TUGAS AKHIR

ANALISIS SIFAT-SIFAT BETON PORI DENGAN ABU CANGKANG SAWIT DAN KARET BAN BEKAS

(Studi Penelitian)

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

Disusun Oleh:

EDY RAMANDA MANURUNG
2207210139

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

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama	: Edy Ramanda Manurung
Npm	: 2207210139
Program Studi	:Teknik sipil
Judul skripsi	: Analisis Sifat-Sifat Beton Pori Dengan Abu Cangkang Sawit Dan Karet Ban Bekas
Bidang Ilmu	: Struktur

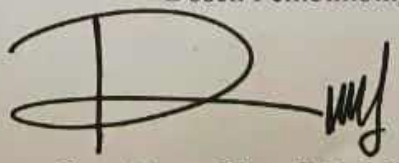
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

DISETUJUI DISAMPAIKAN
KEPADA PANITIA UJIAN
SKRIPSI

Medan, 26 Agustus 2026

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN

Nama	: Edy Ramanda Manurung
Npm	: 2207210139
Program Studi	:Teknik sipil
Judul skripsi	: Analisis Sifat-Sifat Beton Pori Dengan Abu Cangkang Sawit Dan Karet Ban Bekas
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, 26 Agustus 2026

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing

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

Dosen Pembanding I

Ir. Tondi Amirsyah Putera, S.T, M.T

Dosen Pembanding II

Sri Prapanti, 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	: Edy Ramanda Manurung
Tempat, Tanggal Lahir	: Medan, 16 November 2003
Npm	: 2207210139
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sejujur-jujurnya bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul **"Analisis Sifat-Sifat Beton Pori Dengan Abu Cangkang Sawit Dan Karet Ban Bekas (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 26 Agustus 2026

Yang menyatakan



Edy Ramanda Manurung

ABSTRAK

ANALISIS SIFAT-SIFAT BETON PORI DENGAN ABU CANGKANG SAWIT DAN KARET BAN BEKAS

Edy Ramanda Manurung
2207210139
Fetra Veny Riza, ST.,M.Sc., Ph.D.

Banjir masih menjadi permasalahan utama di Indonesia akibat berkurangnya daerah resapan air karena meningkatnya penggunaan permukaan kedap air. Beton pori (*pervious concrete*) merupakan salah satu solusi, namun memiliki kuat tekan yang relatif rendah. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh abu cangkang sawit (ACS) sebagai pengganti sebagian semen dan karet ban bekas (BKB) 5% sebagai pengganti sebagian agregat terhadap kuat tekan, porositas, dan permeabilitas beton pori. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dengan variasi BN, BKB 5%, BKB 5% + ACS 10%, 15%, dan 20% yang diuji setelah *curing* 28 hari. Hasil menunjukkan kuat tekan berturut-turut sebesar 4,2; 4,5; 3,7; 4,3; dan 4,6 MPa, dengan perubahan terhadap beton normal sebesar naik 7,14%, turun 11,90%, naik 2,38%, dan naik 9,52%. Nilai porositas berturut-turut sebesar 20,09%; 13,83%; 15,09%; 16,16%; dan 17,01%, sedangkan permeabilitas sebesar 0,48; 0,47; 0,50; 0,52; dan 0,63 cm/s. Variasi BKB 5% + ACS 20% memberikan hasil terbaik karena menghasilkan kuat tekan tertinggi dengan porositas dan permeabilitas yang tetap memenuhi fungsi resapan air. Penelitian selanjutnya disarankan mengkaji variasi ACS yang lebih luas, sifat mekanik dan durabilitas, serta melakukan uji lapangan sebelum diterapkan sebagai material perkerasan ramah lingkungan.

Kata kunci: beton pori, abu cangkang sawit, karet ban bekas, kuat tekan, porositas, permeabilitas.

ABSTRACT

Analysis of the Properties of Porous Concrete Incorporating Palm Shell Ash and Waste Tire Rubber

Edy Ramanda Manurung
2207210139
Fetra Veny Riza, ST.,M.Sc., Ph.D.

Flooding remains one of the major problems in Indonesia due to the reduction of water infiltration areas caused by the increasing use of impervious surfaces. Pervious concrete is a potential solution because it allows water to infiltrate through interconnected voids; however, it generally has lower compressive strength than conventional concrete. This study aimed to analyze the effect of palm shell ash (PSA) as a partial cement replacement and 5% waste tire rubber (WTR) as a partial coarse aggregate replacement on the compressive strength, porosity, and permeability of pervious concrete. The research was conducted experimentally at the Concrete Laboratory, Faculty of Engineering, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, using five mixtures: Normal Concrete (BN), WTR 5%, WTR 5% + PSA 10%, WTR 5% + PSA 15%, and WTR 5% + PSA 20%, all tested after 28 days of curing. The results showed compressive strengths of 4.2, 4.5, 3.7, 4.3, and 4.6 MPa, representing changes of +7.14%, −11.90%, +2.38%, and +9.52%, respectively, compared with the normal mixture. The corresponding porosity values were 20.09%, 13.83%, 15.09%, 16.16%, and 17.01%, while the permeability values were 0.48, 0.47, 0.50, 0.52, and 0.63 cm/s. The WTR 5% + PSA 20% mixture exhibited the best overall performance, achieving the highest compressive strength while maintaining porosity and permeability suitable for water infiltration. Future studies are recommended to investigate a wider range of PSA replacement levels, evaluate additional mechanical and durability properties, and conduct field-scale testing before implementing this material as an environmentally friendly pavement.

Keywords: pervious concrete, palm shell ash, waste tire rubber, 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 Analisis Sifat-Sifat Beton Pori Dengan Abu Cangkang Sawit Dan Karet Ban Bekas 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 Venny 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 Ir. Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T. 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. Sri Frapanti, 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 Manappin Manurung dan Ibunda saya willy Syafitri 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 Desi anggraini Br. Manurrung yang telah memberikan doa dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Semua teman-teman Mahasiswa/i Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara stambuk 2022 yang telah membantu.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Medan, 26 Agustus 2026



Edy Ramanda Manurung

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton Pori	5
2.2 Abu Cangkang Sawit	6
2.3 Karet Ban Bekas	7
2.4 Kuat tekan	8
2.5 Porositas	9
2.6 Permeabilitas	10
BAB 3 METODE PENELITIAN	12
3.1 Bagan Alir	12
3.3 Tempat dan waktu penelitian	14
3.4 Alat dan bahan	15
3.4.1 Alat	15
3.4.2 Bahan	23
3.5 Pemeriksaan Bahan Tambah	27
3.5.1 Pemeriksaan agregat kasar	27

3.5.2 Pemeriksaan agregat karet ban bekas 29
3.6 Pembuatan Beton Pori 30
3.7 Perawatan (Curing) 31
3.8 Mix Design 32
3.9 Takaran Mix Desain 33
3.9.1 Cetakan Kubus 33
3.9.2 Cetakan Silinder 34
3.9.3 Perhitungan Dasar Mix Desain 35
3.10 Pengujian Beton Pori 40
3.10.1 Kuat Tekan 41
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 45
4.1.3 Kadar Air 46
4.2. Hasil Pengujian Beton Pori 47
4.2.1 Pengujian Kuat Tekan 47
4.2.2 Pengujian Porositas 49
4.2.3 Pengujian Permeabilitas 50
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 53
5.1 Kesimpulan 53
5.2 Saran 54
DAFTAR PUSTAKA 55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1: Diagram Alir 12
Gambar 3.2 : timbangan digital 15
Gambar 3.3 : Concrete Mixer 15
Gambar 3.4 : Cetakan 16
Gambar 3.5 : Cetakan Kubus 16
Gambar 3.6 : tongkat pemadat 17
Gambar 3.7 : bak rendam sample bahan uji 17
Gambar 3.8 : oven 18
Gambar 3.9 : Compression Testing Machine 18
Gambar 3.10 : sekop 19
Gambar 3.11 : gelas ukur 19
Gambar 3.12 : sarung tangan 20
Gambar 3.13 : masker 20
Gambar 3.14 : kuas 21
Gambar 3.15 : Kerucut Abrams 21
Gambar 3.16 : saringan no 200 22
Gambar 3.17 : saringan no 4 22
Gambar 3.18 : Palu karet 23
Gambar 3.20 : semen portland 23
Gambar 3.21: batu pecah 24
Gambar 3.22 : air bersih 24
Gambar 3.23 : minyak gemuk 25
Gambar 3.24 : Bahan Tambah abu cangkang sawit 26
Gambar 3.25 : Bahan tambah karet ban bekas 27
Gambar 3.26 : Compression Testing Machine 41
Gambar 3.27 : Alat Uji Porositas 42
Gambar 3.28 : Alat Uji Permeabilitas 43

