar agregat normal menurut ASTM C127 dan ACI 255R, yaitu sekitar 2,5 ±. Selain itu, nilai penyerapan air rata-rata sebesar 2,16% termasuk dalam kategori rendah hingga sedang dan masih memenuhi batas yang diizinkan untuk material agregat kasar.

4.1.4 Kadar Air

Pengujian kadar air pada agregat kasar dilaksanakan berdasarkan ketentuan SNI 1971-2011 mengenai metode pemeriksaan kadar air agregat. Pengujian ini

bertujuan untuk mengetahui jumlah kandungan air yang terdapat di dalam agregat kasar sebelum digunakan pada campuran beton.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Coarse Agregate Passing	Satuan	Sampel 1	Sampel 2
Massa Wadah + Benda Uji (a)	gr	2055	2068
Massa Wadah (b)	gr	500	495
Massa Benda Uji (W1)	gr	1555	1573
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven (c)	gr	2045	2060
Massa Benda Uji Kering Oven (W2)	gr	1545	1565
Kadar Air Total (P)	%	0.65	0.51
Rata - Rata	%	0.58	

4.2 Pemeriksaan Abu Batu Apung

Pengujian analisa saringan abu batu apung dilaksanakan berdasarkan SNI 03-1968-1990. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran dan tingkat kehalusan abu batu apung sebelum digunakan sebagai bahan substitusi semen pada campuran beton pori. Sampel seberat 200 gram diayak menggunakan saringan No. 50, No. 100, dan No. 200.

Tabel 4.5: Hasil Pengujian Abu Batu Apung

Saringan	Berat Tertahan (gr)	% Tertahan	% Tertahan Kumulatif	% Lolos
No. 50 (0,300 mm)	1	0,5%	0,5%	99,5%
No. 100 (0,150 mm)	4	2,0%	2,5%	97,5%
No. 200 (0,075 mm)	15	7,5%	10,0%	90,0%
Pan	180	90,0%	100%	0%
Jumlah	200	100%	100%	—

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan terhadap abu batu apung dengan berat sampel 200 gram, diperoleh bahwa sebagian besar material lolos saringan No. 200 (0,075 mm) sebesar 90,0%. Hal ini menunjukkan bahwa abu batu apung memiliki ukuran butiran yang sangat halus sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi (filler) dan berpotensi memberikan efek pozzolan pada campuran beton pori. Distribusi butiran yang dominan halus diharapkan dapat membantu meningkatkan kepadatan pasta semen dan memperbaiki karakteristik beton yang dihasilkan.

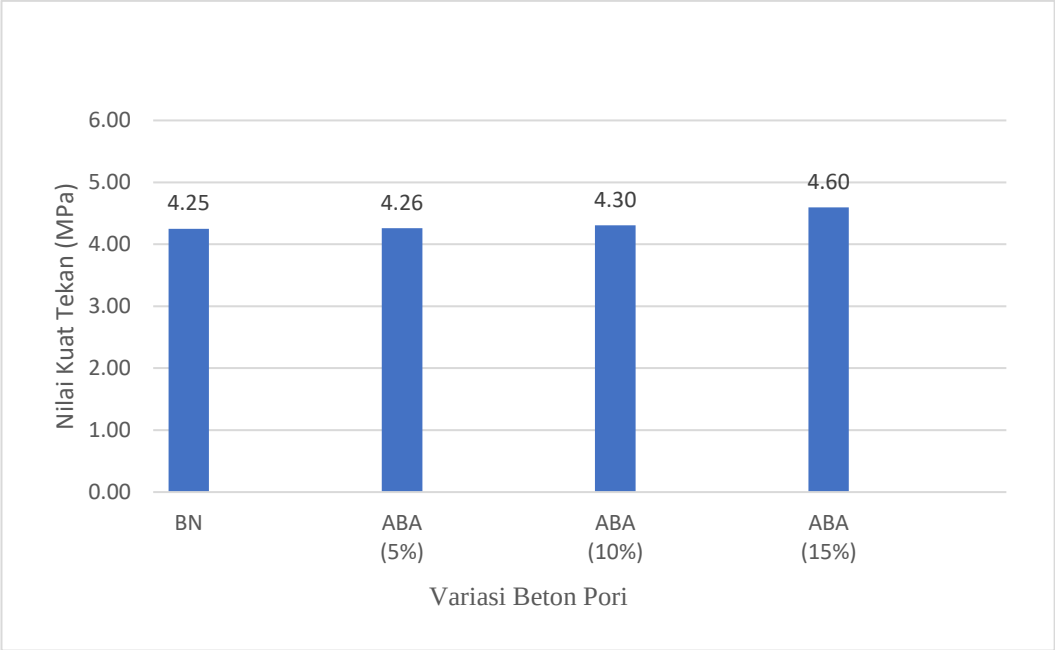
4.3 Hasil Dan Pengujian Beton Pori

4.3.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan pada saat beton umur 28 hari dengan jumlah benda uji 3 setiap variasi. Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini menggunakan mesin kuat tekan dengan kapasitas 1200 KN. Dengan ukuran benda uji yang akan di uji yaitu berupa kubus dengan ukuran 15 x15 x15 cm. berikut merupakan hasil pengujian kuat tekan beton.

Tabel 4.6: Hasil Pengujian Kuat Tekan

Variasi	Benda Uji	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata - Rata (Mpa)
BN	1	22.500	88.29	3.92	4.25
	2	22.500	102.9	4.57	
	3	22.500	95.65	4.25	
ABA (5%)	1	22.500	93.19	4.14	4.26
	2	22.500	98.1	4.36	
	3	22.500	96.23	4.28	
ABA (10%)	1	22.500	95.65	4.25	4.30
	2	22.500	101.73	4.52	
	3	22.500	93.19	4.14	
ABA (15%)	1	22.500	103.01	4.58	4.60
	2	22.500	111.54	4.96	
	3	22.500	95.65	4.25	



Gambar 4.1: Grafik Hasil Nilai Kuat Tekan Rata-Rata

Berdasarkan hasil pengujian, beton pori normal (BN) memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 4,25 MPa. Setelah dilakukan substitusi sebagian semen dengan abu batu apung (ABA) sebesar 5%, kuat tekan meningkat menjadi 4,26 MPa atau naik sekitar 0,24%. Pada variasi ABA 10%, kuat tekan kembali meningkat menjadi 4,30 MPa atau naik sekitar 1,18%, sedangkan pada variasi ABA 15% diperoleh nilai kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 4,60 MPa atau meningkat sekitar 8,24% dibandingkan beton pori normal. Peningkatan tersebut diduga terjadi karena partikel halus abu batu apung berfungsi sebagai filler yang mengisi rongga-rongga dalam campuran beton serta menghasilkan reaksi pozzolanik yang membentuk senyawa C-S-H, sehingga ikatan pasta semen dan agregat menjadi lebih kuat.