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Mix Desain 32

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 45

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar 46

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kuat Tekan 47

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Porositas 49

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Permeabilitas 51

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir masih menjadi bencana yang paling dominan di Indonesia, sebagaimana dari laporan BNPB yang mencatat 1.287 peristiwa banjir hingga Oktober 2025, angka tertinggi dibandingkan jenis bencana lainnya pada tahun yang sama. Situasi tersebut semakin ditegaskan oleh temuan Buletin Info Bencana BNPB edisi Maret 2025 yang melaporkan bahwa 185.961 rumah terdampak banjir hanya dalam kurun satu bulan**,** menunjukkan betapa rentannya berbagai wilayah terhadap bencana ini (Kebencanaan et al., 2025)Kondisi tersebut semakin diperburuk oleh masifnya penggunaan permukaan kedap air di kawasan perkotaan yang menghambat proses infiltrasi alami. Salah satu solusi yang banyak direkomendasikan secara internasional untuk menekan volume limpasan permukaan adalah penerapan perkerasan berpori, seperti pervious concrete, yang dirancang agar air dapat langsung meresap ke dalam tanah (Adriansyah et al., 2025).

Beton pori merupakan inovasi material yang mampu meningkatkan kemampuan tanah menyerap air berkat adanya jaringan rongga yang saling terhubung. Meski demikian, material ini masih memiliki keterbatasan, terutama pada aspek kuat tekan yang cenderung lebih rendah dibandingkan beton normal, sehingga penggunaannya umumnya terbatas pada konstruksi non-struktural. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, berbagai penelitian mulai memanfaatkan limbah industri yang melimpah di Indonesia, seperti abu cangkang sawit dan serpihan karet ban bekas. Indonesia sebagai produsen utama kelapa sawit menghasilkan limbah abu cangkang sawit dengan kandungan silika sekitar 60–70%, yang berpotensi meningkatkan kualitas matriks beton (Ramadhani & Sitanggang, 2023). Di sisi lain, limbah ban bekas yang terus bertambah seiring peningkatan jumlah kendaraan dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat guna meningkatkan sifat elastis beton (Olivia, 2019).

Abu cangkang sawit memiliki kandungan silika, kalsium oksida, dan alumina dalam proporsi yang cukup tinggi, sehingga mampu berperan sebagai bahan pozzolanik yang memperkuat ikatan antarpartikel dalam campuran semen (Manaf et al., 2023). Pemanfaatannya pada beton pori memberikan kontribusi tambahan karena

ketiga senyawa tersebut dapat menggantikan sebagian fungsi semen sebagai komponen pozzolanik (Manaf et al., 2023). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang sawit pada rentang 10–20% menghasilkan peningkatan kuat tekan beton pori, sedangkan penggunaan dalam kadar lebih besar justru menurunkan kinerja material akibat perubahan struktur porinya (Manaf et al., 2023).

Limbah ban bekas salah satu penyumbang sampah industri yang sulit terurai secara alami, karena sifat karet yang tahan degradasi, sehingga pemanfaatannya sebagai bahan pengganti agregat pada beton dinilai sebagai solusi ramah lingkungan yang sesuai dengan prinsip ekonomi sirkular." (Faridl et al., 2025). Temuan (Azunna et al., 2025) menjelaskan bahwa pemanfaatan limbah karet ban dalam campuran beton dapat meningkatkan fleksibilitas dan kemampuan beton menahan perubahan bentuk, meskipun porsinya yang terlalu besar dapat menyebabkan penurunan kuat tekan karena bertambahnya porositas mikro. Selain itu, Penelitian ini akan mengevaluasi dampak penambahan karet bekas terhadap sifat mekanik beton, seperti kuat tekan dan workability (Raafidiani et al., 2022). Hasil penelitian (Sukumar & Deepan, 2020) memperlihatkan bahwa penggunaan limbah industri sebagai bahan tambahan dapat memperbaiki ketahanan beton, mengurangi pemakaian semen, sekaligus mendukung prinsip pembangunan hijau.

1.2 Rumusan Masalah

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

a) Bagaimana pengaruh variasi penggunaan abu cangkang sawit sebagai bahan pengganti sebagian semen dan karet ban bekas sebagai bahan pengganti sebagian agregat terhadap kuat tekan beton pori?
b) Bagaimana pengaruh variasi penggunaan abu cangkang sawit sebagai bahan pengganti sebagian semen dan karet ban bekas sebagai bahan pengganti sebagian agregat terhadap porositas dan permeabilitas beton pori?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk memperjelas permasalahan yang akan di bahas serta tidak terjalin ulasan yang meluas ataupun menyimpang, sehingga di butuhkan batas permasalahan.

Adapun ruang lingkup yang akan di bahas oleh penulis pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Metode perencanaan campuran beton pori menggunakan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2834) tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton serta penyesuaian karakteristik khusus beton pori mengacu pada ASTM C1688 mengenai Density and Void Content of Fresh Pervious Concrete.
2. Melakukan variasi campuran beton pori dengan menggunakan abu cangkang sawit sebagai pengganti sebagian semen pada persentase 0%,10%, 15%, dan 20% berat semen**.** Penggantian dinyatakan sebagai persentase berat terhadap total berat semen.
3. Melakukan substitusi sebagian agregat dengan karet ban bekas dalam variasi persentase 5%**.** (dinyatakan sebagai persentase volume/berat agregat sesuai metode volumetrik yang dipilih).
4. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium, mulai dari proses pembuatan benda uji hingga pengujian material, sehingga tidak mencakup analisis penerapan beton pori di lapangan maupun efektivitasnya terhadap mitigasi banjir pada kawasan tertentu.

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Menilai bagaimana variasi penggunaan abu cangkang sawit sebagai substitusi sebagian semen serta karet ban bekas sebagai pengganti sebagian agregat kasar mempengaruhi karakteristik kuat tekan pada beton pori.
2. Menentukan pengaruh perubahan proporsi abu cangkang sawit sebagai pengganti sebagian semen dan karet ban bekas sebagai substitusi sebagian agregat terhadap tingkat porositas maupun permeabilitas beton pori.

1.5 Manfaat Penelitian

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

a) Mengetahui pengaruh penambahan abu cangkang sawit sebagai substitusi sebagian semen terhadap sifat-sifat beton pori.Tujuan ini difokuskan pada evaluasi sejauh mana pemanfaatan abu cangkang sawit sebagai bahan pozolan dapat memengaruhi karakteristik beton pori, khususnya terhadap kuat tekan, porositas, dan daya serap.
b) Menganalisis kombinasi penambahan karet ban bekas sebagai pengganti sebagian agregat kasar dalam campuran beton pori yang sudah mengandung abu cangkang sawit.Ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana material karet dapat memengaruhi sifat mekanis dan fungsional beton pori, terutama kaitannya dengan kuat tekan, permeabilitas, serta kemampuan menyerap energi.

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 campuran abu cangkang sawit dan karet ban bekas 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 cangkang sawit dan ban karet bekas.