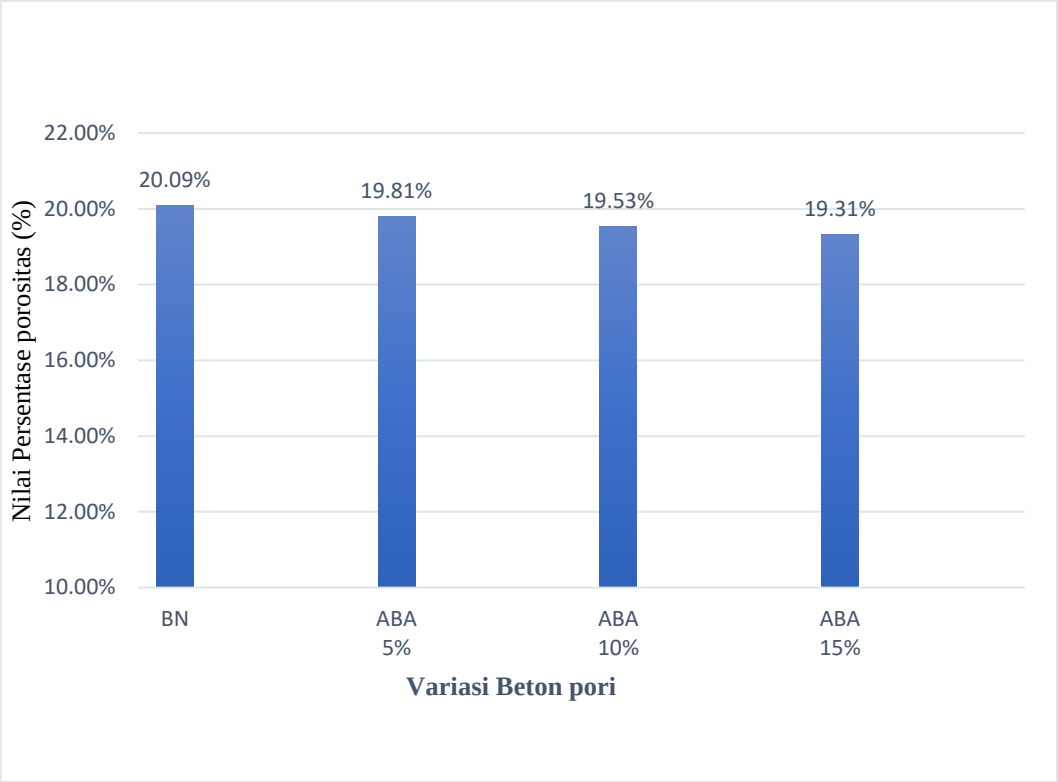
Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Ibrahim et al., (2014) yang melaporkan bahwa beton pori normal memiliki kuat tekan sebesar 4,76 MPa. Nilai tersebut mendekati kuat tekan beton pori normal pada penelitian ini, yaitu sebesar 4,25 MPa. Perbedaan nilai kuat tekan tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan komposisi campuran, rasio air-semen, jenis agregat, dan metode perawatan yang digunakan.

4.3.2 Pengujian Porositas

Pengujian porositas beton pori dilakukan pada umur 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak tiga sampel pada setiap variasi campuran. Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan persentase rongga (void ratio) yang terdapat dalam beton pori. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Hasil pengujian porositas beton pori yang diperoleh dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.7: Hasil Pengujian Porositas

Variasi	Benda Uji	M Jenuh (gr)	M Kering (gr)	ρ Air	Volume Benda uji (cm^3)	Persentase porositas beton (%)	Rata - Rata(%)
BN	1	8925	7865	1	5298.75	20%	20.09%
	2	8850	7756	1	5298.75	21%	
	3	8890	7850	1	5298.75	20%	
ABA 5%	1	8770	7713	1	5298.75	20%	19.81%
	2	8865	7798	1	5298.75	20%	
	3	8785	7760	1	5298.75	19%	
ABA 10%	1	8860	7830	1	5298.75	19%	19.53%
	2	8790	7770	1	5298.75	19%	
	3	8935	7880	1	5298.75	20%	
ABA 15%	1	8820	7810	1	5298.75	19%	19.31%
	2	8900	7860	1	5298.75	20%	
	3	8800	7780	1	5298.75	19%	



Gambar 4.2: Grafik Hasil Nilai Persentase Porositas Rata-Rata

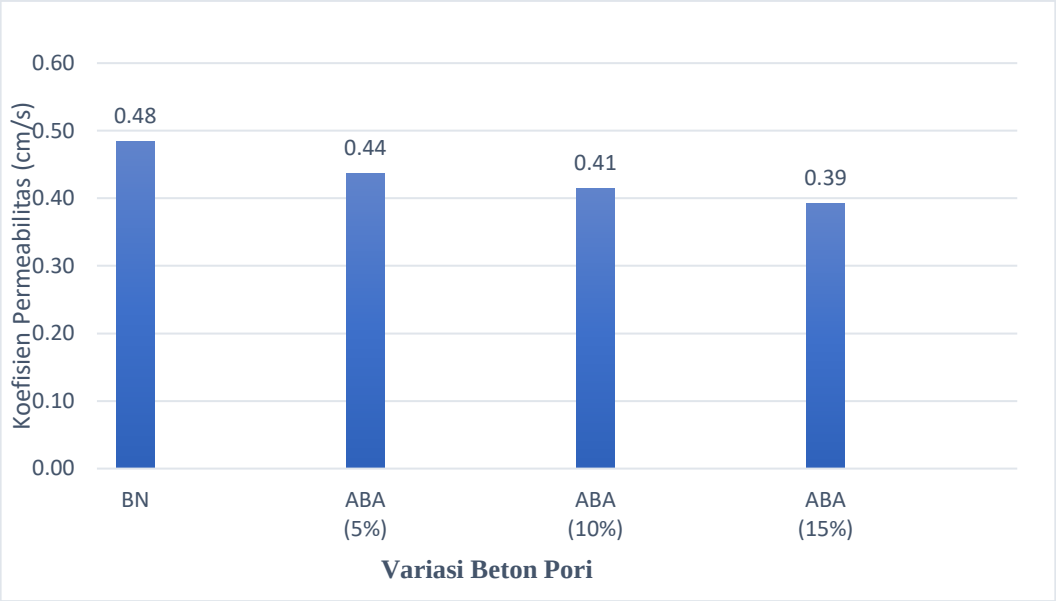
Berdasarkan hasil pengujian, beton pori normal (BN) memiliki nilai porositas rata-rata sebesar 20,09%**.** Setelah ditambahkan abu batu apung (ABA) sebesar 5%**,** nilai porositas menurun menjadi 19,81%**.** Pada variasi ABA 10%**,** porositas kembali mengalami penurunan menjadi 19,53%**,** sedangkan pada variasi ABA 15% diperoleh nilai porositas rata-rata sebesar 19,31%**.** Tren penurunan nilai porositas tersebut menunjukkan bahwa semakin besar persentase penambahan abu batu apung, semakin banyak partikel halus yang berperan sebagai pengisi sehingga sebagian rongga di dalam beton menjadi lebih rapat. Kondisi ini menyebabkan volume pori yang terbentuk cenderung berkurang dibandingkan beton pori normal. Meskipun demikian, nilai porositas pada seluruh variasi masih berada pada kisaran 19–20%**,** sehingga beton tetap memiliki sistem pori yang saling terhubung dan masih mampu mempertahankan karakteristiknya sebagai beton pori yang dapat meloloskan air.