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 sering disebut pervious concrete atau porous concrete merupakan jenis beton yang dirancang memiliki rongga antarbutir agregat kasar dengan penggunaan agregat halus yang sangat sedikit atau bahkan ditiadakan. Susunan material tersebut menciptakan jaringan pori yang saling terhubung sehingga memungkinkan air mengalir melewati massa beton, berbeda dengan beton konvensional yang bersifat rapat dan tidak permeabel. Komposisi beton ini umumnya meliputi agregat kasar tunggal, semen, air, dan bahan tambah tertentu, dengan jumlah pasta semen yang dibatasi agar volume pori tetap terbentuk (Bouddh et al., 2025). Karakteristik terpenting dari beton pori terletak pada porositasnya serta kemampuan beton tersebut untuk membiarkan air meresap. Beton pori memiliki ruang kosong (poro) di dalam massa beton yang berfungsi sebagai jalur bagi air agar bisa mengalir dan menyerap ke tanah di bawahnya. Penelitian oleh (Riyanto et al., 2023) menunjukkan bahwa ukuran agregat kasar dan komposisi campuran sangat mempengaruhi kemampuan infiltrasi dan permeabilitas beton pori beton pori dengan agregat kasar ukuran tertentu dapat menunjukan permeabilitas yang baik sehingga air dapat meresap secara efektif.

Penelitian yang dilakukan oleh (Fly et al., 2022) dari Jurnal Rekayasa menunjukkan bahwa perubahan proporsi fly ash dalam campuran berpengaruh nyata terhadap porositas beton porous. Pada campuran tanpa fly ash, porositas tercatat sebesar 36,1%**.** Ketika 15% fly ash ditambahkan sebagai bahan substitusi, nilai porositas menurun menjadi 29,3%**,** sementara pada variasi substitusi 25% hingga 35%, porositas berkisar antara 31,2% hingga 33,2%**.**

Sejumlah penelitian internasional dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa mengurangi atau bahkan menghilangkan agregat halus pada beton pori dapat membuat jaringan pori lebih terbuka dan meningkatkan kemampuan beton dalam menyerap air. Penelitian yang dilakukan (Methods et al., 2020) yang menunjukkan bahwa beton pori jenis *no-sand* memiliki porositas dan luas pori yang lebih besar, sehingga air dapat mengalir melewati beton dengan lebih cepat. Penelitian lain oleh

(Methods et al., 2020)juga menekankan bahwa beton pori tanpa agregat halus memang mampu meningkatkan permeabilitas, namun rongga yang terlalu besar dapat mengurangi kekuatan tekan. Oleh sebab itu, proporsi campuran tetap perlu dirancang dengan cermat agar porositas, kemampuan resapan, dan kekuatan struktur dapat berada dalam kondisi yang seimbang.

2.2 Abu Cangkang Sawit

Abu cangkang sawit mengandung silikon dioksida (SiO_2) sebagai komponen kimia utama dengan kadar yang relatif tinggi, yaitu berada pada kisaran 55% hingga 68% berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF)**.** Tingginya persentase SiO_2 tersebut mengindikasikan bahwa abu cangkang sawit memiliki tingkat reaktivitas yang baik sehingga layak dikategorikan sebagai bahan pozzolan. Keberadaan silika dalam bentuk amorf memungkinkan terjadinya reaksi kimia dengan kalsium hidroksida yang dihasilkan selama proses hidrasi semen, sehingga membentuk senyawa Calsium silikat hidrat (CSH)**.** Senyawa ini berperan penting dalam meningkatkan kekuatan mekanik serta memperbaiki kepadatan struktur mikro beton (Putra & Wahyuni, 2021).

Selain silika, abu cangkang sawit juga memiliki kandungan aluminium oksida (Al_2O_3) dalam rentang 4%–9% serta besi oksida (Fe_2O_3) sekitar 3%–6%**.** Jumlah gabungan oksida pozzolanik utama tersebut, yaitu SiO_2, Al_2O_3, dan Fe_2O_3, umumnya berada di atas 70%**,** sehingga menunjukkan bahwa abu cangkang sawit memenuhi kriteria sebagai bahan pozzolan sesuai dengan standar material tambahan semen. Kehadiran Al_2O_3 dan Fe_2O_3 berperan penting dalam mendukung terbentuknya senyawa hidrasi sekunder yang mampu meningkatkan kepadatan dan kekuatan matriks pasta semen (Nasution et al., 2022).

Penelitian terdahulu oleh (Arif & Suryani, 2025)mengenai pemanfaatan limbah cangkang sawit dan ACS pada beton berpori menunjukkan bahwa penggantian sebagian agregat kasar dengan cangkang sawit serta substitusi sebagian semen dengan abu cangkang sawit meningkatkan total rongga dan permeabilitas beton. Meski demikian, kombinasi tersebut cenderung menurunkan berat jenis dan kuat tekan jika dibandingkan dengan beton pori standar tanpa bahan tambahan.

Studi yang (Manaf et al., 2023)menguji performa beton pori dengan penambahan ACS pada tingkat 10%, 20%, 30%, dan 40%. Dari hasil yang diperoleh,

substitusi hingga 20% memberikan respons paling seimbang antara kuat tekan, permeabilitas, dan nilai porositas pada umur 28 hari. Beton dengan kadar tersebut masih masuk dalam kategori yang sesuai untuk penggunaan non-struktural, seperti taman dan area resapan.

Penelitian lain oleh (Harahap, 2012; Ramadhani & Sitanggang, 2023)pada beton dengan penggantian sebagian semen menggunakan Abu Cangkang Sawit menyimpulkan bahwa penambahan sekitar 5% masih memberikan sifat mekanik dan absorpsi yang dapat diterima, meskipun terjadi sedikit penurunan dibandingkan beton kontrol. Temuan ini menegaskan bahwa persentase substitusi sangat berpengaruh kandungan ACS yang terlalu tinggi dapat menurunkan densitas serta kekuatan tekan, sedangkan dosis yang terlalu rendah tidak memberikan pemanfaatan pozzolanik secara optimal.

Dalam konteks beton berpori, temuan dari (Manaf et al., 2023). memperlihatkan bahwa penggunaan POFA pada 10–20% tetap mampu menghasilkan beton dengan kombinasi kekuatan dan permeabilitas yang baik. Jika dosis melebihi batas tersebut, porositas bertambah karena partikel POFA mengganggu keterikatan dalam pasta semen, sehingga menyebabkan penurunan kekuatan mekanik.

Sejumlah penelitian di Malaysia menunjukkan bahwa abu cangkang sawit atau Palm Oil Fuel Ash (POFA) semakin diakui sebagai bahan pengganti sebagian semen yang ramah lingkungan dalam pembuatan beton. Penelitian menemukan bahwa POFA dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen tanpa menurunkan kualitas beton secara signifikan, selama persentasenya tetap terkendali dan sesuai dengan jenis beton yang digunakan (Hamsan et al., 2021).

2.3 Karet Ban Bekas

Belakangan ini, penggunaan karet bekas dari ban sebagai pengganti sebagian agregat dalam beton yang dikenal sebagai rubberized concrete semakin banyak diteliti. Tujuan utamanya adalah mengurangi limbah ban sekaligus menghasilkan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan. Penelitian Guntur Nugroho dkk. menunjukkan bahwa memasukkan serbuk karet ban bekas ke dalam campuran beton membuat beton menjadi lebih berpori dan lebih mudah menyerap air. Namun, efek

sampingnya adalah densitas dan kekuatan tekan beton menjadi lebih rendah dibanding beton konvensional(Nugroho et al., 2023).

Di sisi lain, (Zhang et al., 2022) melaporkan bahwa beton berbahan karet memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap permeabilitas. Selain itu, sifat permukaan karet yang lentur dan ringan memberikan keuntungan pada aspek workability atau kemudahan pengerjaan. Meski demikian, kualitas ikatan antara butiran karet dan pasta semen masih menjadi tantangan tersendiri dalam menghasilkan campuran yang benar-benar homogen. Dari perspektif mikrostruktur, karet berperan sebagai elemen pengisi yang bersifat lentur sehingga mampu membantu mendistribusikan tegangan dan memperlambat perkembangan retak. Namun, keberadaan karet juga menyebabkan meningkatnya porositas serta menurunnya densitas keseluruhan campuran. (Singaravel et al., 2024).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ketika karet bekas dicampurkan untuk menggantikan kerikil, beton menjadi lebih elastis tetapi kekuatannya berkurang karena sifat karet yang tidak sekeras batu. Hasil yang mirip juga terlihat pada studi (Lentur, 2023)yang menggunakan limbah sol karet dan mendapati bahwa semakin banyak karet yang ditambahkan, semakin rendah kuat tekan beton, meskipun cara ini cukup membantu mengurangi jumlah limbah. Penelitian lain oleh (Nurchasanah et al., 2022).Menggabungkan crumb rubber dan potongan karet sebagai campuran agregat halus dan kasar juga menunjukkan penurunan kekuatan, namun beton menjadi lebih ringan dan sedikit lebih fleksibel. Secara keseluruhan, penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa karet bekas memang bisa dipakai sebagai bahan campuran beton pori, terutama untuk penggunaan yang tidak memerlukan kekuatan tinggi, sambil tetap memberikan manfaat terhadap lingkungan.

2.4 Kuat tekan

Kuat tekan pada beton pori menunjukkan kemampuan material ini untuk menahan tekanan vertikal. Beton pori berbeda dari beton biasa karena tidak memakai agregat halus, sehingga di dalam campurannya terbentuk rongga udara yang cukup besar. Rongga ini membuat densitas beton lebih rendah dan kuat tekan umumnya lebih kecil dibanding beton konvensional. Meski demikian, sifat ini justru menjadi keuntungan ketika beton digunakan untuk jalur pejalan kaki, perkerasan ringan, area

parkir, atau sistem drainase, karena rongga yang terbentuk memungkinkan air meresap dengan baik (Abousnina et al., 2025)

Kekuatan tekan beton pori sangat dipengaruhi oleh komposisi campuran dan kualitas bahan. Rasio semen terhadap agregat kasar, rasio air-semen, dan ukuran agregat kasar yang dipilih sangat menentukan hasil akhir. Beton pori dengan agregat kasar bergradasi merata dan campuran yang optimal cenderung memiliki kuat tekan lebih tinggi. Sebaliknya, jika porositas terlalu besar, bagian perbatasan antara agregat dan pasta semen, yang disebut zona transisi antarmuka (ITZ), menjadi titik lemah yang mudah retak, sehingga menurunkan kapasitas tekan beton (Carlos & Jose, 2021) Selain itu, metode pengerjaan dan teknik pemadatan juga memengaruhi kekuatan beton pori. Beton yang dicampur dan dicetak dengan benar akan menghasilkan distribusi pori yang lebih merata, sehingga kemampuan menahan beban meningkat. Sedangkan beton yang dicetak kurang optimal cenderung memiliki rongga yang tidak merata, sehingga beberapa titik menjadi lebih lemah dan rentan retak. Hal ini menunjukkan pentingnya pengendalian kualitas selama proses pembuatan beton pori untuk memastikan performa mekanik yang diinginkan (Mitrosz et al., 2025)

Secara umum, penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton pori berada dalam rentang yang cukup luas, mulai dari sekitar 2,5 MPa hingga 34,5 MPa, tergantung proporsi bahan, ukuran agregat, dan cara pengerjaan. Banyak beton pori yang berhasil mencapai kuat tekan antara 6 hingga 18 MPa bila campuran dan gradasi agregat diatur dengan baik. Rentang ini cukup untuk aplikasi ringan seperti trotoar, jalur pejalan kaki, dan pelapisan drainase, tetapi tidak cocok untuk elemen struktural yang menahan beban berat (Yanti, 2021).

2.5 Porositas

Porositas pada beton porous merupakan parameter utama yang menentukan kemampuan beton dalam meloloskan air sekaligus memengaruhi karakteristik mekaniknya. Penelitian yang mengkaji variasi agregat kasar menunjukkan bahwa perubahan ukuran dan jenis agregat secara langsung memengaruhi jumlah rongga internal yang terbentuk dalam beton. Ketika porositas meningkat, kemampuan beton untuk meloloskan air menjadi lebih baik, tetapi kuat tekan menurun karena berkurangnya kontak dan ikatan antar-agregat. Sebaliknya, porositas yang lebih

rendah mampu meningkatkan kuat tekan, namun mengurangi efektivitas infiltrasi. Temuan ini menegaskan pentingnya pengaturan proporsi agregat kasar untuk mencapai keseimbangan optimal antara fungsi drainase dan stabilitas struktural pada beton porous (Kuat et al., 2022)

Rongga yang terbentuk pada beton pori memungkinkan air melewati lapisan permukaan dan tersalurkan ke dalam tanah, sehingga porositas menjadi ukuran penting dalam mengevaluasi potensi drainase beton. Meski demikian, penelitian menunjukkan bahwa semakin besar porositas, semakin rendah kekuatan tekan yang dapat dicapai, karena hubungan material yang menopang beban menjadi lebih sedikit. Dengan demikian, desain beton pori harus mempertahankan porsi rongga yang cukup untuk permeabilitas tanpa mengurangi stabilitas secara signifikan (Gal, 2024).

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. (Yanti, 2021).

2.6 Permeabilitas

Permeabilitas pada beton pori menggambarkan seberapa mudah air dapat mengalir melewati rongga-rongga yang ada di dalam beton, sehingga air bisa langsung meresap ke tanah di bawahnya.tingkat permeabilitas diuji menggunakan variasi ukuran agregat, dan hasilnya menunjukkan bahwa susunan serta bentuk pori dalam beton sangat berpengaruh terhadap cepat lambatnya air meresap. (Ghilman & Walujodjati, 2023). Besarnya permeabilitas beton pori sangat dipengaruhi oleh distribusi rongga, ukuran pori, serta keterhubungan antar-pori yang terbentuk dari komposisi campuran beton. Variasi ukuran agregat kasar, metode pemadatan, dan workability campuran berperan dalam menentukan bagaimana pori-pori saling terhubung dan seberapa besar jalur aliran air terbentuk. Penelitian menunjukkan

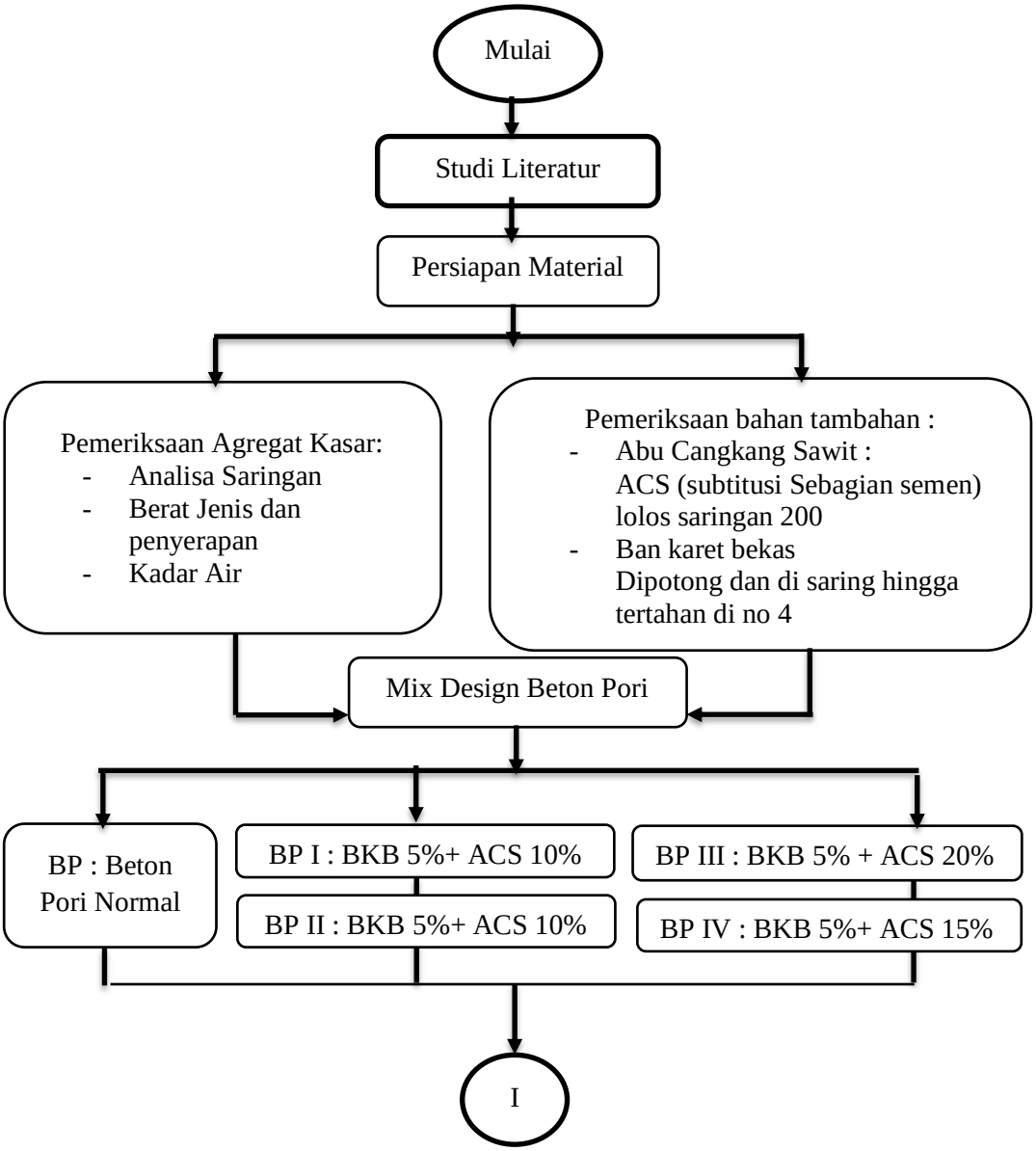
bahwa semakin besar ukuran pori, semakin tinggi permeabilitas, tetapi kondisi tersebut dapat menurunkan kuat tekan karena berkurangnya titik kontak antar-agregat. (Hung et al., 2021)