4.3.3 Pengujian Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan ketika beton telah mencapai umur 28 hari. Pada setiap variasi campuran digunakan 3 benda uji untuk memperoleh hasil yang lebih representatif. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton dalam mengalirkan air dengan menggunakan metode Constant Head. Selama pengujian, tinggi muka air dijaga tetap konstan, kemudian volume air yang melewati benda uji diukur dalam jangka waktu tertentu. Hasil pengukuran tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai koefisien permeabilitas beton.Berikut merupakan hasil pengujian permeabilitas beton pada setiap variasi campuran yang telah dilakukan.

Tabel 4.8: Hasil Pengujian Permeabilitas

Variasi	Benda Uji	Luas (A) (mm^2)	Tebal Benda Uji (L)	Head Air, (h) (cm)	Volume air (Q) (cm^3)	Waktu, (t) (detik)	Koefisien Permeabilitas (cm/s)	Permeabilitas Rata - Rata (cm/s)
BN	1	176.71	30	11.32	1950	59.89	0.49	0.48
	2	176.71	30	11.32	1920	60.15	0.48	
	3	176.71	30	11.32	1900	58.72	0.49	
ABA (5%)	1	176.71	30	11.32	1760	68.49	0.39	0.44
	2	176.71	30	11.32	1820	52.45	0.52	
	3	176.71	30	11.32	1810	66.87	0.41	
ABA (10%)	1	176.71	30	11.32	1760	59.03	0.45	0.41
	2	176.71	30	11.32	1732	65.35	0.40	
	3	176.71	30	11.32	1788	67.21	0.40	
ABA (15%)	1	176.71	30	11.32	1790	64.35	0.42	0.39
	2	176.71	30	11.32	1742	69.08	0.38	
	3	176.71	30	11.32	1710	66.87	0.38	



Gambar 4.3: Grafik Hasil Nilai Koefisien Permeabilitas Rata - Rata

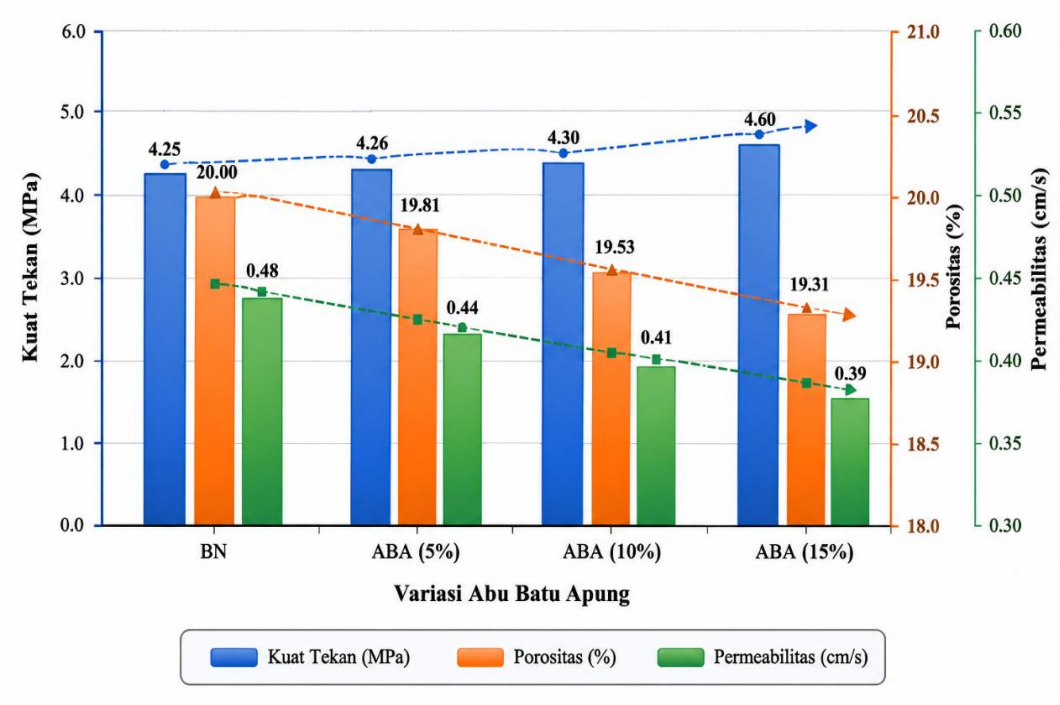
Berdasarkan hasil pengujian, beton pori normal (BN) memiliki nilai permeabilitas rata-rata sebesar 0,48 cm/s. Setelah dilakukan penambahan abu batu apung (ABA) sebanyak **5%**, nilai permeabilitas menurun menjadi 0,44 cm/s. Pada variasi ABA 10%**,** nilai permeabilitas kembali menurun menjadi 0,41 cm/s**,** sedangkan pada variasi ABA 15% diperoleh nilai permeabilitas rata-rata sebesar 0,39 cm/s. Tren penurunan nilai permeabilitas tersebut menunjukkan bahwa semakin besar persentase penambahan abu batu apung, kemampuan beton pori dalam meloloskan air cenderung berkurang. Kondisi ini terjadi karena partikel halus abu batu apung mengisi sebagian rongga di dalam beton sehingga memperkecil jalur aliran air. Meskipun demikian, nilai permeabilitas yang diperoleh pada seluruh variasi masih menunjukkan bahwa beton memiliki sistem pori yang saling terhubung, sehingga air tetap dapat mengalir melalui beton dan fungsi beton pori sebagai media resapan masih dapat dipertahankan.

4.3.4 Hubungan Kuat Tekan, Porositas, dan Permeabilitas

Perbandingan hasil pengujian dilakukan setelah seluruh benda uji mencapai umur 28 hari. Data yang dibandingkan meliputi nilai kuat tekan, porositas, dan permeabilitas pada setiap variasi campuran abu batu apung, yaitu BN, ABA 5%, ABA 10%, dan ABA 15%. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu batu apung terhadap perubahan sifat mekanik dan sifat hidrolik beton pori. Nilai kuat tekan digunakan untuk menunjukkan kemampuan beton dalam menahan beban tekan, sedangkan nilai porositas dan permeabilitas digunakan untuk menggambarkan kemampuan beton dalam menyediakan rongga dan mengalirkan air. Dengan membandingkan ketiga parameter tersebut, dapat diketahui kecenderungan perubahan yang terjadi pada setiap variasi campuran serta diperoleh variasi yang memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan beton dan kemampuan resapan air**.** Berikut merupakan grafik perbandingan kuat tekan, porositas, dan permeabilitas beton pori pada setiap variasi campuran abu batu apung.

Tabel 4.9: Perbandingan Kuat Tekan ,Porositas,Permeabilitas

Variasi	Benda Uji	Kuat Tekan Rata - Rata (Mpa)	Porositas Rata -Rata (%)	Permeabilitas Rata - Rata (cm/s)
BN	1	4.25	20%	0.48
	2			
	3			
ABA (5%)	1	4.26	19.81%	0.44
	2			
	3			
ABA (10%)	1	4.30	19.53%	0.41
	2			
	3			
ABA (15%)	1	4.60	19.31%	0.39
	2			
	3			



Gambar 4.4: Grafik Perbandingan Kuat Tekan,porositas dan Permeabiltas

Berdasarkan hasil pengujian, beton pori normal (BN) memiliki kuat tekan 4,25 MPa, porositas 20,09%, dan permeabilitas 0,48 cm/s. Penambahan abu batu apung (ABA) 5%, 10%, hingga 15% menunjukkan peningkatan kuat tekan berturut-turut menjadi 4,26 MPa, 4,30 MPa, dan 4,60 MPa. Sebaliknya, porositas dan permeabilitas mengalami penurunan dari 19,81% menjadi 19,31% dan dari 0,44 cm/s menjadi 0,39 cm/s.Secara umum, penggunaan menunjukan bahwa peningkatan kuat tekan berkaitan dengan menurunya porositas dan permabilitas beton.Seiring bertambahnya persentase ABA, kuat tekan beton cenderung meningkat, sementara porositas dan permeabilitas mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin sedikit pori dalam beton, semakin padat struktur beton sehingga kuat tekannya dapat meningkat. Selain itu, berkurangnya jumlah dan keterhubungan antarpori menyebabkan jalur aliran air menjadi lebih terbatas sehingga nilai permeabilitas ikut menurun. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh partikel halus ABA yang dapat mengisi sebagian rongga pada campuran beton dan berperan sebagai filler. Meskipun porositas dan permeabilitas mengalami penurunan, beton masih memiliki pori yang saling terhubung sehingga tetap dapat digunakan sebagai beton resapan. Berdasarkan hasil tersebut, variasi ABA 15% dapat dianggap sebagai variasi terbaik karena menghasilkan kuat tekan tertinggi

sebesar 4,60 MPa, dengan porositas sebesar 19,31% dan permeabilitas sebesar 0,39 cm/s.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penggunaan abu batu apung sebagai pengganti sebagian semen pada campuran beton pori, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Variasi persentase abu batu apung berpengaruh terhadap kuat tekan beton pori. Nilai kuat tekan beton pori normal sebesar 4,25 MPa, sedangkan pada variasi abu batu apung 5%, 10%, dan 15% berturut-turut menjadi 4,26 MPa, 4,30 MPa, dan 4,60 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan abu batu apung hingga 15% mampu meningkatkan kuat tekan beton pori sebesar 8,24% dibandingkan beton pori normal, sehingga variasi 15% memberikan hasil kuat tekan terbaik pada penelitian ini.
2. Variasi persentase abu batu apung juga berpengaruh terhadap porositas dan permeabilitas beton pori. Nilai porositas beton pori normal sebesar 20,06%, kemudian berubah menjadi 19,81%, 19,53%, dan 19,31% pada variasi 5%, 10%, dan 15%. Sementara itu, nilai permeabilitas beton pori normal sebesar 0,48 cm/s, lalu menjadi 0,44 cm/s, 0,41 cm/s, dan 0,39 cm/s. Penambahan abu batu apung menyebabkan porositas dan permeabilitas sedikit menurun, namun beton pori masih memiliki kemampuan meloloskan air dengan baik. Dengan demikian, penggunaan abu batu apung hingga 15% dapat memberikan keseimbangan yang baik antara peningkatan kuat tekan dan kemampuan resapan air beton pori.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

1. Penelitian berikutnya disarankan untuk menggunakan variasi kadar abu batu apung yang lebih beragam, misalnya 20%, 25%, dan 30%, sehingga dapat diketahui kadar optimum abu batu apung sebagai bahan pengganti sebagian semen pada beton pori.
2. Pengujian yang dilakukan sebaiknya tidak hanya terbatas pada kuat tekan, porositas, dan permeabilitas, tetapi juga dilengkapi dengan pengujian lain seperti kuat tarik belah, kuat lentur, ketahanan terhadap abrasi, serta durabilitas beton agar karakteristik beton pori dapat diketahui secara lebih menyeluruh.
3. Penelitian selanjutnya juga dapat mengkaji pengaruh faktor lain, seperti variasi faktor air-semen (FAS), ukuran agregat, maupun penggunaan bahan tambah lainnya yang dipadukan dengan abu batu apung untuk memperoleh campuran beton pori dengan performa yang lebih baik.
4. Sebelum diterapkan secara luas di lapangan, perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai kinerja beton pori yang menggunakan abu batu apung terhadap kondisi lingkungan sebenarnya, seperti pengaruh beban lalu lintas, perubahan cuaca, serta umur layan beton. Dengan demikian, hasil penelitian dapat menjadi acuan dalam pengembangan beton pori yang lebih ramah lingkungan dan memiliki kinerja yang baik untuk konstruksi perkerasan maupun sistem drainase.

DAFTAR PUSTAKA

ACI 522R-10. (2010). 522R-10: Report on Pervious Concrete. In *Technical Documents* (Vol. 10, Nomor Reapproved 2011).