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. Temuan tersebut diperkuat oleh penelitian yang menilai hubungan antara struktur pori dan performa mekanik beton berpori (Riyanto et al., 2023)

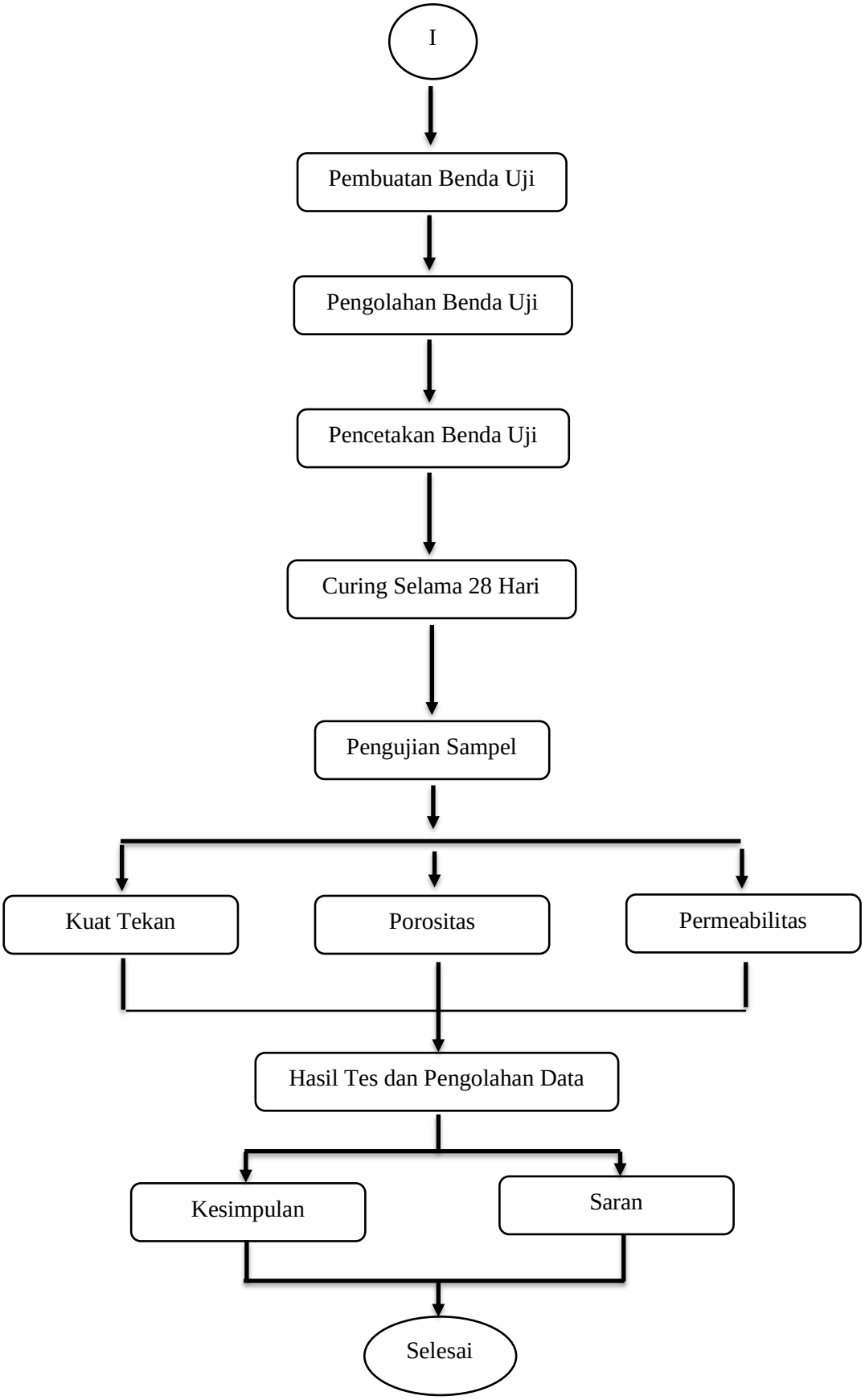
BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Bagan Alir

Langkah-langkah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :



Gambar 3. 1: Diagram Alir



Gambar 3. 1: *Lanjutan*

3.2 Sumber-Sumber Data Dalam Penelitian

Sebuah metode atau tindakan yang diterapkan untuk menyelesaikan suatu masalah dilakukan dengan cara mengumpulkan, mencatat, mempelajari, dan menganalisis data yang telah diperoleh selama penelitian. Dalam penelitian ini, proses penyelesaian tidak terlepas dari data-data pendukung yang dikumpulkan secara sistematis. Data tersebut diperoleh dari dua sumber utama, yaitu:

1. Data Primer

   Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari hasil eksperimen di laboratorium, yang dilakukan selama penelitian berlangsung. Dalam penelitian beton pori ini, data primer 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 cangkang sawit atau karet ban bekas)

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 penelitian

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

Langkah dari persiapan dan bahan, terdapat beberapa penulis jabarkan:

3.4.1 Alat

Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. **Timbangan Digital**

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



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 diperoleh campuran yang baik.



Gambar 3.3: Concrete Mixer

3. Cetakan silinder

Berupa Cetakan Silinder 15 cm (diameter) x 30 cm (tinggi) Sesuai Dengan Standar Beton.



Gambar 3.4: Cetakan

4. Cetakan kubus

Cetakan berfungsi sebagai alat pembentuk benda uji agar adukan beton pori memiliki bentuk dan ukuran yang sama sesuai standar pengujian. Dengan bentuk kubus yang presisi, hasil pengujian menjadi lebih presisi cetakan kubus beton pori dengan ukuran sisi 150 mm × 150 mm × 150 mm sesuai praktik pengujian yang mengacu pada standar nasional SNI.



Gambar 3.5: Cetakan Kubus

5. Alat pemadat

Tongkat Pemadat Atau Alat Getar Ringan, Digunakan Untuk Membantu Proses Pemadatan Tanpa Menutup Rongga Beton Pori seperti merojok beton ketika sudah di masukan kedalam cetakan untuk ukuran tongkat tersebut 50 cm.



Gambar 3.6: tongkat pemadat

6. Bak Perendaman Atau Curing Tank

Digunakan Untuk merendam benda Benda Uji Selama 28 hari Masa Perawatan atau curing bak ini berfungsi untuk menjaga kondisi kelembapan beton secara berkelanjutan agar proses hidrasi semen berlangsung optimal dan terkontrol.