Agus, I. (2022). Desain Beton Berongga (Porous Concrete) Dengan Variasi Faktor Air Semen (FAS) Sebagai Beton Ramah Lingkungan. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN*, *11*(1), 18–24. https://doi.org/10.55340/jmi.v11i1.825

Amenu, T., Geremew, A., & Ayene, H. (2023). A Study on The Suitability of Pumice Stone Powder As A Cementitious Material in Sustainable Green Concrete Production. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, *14*(4), 64–78. https://doi.org/10.30880/ijscet.2023.14.04.006

Bencana, B. info. (2025). *Historis 10 tahun banjir jabodetabek*. *6*(3), 1–47.

C618, A. (2019). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use. *Annual Book of ASTM Standards*, *C*, 3–6. https://doi.org/10.1520/C0618-19.2

Das, S., & Juneja, D. K. (2024). Improving the Performance of Porous Concrete by Utilizing the Pumice Aggregate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1327*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1327/1/012006

Elyigit, B., & Ekinci, C. E. (2025). Investigation of the Mechanical and Physical Properties of Acidic Pumice Aggregate-Reinforced Lightweight Concrete Under High-Temperature Exposure. *Buildings*, *15*(14), 1–25. https://doi.org/10.3390/buildings15142505

Eniarti, M., Syahrony, M., Rawiana, S., Sulistyowati, T., & Sulistyowati, S. (2024). Pemanfaatan Campuran Serbuk Batu Apung Dengan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Semen. *Spektrum Sipil*, *11*(1), 19–28. https://doi.org/10.29303/spektrum.v11i1.341

Fajar, M. N. (2024). *Hubungan Nilai Kuat Tekan Beton Porous Dengan Perbandingan Komposisi Terhadap Nilai Permeabilitas*.

Gaus, A., Imran, & Anwar, C. (2020). Analysis of the Mechanical Properties of Concrete Beams That Use Pumice as a Partial Substitution of Concrete Mixtures. *Journal of Physics: Conference Series*, *1569*(4), 6–12. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/4/042037

Gusneli Yanti, Zainuri, & Shanti Wahyuni Megasari. (2021). Variasi Penambahan Sikacim Pada Beton Porous. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, *10*(1), 112–123. https://doi.org/10.22225/pd.10.1.2617.112-123

Handayani, N. K., Musyaffa, M. R., & Rizal, Y. F. (2023). Pengaruh Proporsi Campuran terhadap Kuat Tekan dan Permeabilitas Paving Berpori. *Simposium Nasional*, *2013*, 209–214.

Hwang, Y. J., Kim, S., & Park, M. (2023). *Kandungan abu batu apung*. 1–25.

Ibrahim, A., Mahmoud, E., Yamin, M., & Chowdary, V. (2014). Experimental study on Portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties. *Construction and Building Materials*, *50*, 524–529. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.022

Ke, G., Zhang, X., & Zhang, J. (2022). Hydration characteristics of calcium sulfoaluminate-fly ash mixed with different alkalies. *Case Studies in Construction Materials*, *17*(August), e01478. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01478

Li, L. G., Feng, J. J., Xiao, B. F., Chu, S. H., & Kwan, A. K. H. (2021). Roles of mortar volume in porosity, permeability and strength of pervious concrete. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, *2*(1). https://doi.org/10.1186/s43065-021-00033-2

Liu, F., Li, Z., Liu, B., Yu, Z., Li, Z., Zhu, M., Wang, Y., & Ding, X. (2025). Experimental and Numerical Investigations on the Influences of Target Porosity and w/c Ratio on Strength and Permeability of Pervious Concrete. *Materials*, *18*(17), 1–25. https://doi.org/10.3390/ma18173951

Manan, M. A., & Utomo, E. (2022). Analisis Kuat Tekan Beton Porous dengan Perbandingan Nilai Faktor Air Semen (FAS). *Civil Engineering Scientific Journal*, *1*(1), 1–8. https://doi.org/10.35334/cesj.v1i1.2887

Mayasari, D., Yuhanah, T., & Zuriatni, Y. (2022). Analisis Laju Infiltrasi dan Kekuatan Porous Paving Block Substitusi Fly Ash dan Cangkang Kerang Darah. *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, *24*(2), 78–85. https://doi.org/10.35313/potensi.v24i2.4120

Milla, J., Cavalline, T. L., Rupnow, T. D., Melugiri-Shankaramurthy, B., Lomboy, G., & Wang, K. (2021). Methods of test for concrete permeability: A critical review. In *Advances in Civil Engineering Materials* (Vol. 10, Nomor 1, hal. 172–209). ASTM International. https://doi.org/10.1520/ACEM20200067

Nasution, S. A. (2020). Pengaruh Penggunaan Bahan Zeolit Dan Recycle Coarse (Rca) Sebagai Agregate Pada Beton Porous. *Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, *6*(1), 13–20.

Oinam, Y., Ju, S., Gwon, S., Shin, M., & Pyo, S. (2022). Characteristics of GGBFS-Based Pervious Concrete Considering Rheological Properties of the Binder. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, *16*(1). https://doi.org/10.1186/s40069-022-00551-7

Pareek, K., & Hong, Y. M. (2020). Prediction of Permeability and Compressive strength for Pervious Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and*

Engineering, *812*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/812/1/012013

Riyanto, E., Setiawan, A., & Taufik, M. (2023). Pengaruh Ukuran Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Infiltrasi dan Permeabilitas Beton Porous. *Jurnal Surya Beton*, *7*(1). http://jurnal.umpwr.ac.id/index.php/suryabeton

Sanjaya, N., Saloma, Hanafiah, Juliantina, I., & Nurjannah, S. A. (2021). Compressive Strength, Permeability and Porosity Analysis of Pervious Concrete by Variation of Aggregate and Compacting Method. *Journal of Physics: Conference Series*, *1783*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1783/1/012073

Sičáková, A., & Kováč, M. (2020). Relationships between functional properties of pervious concrete. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(16). https://doi.org/10.3390/SU12166318

Sumesh Mathialagan. (2020). engineering properties and microstructural characteristics of cement and geopolymer based mortars using nontraditional supplementary cementitious materials. *sumesh mathialagan*.

Wube, A., & Gebreyouhannes, E. (2020). *Addis Ababa Institute of Technology School of Civil and Environmental Engineering Effects of Pumice As a Partial Replacement on the Performance of Pervious Cement Concrete*.

LAMPIRAN

A.Pengujian Kuat Tekan

1. Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut:

Benda Uji 1 (A1)

- Beban (P) = 9 ton x 9.81 = 88.29 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{88.29\ Kn\ x\ 1000}{22.500\ mm^2}$$

$$= \frac{88.290\ N}{22.500\ mm^2}$$

$$= 3.924\ N/mm^2$$

$$= 3.92\ MPa$$

Benda Uji 2 (A2)

- Beban (P) = 10.5 ton x 9.81 = 102.9 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{102.9\ kn\ x\ 1000}{22.500\ mm^2}$$

$$= \frac{102.90\ N}{22.500\ mm^2}$$

$$= 4.573\ N/mm^2$$

$$= 4.6\ MPa$$

Benda Uji 3 (A3)

- Beban (P) = 9.75 ton x 9.81 = 95.65 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{95.65\ kn\ x\ 1000}{22.500\ mm^2}$$

$$= \frac{95.650\ N}{22.500\ mm^2}$$

$= 4.25\ \text{N/mm}^2$

$= 4.25$ Mpa

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

Kuat Tekan Beton Rata- Rata $= \frac{\text{Hasil A1+Hasil A2+Hasil A3}}{3}$

$= \frac{3.9 + 4.6 + 4.25}{3}$

$= 4.25$ MPa

2. Perhitungan Kuat Tekan Beton Variasi ABA (5%)

Benda Uji 1 (B1)

- Beban (P) = 9.5 ton x 9.81 = 93.19 Kn
- Luas Kubus (A) $= 22.500\ \text{mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$

$= \frac{93.19\ \text{kn x } 1000}{22.500\ \text{mm}^2}$

$= \frac{93.190\ \text{N}}{22.500\ \text{mm}^2}$

$= 4.141\ \text{N/mm}^2$

$= 4.14$ Mpa

Benda Uji 2 (B2)

- Beban (P) = 10 ton x 9.81 = 98.1 Kn
- Luas Kubus (A) $= 22.500\ \text{mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$

$= \frac{98.1\ \text{kn x } 1000}{22.500\ \text{mm}^2}$

$= \frac{98.10\ \text{N}}{22.500\ \text{mm}^2}$

$= 4.36\ \text{N/mm}^2$

$= 4.36$ Mpa

Benda Uji 3 (B3)

- Beban (P) = 9.75 ton x 9.81 = 96.232 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{96.232 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= \frac{96.232 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= 4.27 \text{ N/mm}^2$$

$$= 4.27 \text{ Mpa}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\text{Kuat Tekan Beton Rata- Rata} = \frac{\text{Hasil B1+Hasil B2+Hasil B3}}{3}$$

$$= \frac{4.14+4.36+4.27}{3}$$

$$= 4.26 \text{ MPa}$$

3. Perhitungan Kuat Tekan Beton Variasi ABA (10%)

Benda Uji 1 (C1)

- Beban (P) = 9.75 ton x 9.81 = 95.65 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{95.65 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= \frac{95.650 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= 4.251 \text{ N/mm}^2$$

$$= 4.25 \text{ Mpa}$$

Benda Uji 2 (C2)

- Beban (P) = 10.37 ton x 9.81 = 101.73 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2

- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$= \frac{101.73 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= \frac{101.730 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= 4.52 \text{ N/mm}^2$

$= 4.52 \text{ Mpa}$

Benda Uji 3 (C3)

- Beban (P) =9.5 ton x 9.81 = 93.19 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$= \frac{93.19 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= \frac{93.190 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= 4.141 \text{ N/mm}^2$

$= 4.14 \text{ Mpa}$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

Kuat Tekan Beton Rata- Rata = $\frac{\text{Hasil C1+Hasil C2+Hasil C3}}{3}$

$= \frac{4.25+4.52+4.14}{3}$

$= 4.30 \text{ MPa}$

4. Perhitungan Kuat Tekan Beton Variasi ABA (15%)

Benda Uji 1 (D1)

- Beban (P) = 10.5 ton x 9.81 = 103.01 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{\text{P}}{\text{A}}$

$= \frac{103.01 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= \frac{103.010 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= 4.578 \text{ N/mm}^2$

$= 4.6$ Mpa

Benda Uji 2 (D2)

- Beban (P) $= 11.37$ ton x $9.81 = 111.54$ Kn
- Luas Kubus (A) $= 22.500 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$

$$= \frac{111.54 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= \frac{111.540 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$= 4.95 \text{ N/mm}^2$

$= 4.96$ Mpa

Benda Uji 3 (D3)

- Beban (P) $= 9.75$ x $9.81 = 95.65$ Kn
- Luas Kubus (A) $= 22.500 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{P}{A}$

$$= \frac{95.65 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= \frac{95.650 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$= 4.251 \text{ N/mm}^2$

$= 4.25$ Mpa

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

Kuat Tekan Beton Rata- Rata $= \frac{\text{Hasil D1+Hasil D2+Hasil D3}}{3}$

$$= \frac{4.6 + 4.96 + 4.25}{3}$$

$= 4.60$ MPa

B. Pengujian Porositas

1. Perhitungan Porositas Beton Pori Normal

Hasil pengujian permeabilitas pada beton normal sebagai berikut:

Benda Uji 1 (A1)

- M (Jenuh) = 8925 gr
- M (Kering) = 7865 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{\text{MJenuh}-\text{MKering}}{\rho \cdot v}$ x 100

  = $\frac{8925\ \text{gr}-7865\ \text{gr}}{1\ \text{gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75\ \text{cm}^3}$ x 100

  = 20 %

Benda Uji 2 (A2)

- M (Jenuh) = 8850 gr
- M (Kering) = 7756 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{\text{MJenuh}-\text{MKering}}{\rho \cdot v}$ x 100

  = $\frac{8850\ \text{gr}-7756\ \text{gr}}{1\ \text{gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75\ \text{cm}^3}$ x 100

  = 20.65%

Benda Uji 3 (A3)

- M (Jenuh) = 8890 gr
- M (Kering) = 7850 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{\text{MJenuh}-\text{MKering}}{\rho \cdot v}$ x 100

$$= \frac{8890\ gr - 7850\ gr}{1\ gr/cm^3 \times 5298.75\ cm^3} \times 100$$

$$= 19.62\ \%$$

Hasil Porositas Beton Rata-Rata

$$\text{Porositas Beton Rata- Rata} = \frac{\text{Hasil A1} + \text{Hasil A2} + \text{Hasil A3}}{3}$$

$$= \frac{20 + 20.65 + 19.62}{3}$$

$$= 20.09\%$$

2. Perhitungan Porositas Variasi ABA (5%)

Benda Uji 1 (B1)