Gambar 3.7: bak rendam sample bahan uji

7. Oven Pengering

Oven pengering digunakan untuk mengeringkan material atau benda uji beton pori. Alat ini mampu bekerja pada suhu 50–250 °C dengan pengaturan suhu digital. Bagian dalamnya terbuat dari logam tahan panas dan dilengkapi rak.



Gambar 3.8: oven

8. Mesin Uji Kuat Tekan (Compression Testing Machine)

Digunakan Untuk Menguji Kuat Tekan Beton Pori. Mesin ini berfungsi untuk mengukur kemampuan beton pori dalam menahan beban tekan sampai mengalami kerusakan. Alat ini bekerja dengan sistem hidrolik yang memberikan tekanan secara bertahap dan terkontrol. Mesin tersebut memiliki kapasitas beban berkisar antara 1.000 hingga 2.000 kN. Nilai beban yang bekerja ditampilkan melalui sistem pembacaan digital sehingga hasil pengujian lebih akurat.



Gambar 3.9: Compression Testing Machine

9. Sekop

Sekop berfungsi sebagai alat bantu untuk mengambil dan memindahkan material bahan uji, seperti agregat, semen, maupun bahan tambahan lainnya. Alat ini mempermudah proses persiapan dan pencampuran bahan sebelum pembuatan beton pori. Dengan sekop, pekerjaan pemindahan material dapat dilakukan dengan lebih praktis dan efisien.



Gambar 3.10 sekop

10. Gelas ukur

Gelas ukur berfungsi untuk mengukur jumlah air yang digunakan dalam proses pencampuran. Alat ini membantu memastikan takaran air sesuai dengan kebutuhan campuran. Dengan penggunaan gelas ukur, komposisi beton pori dapat dibuat lebih tepat dan terkontrol.



Gambar 3.11 gelas ukur

11. Sarung tangan

Sarung tangan berfungsi untuk melindungi tangan selama proses penelitian berlangsung. Alat ini mencegah kontak langsung dengan material yang dapat menyebabkan iritasi atau cedera. Penggunaan sarung tangan membuat pekerjaan menjadi lebih aman dan nyaman.



Gambar 3.12: sarung tangan

12. Masker

Masker berfungsi untuk melindungi pernapasan selama kegiatan penelitian di laboratorium. Alat ini membantu mengurangi risiko menghirup debu dan udara kotor. Dengan memakai masker, proses penelitian menjadi lebih aman dan nyaman.



Gambar 3.13: masker

13. Kuas

Dalam penelitian beton pori kuas berperan untuk melembapkan cetakan dengan minyak gemuk agar beton lebih mudah dikeluarkan, meratakan permukaan beton agar pengujian memberikan hasil yang konsisten, menghilangkan gelembung udara pada permukaan, serta membantu proses finishing agar permukaan menjadi rapi.



Gambar 3.14 : kuas

14. PAN

Pan sebagai alas berfungsi untuk menahan cetakan agar tetap stabil saat beton dituangkan, mencegah adukan tumpah ke permukaan kerja, mempermudah pemindahan cetakan setelah pengecoran, menjaga area kerja tetap bersih dan aman, serta memastikan permukaan benda uji rata dan presisi.



Gambar 3.15 : Kerucut Abrams

15. Saringan no 200

Saringan no 200 berfungsi untuk membuat abu cangkang sawit menjadi halus dan seragam, sehingga partikel kasar yang bisa mengganggu konsistensi campuran beton tersaring. Proses penyaringan ini juga mempermudah pencampuran dan pengukuran, sehingga kualitas beton pori yang dihasilkan lebih stabil dan konsisten.



Gambar 3.16 : saringan no 200

16. Saringan no 4

Saringan no 4 digunakan untuk mengayak agregat kasar dalam pembuatan beton pori agar ukuran butirannya seragam dan sesuai standar. Penyaringan ini membantu memisahkan butir yang terlalu besar atau pecah sehingga campuran beton lebih homogen.



Gambar 3.17 : saringan no 4

17. Palu karet

Palu karet digunakan dalam penelitian beton pori untuk memukul atau mengetuk cetakan agar adukan beton merata dan gelembung udara keluar, sehingga permukaan beton menjadi lebih rapi dan pori-pori terbentuk konsisten, memudahkan pengecekan kualitas adukan sebelum pengerasan, serta menjaga cetakan tetap utuh tanpa rusak selama proses pengerjaan.



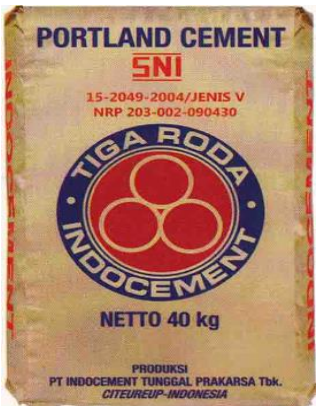
Gambar 3.18 : Palu karet

3.4.2 Bahan

Bahan-Bahan Yang Akan Digunakan Dalam Penelitian Ini Antara Lain:

1. Semen portland

Semen Portland berperan sebagai bahan pengikat utama dalam pembuatan beton pori yang berfungsi menyelimuti agregat kasar agar saling melekat tanpa menutup rongga. Jenis yang digunakan umumnya Semen Portland Tipe sesuai standar SNI. Berat jenisnya berkisar 3,10–3,15 dengan waktu ikat awal sekitar 45 menit. Semen ini dipilih karena mudah digunakan dan cocok untuk beton pori.



Gambar 3.20: semen portland

2. **Agregat kasar**

Agregat kasar berfungsi sebagai bahan utama dalam beton pori yang membentuk rongga-rongga terbuka agar air dapat mengalir dan meresap dengan mudah. Bahan ini biasanya berupa batu pecah dengan ukuran yang relatif seragam. Pada beton pori, agregat kasar digunakan dengan sedikit atau tanpa pasir agar pori tetap terbentuk.



Gambar 3.21: batu pecah

3. **Air**

Air berperan dalam memulai reaksi hidrasi semen sehingga beton pori dapat mengeras dan membentuk ikatan yang kuat. Jumlah air yang digunakan perlu dibatasi agar tidak berlebih karena dapat menutup pori dan mengurangi kemampuan drainase beton pori. Mengacu pada SNI 2847:2019 air untuk campuran beton harus bersih, jernih, tidak berbau, serta bebas dari minyak, asam, alkali, garam, dan zat organik yang berbahaya penelitian ini menggunakan air tanah.



Gambar 3.22: air bersih

4. Minyak gemuk

Minyak gemuk berfungsi untuk melapisi cetakan dalam penelitian beton pori agar beton lebih mudah dikeluarkan setelah mengeras, mencegah beton menempel, menjaga permukaan benda uji tetap halus, mempermudah pengecoran berikutnya, dan melindungi cetakan dari kerusakan saat digunakan.



Gambar 3.23 : minyak gemuk

a. Bahan tambahan

Bahan tambahan Yang Akan Digunakan Dalam Penelitian Ini Antara Lain:

1. Abu cangkang sawit

Abu cangkang sawit dapat digunakan untuk menggantikan sebagian semen Portland, sehingga jumlah semen dapat dikurangi tanpa mengganggu fungsi beton, sekaligus membuat campuran lebih efisien dan ramah lingkungan. dalam penelitian ini, abu cangkang sawit (ACS) digunakan sebagai pengganti sebagian semen pada campuran beton pori. cangkang sawit terlebih dahulu dibakar menggunakan boiler dengan tekanan sekitar 18 bar**.** berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, pembakaran pada suhu sekitar 600°C dapat menghasilkan abu dengan kandungan sio_2 sekitar 71,24%**,** sehingga berpotensi memiliki sifat pozzolanik. abu yang dihasilkan kemudian didinginkan, dikeringkan, dan dihaluskan sebelum dicampurkan ke dalam beton. penggunaan ACS diharapkan dapat mengurangi pemakaian semen sekaligus memanfaatkan limbah dari industri kelapa sawit sehingga dapat menjadi salah satu alternatif bahan yang lebih ramah lingkungan dalam pembuatan beton pori



Gambar 3.24: Bahan Tambah abu cangkang sawit

2. Karet ban bekas

Crumb rubber adalah hasil pengolahan limbah ban bekas yang dicacah menjadi potongan atau butiran kecil dengan ukuran tertentu. Material ini umumnya memiliki ukuran partikel sekitar 4,75 mm dan bentuk yang tidak beraturan. Dengan berat jenis yang relatif rendah, yaitu sekitar 1,05–1,20, crumb rubber dapat dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian agregat kasar untuk menghasilkan beton dengan berat yang lebih rendah. Sifatnya yang elastis dan cukup tahan terhadap air juga menjadikan material ini berpotensi digunakan dalam campuran beton pori. Pada penelitian ini, crumb rubber diperoleh dari ban bekas merek FDR yang diproduksi oleh PT Suryaraya Rubberindo Industries (SRI**)**, salah satu perusahaan yang tergabung dalam Grup Astra dan bergerak dalam produksi ban serta ban dalam sepeda motor. Ban FDR dipilih karena banyak digunakan pada kendaraan roda dua dan tersedia dalam berbagai tipe dan ukuran. Ban bekas yang digunakan terlebih dahulu dibersihkan, kemudian dipotong dan dicacah hingga diperoleh ukuran yang sesuai untuk digunakan dalam campuran beton. Pemanfaatan ban bekas sebagai pengganti sebagian agregat kasar dilakukan untuk mengurangi jumlah limbah karet yang sulit terurai di lingkungan serta meminimalkan penggunaan agregat alam. Penerapan crumb rubber pada beton pori juga diharapkan dapat memberikan perubahan pada sifat dan kinerja beton, khususnya terhadap kuat tekan, porositas, dan kemampuan permeabilitas atau meloloskan air**.**



Gambar 3.25: Bahan tambah karet ban bekas

3.5 Pemeriksaan Bahan Tambah

Penelitian ini meliputi tahapan atau pemeriksaan, diantaranya:

3.5.1 Pemeriksaan agregat kasar

Agregat kasar adalah bahan utama dalam pembuatan beton pori (pervious concrete) yang berperan membentuk jaringan rongga agar air dapat mengalir menembus beton. Sifat dan karakteristik agregat kasar sangat menentukan kekuatan tekan**,** tingkat porositas**,** serta daya serap air pada beton pori. Oleh sebab itu, pemeriksaan terhadap agregat kasar perlu dilakukan secara cermat untuk memastikan material tersebut memenuhi standar dan persyaratan teknis beton pori.

a. Pengambilan dan Persiapan Bahan

Agregat kasar berasal dari proses pemecahan batu alam hingga mencapai ukuran yang diinginkan. Setelah itu, agregat dipisahkan dari butiran yang tidak sesuai ukuran dan dibersihkan dari debu, tanah, serta bahan organik lainnya. Kemudian, agregat dikeringkan dan disimpan dalam keadaan kering untuk menjaga kestabilan kadar air sebelum dilakukan pengujian.

b. 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.

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

$$\%\, Lolos\ Koumulatif\ = 100 - (Jumlah\ \%\ Kumulatif$$

Keterangan :

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

c. 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.

$$G_{ssd} = \frac{B}{B-C} \quad (3.2)$$

Keterangan :

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

d. Uji Kadar Air

Uji ini bertujuan untuk menentukan persentase partikel halus (<75 μm) yang menempel pada permukaan agregat sesuai SNI 03-4141-1996. Sampel agregat dimasukkan ke dalam wadah berisi air, diaduk, dan dibiarkan mengendap untuk memisahkan lumpur dari agregat. Lumpur yang terlepas dibuang bersama air, sedangkan agregat dikeringkan kembali hingga berat konstan. Perbedaan berat sebelum dan sesudah pencucian digunakan untuk menghitung kadar lumpur. Kadar lumpur yang diperbolehkan pada agregat kasar

maksimum 1% dari berat total agar tidak menurunkan daya rekat dan permeabilitas beton pori.

$$Kadar\ Air\ (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1}\ X\ 100\% \qquad (3.3)$$

Keterangan :

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

3.5.2 Pemeriksaan agregat karet ban bekas

Karet ban bekas adalah limbah padat yang berasal dari ban kendaraan yang telah habis masa pakainya. Material ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan atau campuran dalam konstruksi, seperti pada beton atau beton pori, khususnya sebagai pengganti sebagian agregat, karena sifatnya yang elastis dan mampu meredam energi. Langkah Langkah Pemeriksaan karetban bekas:

a. Pemeriksaan Material Karet Ban Bekas

Karet ban bekas berasal dari ban kendaraan yang sudah tidak terpakai, kemudian diolah melalui proses pemotongan dan pencacahan hingga diperoleh butiran dengan ukuran tertentu, umumnya berada pada rentang 5 mm**,** disesuaikan dengan ukuran agregat kasar pada beton pori. Selanjutnya, butiran karet tersebut dibersihkan menggunakan air untuk menghilangkan debu, minyak, serta zat pengotor lainnya, lalu dikeringkan pada suhu ruang hingga mencapai kondisi kering permukaan jenuh (SSD) sebelum digunakan sebagai bahan campuran.

b. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berat jenis karet ban bekas umumnya lebih rendah dibandingkan agregat batu pecah, sehingga memengaruhi berat volume beton pori. Pengujian dilakukan dengan prinsip perbandingan massa terhadap volume.

Rumus berat jenis:

$$\boldsymbol{G = \frac{W_d}{W_{ssd} - W_w}} \qquad (3.7)$$

Keterangan :

- G = berat jenis karet
- W_d = berat karet kering (gram)
- W_{ssd} = berat karet kondisi SSD (gram)
- W_w = berat karet dalam air (gram)

c. Pemeriksaan Pengujian Gradasi (Analisa Saringan)

Pengujian gradasi bertujuan untuk memastikan bahwa sebaran ukuran butiran karet ban bekas telah sesuai dengan karakteristik beton pori, yaitu membentuk rongga antarpartikel yang saling terhubung sehingga memungkinkan aliran air. Pengujian ini dilakukan dengan metode analisis saringan menggunakan satu set saringan standar untuk memperoleh distribusi ukuran partikel karet yang digunakan dalam campuran.

Rumus persentase lolos saringan:

$$\%\boldsymbol{Lolos} = \frac{\boldsymbol{W_l}}{\boldsymbol{W_t}} \boldsymbol{x}\ \mathbf{100}\% \quad (3.8)$$

Keterangan :

- W_l = berat karet ban bekas yang lolos saringan tertentu (gram)
- W_t = berat total sampel karet ban bekas yang diuji (gram)

3.6 Pembuatan Beton Pori

Berdasarkan SNI 2493:2011 tentang tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium, pembuatan benda uji beton ditujukan untuk menghasilkan spesimen yang benar-benar mewakili mutu beton lapangan dan memiliki kondisi yang seragam, sehingga hasil pengujian dapat dinilai secara objektif dan saling dibandingkan.

Beberapa tahapan dalam proses pembuatan beton pori menurut SNI 2493:2011:

a. Persiapan material

Material beton pori terdiri dari semen, agregat kasar bergradasi seragam, air, dan bahan tambah bila diperlukan. Semua bahan harus memenuhi standar mutu beton yang berlaku. Agregat kasar harus bersih, kuat, dan bebas kotoran agar ikatan dengan pasta semen tetap baik.

b. Persiapan cetakan

Cetakan benda uji dibuat sesuai ukuran SNI 2493:2011, umumnya berbentuk silinder. Cetakan harus bersih, kedap air, dan diberi pelumas tipis agar benda uji mudah lepas.

c. Proses pencampuran

Pencampuran diawali dengan mengaduk agregat kasar dan semen hingga merata, lalu air ditambahkan sedikit demi sedikit sampai agregat terlapisi pasta semen.

d. Pengisian beton dalam cetakan

Beton pori dimasukkan ke dalam cetakan secara bertahap dengan hati-hati agar agregat tetap merata dan tidak terjadi pemisahan material.

e. Pemadatan beton pori

Pemadatan beton pori dilakukan secara ringan dan terkontrol. Cara pemadatan mengacu pada SNI 2943:2011.

f. Perataan permukaan

Permukaan beton diratakan secukupnya tanpa tekanan berlebih agar struktur pori di bagian atas tetap terjaga.

g. Pelepasan cetakan

Cetakan dilepas setelah beton cukup keras agar bentuk benda uji tidak rusak.

h. Perawatan *curing*

Benda uji beton pori dirawat mengikuti SNI 2493:2011 dengan menjaga kelembapannya, misalnya melalui perendaman air atau metode lain yang sesuai, sampai umur uji yang direncanakan.