- M (Jenuh) = 8770 gr
- M (Kering) = 7713 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton $= \frac{MJenuh - MKering}{\rho \cdot v} \times 100$

$$= \frac{8770\ gr - 7713\ gr}{1\ gr/cm^3 \times 5298.75\ cm^3} \times 100$$

$$= 19.95\ \%$$

Benda Uji 2 (B2)

- M (Jenuh) = 8865 gr
- M (Kering) = 7798 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton $= \frac{MJenuh - MKering}{\rho \cdot v} \times 100$

$$= \frac{8865\ gr - 7798\ gr}{1\ gr/cm^3 \times 5298.75\ cm^3} \times 100$$

$$= 20.14\ \%$$

Benda Uji 3 (B3)

- M (Jenuh) = 8785 gr
- M (Kering) = 7760 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{MJenuh-MKering}{\rho \, . \, v}$ x 100

  = $\frac{8785 \text{ gr} - 7760 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75 \text{ cm}^3}$ x 100

  = 19.85 %

Hasil Porositas Beton Rata-Rata

Porositas Beton Rata- Rata = $\frac{\text{Hasil B1+Hasil B2+Hasil B3}}{3}$

= $\frac{19.95+20.14+19.85}{3}$

= 19.98 %

3. Perhitungan Porositas Variasi ABA (10%)

Benda Uji 1 (D1)

- M (Jenuh) = 8860 gr
- M (Kering) = 7830 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{\text{MJenuh} - \text{MKering}}{\rho \, . \, \text{v}}$ x 100

  = $\frac{8860 \text{ gr} - 7830 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75 \text{ cm}^3}$ x 100

  = 19.44 %

Benda Uji 2 (D2)

- M (Jenuh) = 8790 gr

- M (Kering) = 7770 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{\text{MJenuh}-\text{MKering}}{\rho \cdot v}$ x 100

  = $\frac{8790\ \text{gr}-7770\ \text{gr}}{1\ \text{gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75\ \text{cm}^3}$ x 100

  = 19.25%

Benda Uji 3 (D3)

- M (Jenuh) = 8935 gr
- M (Kering) = 7880 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{\text{MJenuh}-\text{MKering}}{\rho \cdot v}$ x 100

  = $\frac{8935\ \text{gr}-7880\ \text{gr}}{1\ \text{gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75\ \text{cm}^3}$ x 100

  = 19.91 %

Hasil Porositas Beton Rata-Rata

Porositas Beton Rata- Rata = $\frac{\text{Hasil D1}+\text{Hasil D2}+\text{Hasil D3}}{3}$

= $\frac{19.44+19.25+19.91}{3}$

= 19.53 %

4. Perhitungan Porositas Variasi ABA (15%)

Benda Uji 1 (C1)

- M (Jenuh) = 8820 gr
- M (Kering) = 7810 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{MJenuh-MKering}{\rho \cdot v}$ x 100

$$= \frac{8820\ \text{gr} - 7810\ \text{gr}}{1\ \text{gr/cm}^3 \times 5298.75\ \text{cm}^3} \times 100$$

$$= 19.06\ \%$$

Benda Uji 2 (C1)

- M (Jenuh) = 8900 gr
- M (Kering) = 7860 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton $= \frac{MJenuh - MKering}{\rho \,.\, v} \times 100$

$$= \frac{8900\ \text{gr} - 7860\ \text{gr}}{1\ \text{gr/cm}^3 \times 5298.75\ \text{cm}^3} \times 100$$

$$= 19.63\%$$

Benda Uji 3 (C1)

- M (Jenuh) = 8800 gr
- M (Kering) = 7780 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton $= \frac{MJenuh - MKering}{\rho \,.\, v} \times 100$

$$= \frac{8800\ \text{gr} - 7780\ \text{gr}}{1\ \text{gr/cm}^3 \times 5298.75\ \text{cm}^3} \times 100$$

$$= 19.25\ \%$$

Hasil Porositas Beton Rata-Rata

$$\text{Porositas Beton Rata- Rata} = \frac{\text{Hasil C1} + \text{Hasil C2} + \text{Hasil C3}}{3}$$

$$= \frac{19.06 + 19.63 + 19.25}{3}$$

$$= 19.31\ \%$$

C.Pengujian Permeabilitas

1. Perhitungan Permeabilitas Beton Pori Normal

Hasil pengujian permeabilitas pada beton normal sebagai berikut:

Benda Uji 1 (A1)

- Volume Air (Q) = 1950 cm^3
- Tebal Benda Uji (L) = 30 cm
- Luas Penampang (A) = 176.71 cm^2
- Beda Tinggi Muka Air (h) = 11.32 cm
- Waktu Aliran (t) = 59.89 dt
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1950\ cm^3 \text{ x } 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 59.89\ dt}$$

$$= 0.50\ cm/dt$$

Benda Uji 2 (A2)

- Volume Air (Q) = 1920 cm^3
- Tebal Benda Uji (L) = 30 cm
- Luas Penampang (A) = 176.71 cm^2
- Beda Tinggi Muka Air (h) = 11.32 cm
- Waktu Aliran (t) = 60.15 s
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1920\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{x } 11.32\ cm \text{ x } 60.15\ dt}$$

$$= 0.48\ cm/dt$$

Benda Uji 3 (A3)

- Volume Air (Q) = 1900 cm^3
- Tebal Benda Uji (L) = 30 cm
- Luas Penampang (A) = 176.71 cm^2
- Beda Tinggi Muka Air (h) = 11.32 cm

- Waktu Aliran (t) = 58.72 dt
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1900\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 58.72\ dt}$$

$$= 0.47\ cm/dt$$

Hasil Permeabilitas Beton Rata-Rata

Permeabilitas Beton Rata- Rata $= \frac{\text{Hasil A1+Hasil A2+Hasil A3}}{3}$

$$= \frac{0.50+0.48+0.47}{3}$$

$$= 0.48\ cm/s$$

2. Perhitungan Permeabilitas Variasi ABA (5%)

Benda Uji 1 (B1)

- Volume Air (Q) = 1760 cm^3
- Tebal Benda Uji (L) = 30 cm
- Luas Penampang (A) = 176.71 cm^2
- Beda Tinggi Muka Air (h) = 11.32 cm
- Waktu Aliran (t) = 68.49 dt
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1760\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71 cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 68.49\ dt}$$

$$= 0.39\ cm/s$$

Benda Uji 2 (B2)

- Volume Air (Q) = 1820 cm^3
- Tebal Benda Uji (L) = 30 cm
- Luas Penampang (A) = 176.71 cm^2
- Beda Tinggi Muka Air (h) = 11.32 cm
- Waktu Aliran (t) = 59.78 dt
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1715\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71 cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 59.78\ dt}$$

= 0.46 cm/s

Benda Uji 3 (B3)

- Volume Air (Q) = 1810 cm^3
- Tebal Benda Uji (L) = 30 cm
- Luas Penampang (A) = 176.71 cm^2
- Beda Tinggi Muka Air (h) = 11.32 cm
- Waktu Aliran (t) = 66.87 dt
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1810\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 66.87\ dt}$$

= 0.41 cm/s

Hasil Permeabilitas Beton Rata-Rata

Permeabilitas Beton Rata- Rata $= \frac{\text{Hasil B1+Hasil B2+Hasil B3}}{3}$

$$= \frac{0.39+0.46+0.41}{3}$$

= 0.42 cm/s

3. Perhitungan Permeabilitas Variasi ABA (10%)

Benda Uji 1 (C1)

- Volume Air (Q) = 1760 cm^3
- Tebal Benda Uji (L) = 30 cm
- Luas Penampang (A) = 176.71 cm^2
- Beda Tinggi Muka Air (h) = 11.32 cm
- Waktu Aliran (t) = 59.03 dt
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1760\ cm^2 x\ 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 59.03\ dt}$$

= 0.45 cm/s

Benda Uji 2 (C2)

- Volume Air (Q) = 1732 cm^3
- Tebal Benda Uji (L) = 30 cm
- Luas Penampang (A) = 176.71 cm^2
- Beda Tinggi Muka Air (h) = 11.32 cm
- Waktu Aliran (t) = 65.35 dt
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1732 cm^2 \text{ x } 30 \text{ cm}}{176.71 \text{ cm}^2 \text{ x } 11.32 \text{ cm x } 65.35 \text{ dt}}$$

$$= 0.40 \text{ cm/s}$$

Benda Uji 3 (C3)

- Volume Air (Q) = 1788cm^3
- Tebal Benda Uji (L) = 30 cm
- Luas Penampang (A) = 176.71 cm^2
- Beda Tinggi Muka Air (h) = 11.32 cm
- Waktu Aliran (t) = 67.21 s
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1788 \text{ cm}^2 \text{ x } 30 \text{ cm}}{176.71 \text{ cm}^2 \text{ x } 11.32 \text{ cm x } 67.21 \text{ dt}}$$

$$= 0.40 \text{ cm/s}$$

Hasil Permeabilitas Beton Rata-Rata

Permeabilitas Beton Rata- Rata $= \frac{\text{Hasil C1+Hasil C2+Hasil C3}}{3}$

$$= \frac{0.45+0.40+0.40}{3}$$

$$= 0.41 \text{ cm/s}$$

4. Perhitungan Permeabilitas Variasi ABA (15%)

Benda Uji 1 (D1)

- Volume Air (Q) = 1790 cm^3

- Tebal Benda Uji (L) = 30 cm
- Luas Penampang (A) = 176.71 cm^2
- Beda Tinggi Muka Air (h) = 11.32 cm
- Waktu Aliran (t) = 64.35 s
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1790\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 64.35\ dt}$$

= 0.42 cm/s

Benda Uji 2 (D2)

- Volume Air (Q) = 1742 cm^3
- Tebal Benda Uji (L) = 30 cm
- Luas Penampang (A) = 176.71 cm^2
- Beda Tinggi Muka Air (h) = 11.32 cm
- Waktu Aliran (t) = 69.08 s
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1742\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 69.08\ dt}$$

= 0.38 cm/s

Benda Uji 3 (D3)

- Volume Air (Q) = 1710 cm^3
- Tebal Benda Uji (L) = 30 cm
- Luas Penampang (A) = 176.71 cm^2
- Beda Tinggi Muka Air (h) = 11.32 cm
- Waktu Aliran (t) = 66.87 s
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1710\ cm^2 x\ 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 66.87\ dt}$$

= 0.38 cm/s

Hasil Permeabilitas Beton Rata-Rata

Permeabilitas Beton Rata- Rata $= \frac{\text{Hasil D1+Hasil D2+Hasil D3}}{3}$

$= \frac{0.45+0.37+0.38}{3}$

= 0.39 cm/s

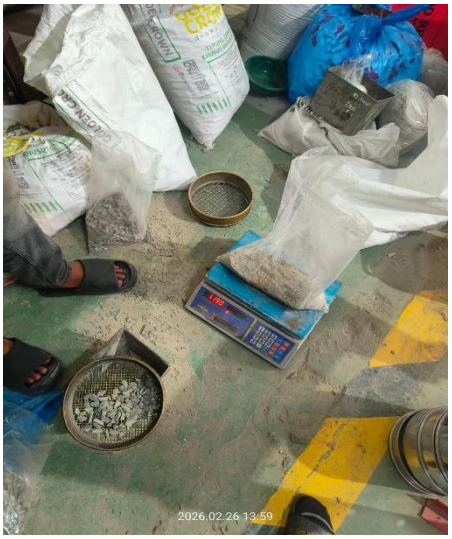
D. DOKUMENTASI PELAKSANAAN



Gambar L- 1: Persiapan Agregat Kasar



Gambar L- 2: Persiapan Bahan Batu Apung



Gambar L- 3:Penimbangan bahan uji



Gambar L- 4: Pembuatan Benda Uji



Gambar L- 5: Proses Memasukan Benda Uji Ke Cetakan



Gambar L- 6: Proses Melepaskan Cetakan Dari benda Uji



Gambar L- 7:Proses Curing



Gambar L- 8: Proses Pengujian Kuat Tekan



Gambar L- 9 Proses Pembuatan Alat Pengujian Permeabilitas



Gambar L- 10 Proses Pengujian Porositas

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA IDENTITAS DIRI

Nama Lemgkap	: Zibran
Tempat Tanggal Lahir	: Medan, 21 Juni 2005
Jenis Kelamin	: Laki- Laki
Agama	: Islam
Alamat	: Jl . Tanjung Balai Gg.Mulia Sunggal Kanan , Kec Sunggal, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20351
Nomor Hp	: +6281377199319
Nama Ayah	: Masriadi
Nama Ibu	: Yuliawati

RIWAYAT PENDIDIKAN

NIM	: 2207210114
Program Studi	: Teknik Sipil
Fakultas	: Teknik
Perguruan Tinggi	: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi	: Jl. Kapten Muchtar Basri, No. 3, Medan, 20238

PENDIDIKAN FORMAL

Sekolah Dasar	: SD Swasta Bunda Kandung	2010-2016
Sekolah Menengah Pertama	: SMP IT Jabal Noor	2016-2019
Sekolah Menengah Atas	: SMA Muhammadiyah 02 Medan	2019-2022