3.7 Perawatan (Curing)

Perawatan beton pori dilakukan untuk menjaga kelembapan beton agar proses hidrasi semen berjalan optimal tanpa merusak struktur porinya, dengan mengacu pada SNI 2493:2011 dan disesuaikan dengan karakter beton pori yang berongga dan berporositas tinggi. Setelah beton mencapai kekerasan awal, benda uji dilepas dari cetakan secara hati-hati lalu segera dirawat agar tidak kehilangan air terlalu cepat. Perawatan dilakukan dengan menjaga beton tetap lembap, misalnya melalui perendaman atau metode lain yang sesuai, serta disimpan pada lingkungan bersuhu

terkontrol dan terhindar dari sinar matahari langsung maupun angin. Proses ini dilakukan sampai umur uji, umumnya 28 hari, agar perkembangan kekuatan beton berlangsung optimal dan hasil pengujian dapat dipertanggungjawabkan.

3.8 Mix Design

Tahap Awal Sebelum Melakukan Perencanaan Campuran Beton Pori, Dilakukan Pengujian Terhadap Komponen-Komponen Dasar Pembentuk Beton Pori Sesuai Dengan Sni (Standar Nasional Indonesia)**.** 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. Ban karet bekas (BKB) yang digunakan sebagai bahan substitusi aggregat kasar dengan persentase 5 % yang dicampurkan dalam beton pori untuk membentuk rongga tambahan dan mengurangi berat jenis beton.
4. Abu cangkang sawit 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 DESIGN					
Variasi Beton	**Fas**	**BKB**	**ACS**	**Jumlah Sampel**	
				Kubus	**Silinder**
BP	**0,35**	**0**	**0**	**3**	**3**
BP I	**0,35**	**5**	**0**	**3**	**3**

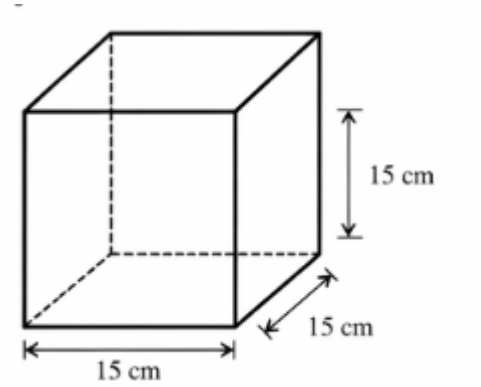
MIX DESIGN					
Variasi Beton	**Fas**	**BKB**	**ACS**	**Jumlah Sampel**	
				Kubus	**Silinder**
BP II	**0,35**	**5**	**10**	**3**	**3**
BP III	**0,35**	**5**	**15**	**3**	**3**
BP IV	**0,35**	**5**	**20**	**3**	**3**
Total				**30**	

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 4.1 cetakan kubus

Menghitung campuran beton pori 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 = 0,35 liter

Jumlah yang akan di cetak = 15 buah

Catatan teknis:

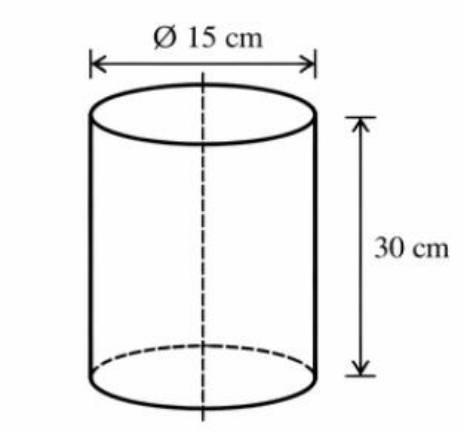
- Tidak ada slump tes

- Pemadatan ringan menggunakan palu karet
- Curing plastic min 7 hari
- Target 2,8 - 28 mpa
- 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 mortar 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 = 0,55 liter

Jumlah yang akan di cetak = 15 buah

Catatan teknis:

- Tidak ada slump tes
- Pemadatan ringan menggunakan palu karet
- Curing plastic min 7 hari

- Uji porositas dan permeabilitas setelah 28 hari

3.9.3 Perhitungan Dasar Mix Desain

➢ **Data dasar mix desain untuk kg/m³**

- Semen = 350 kg/m³

  Keterangan = Berdasarkan ACI 522R nilai rentang yang di izinkan yaitu 300 – 400 kg/m³ maka saya ambil nilai tengah karena cukup mengikat agregat dan tidak menutup pori pada beton.

- Agregat = 1400 kg/m³

  Keterangan = Berdasarkan ACI 522R nilai rentang yang di izinkan yaitu 1400 – 1600 kg/m³ maka saya ambil nilai minimum karena berdasarkan penggunaan di lapangan banyak menggunakan agregat kasar 1400 kg/m³.

- Air = 105 kg/m³

  Keterangan = Berdasarkan ACI 522R nilai fas yang digunakan 0,35 maka saya menggunakan di karenakan factor air semen apabila berlebih maka pasta mengalir dan menutupi beton pori dan jika berkurang maka pasta tidak mampu mengikat.

  Air = (w/c) × Semen

  = 0,30 × 350 = 105 *liter*

a. Cetakan kubus

- FAS 0.35

Beton pori normal

Semen = jumlah semen yang digunakan dalam $1m^3$ × volume cetakan kubus

= 350 × 0,003375

= 1,18 kg/ m^3

Agregat kasar = jumlah agregat kasar yang digunakan dalam $1m^3$ × volume cetakan kubus

= 1400 × 0,003375

= 4,7 kg/ m^3

Air = jumlah air yang digunakan dalam $1m^3$ × volume cetakan kubus

= 105 × 0,003375

= 0,35 liter

- FAS 0.35

BKB 5%

Semen = jumlah semen yang digunakan dalam $1m^3$ × volume cetakan kubus

= 350 × 0,003375

= 1,18 kg/ m^3

BKB = (jumlah agregat kasar yang digunakan dalam 1 m^3× 5%) × volume cetakan kubus

= (1400 × 5%) × 0,003375

= 0,236 kg/ m^3

Agregat kasar = Berat agregat kasar normal awal – BKB 5%

= 4,7 – 0,236

= 4.464 kg/ m^3

Air = 0,35 liter

- FAS 0.35

BKB 5% & ACS 10%

ACS = (jumlah semen yang digunakan dalam 1 m^3× 10%) × volume cetakan kubus

= (350 × 10%) × 0,003375

= 0,118 kg/ m^3

Semen = Berat semen normal awal × ACS

= 1,18 - 0,118

= 1,062 kg/ m^3

BKB = (jumlah agregat kasar yang digunakan dalam 1 m^3× 5%) × volume cetakan kubus

= (1400 × 5%) × 0,003375

= 0,236 kg/ m^3

Agregat kasar = Berat agregat kasar normal awal – BKB 5%

= 4,7 – 0,236

= 4.464 kg/ m^3

Air = 0,35 liter

- FAS 0.35

BKB 5% & ACS 15%

ACS = (jumlah semen yang digunakan dalam 1 m^3× 15%) × volume cetakan kubus

= (350 × 15%) × 0,003375

= 0,177 kg/ m^3

Semen = Berat semen normal awal × ACS

= 1,18 - 0,177

= 1,003 kg/ m^3

BKB = (jumlah agregat kasar yang digunakan dalam 1 m^3× 5%) × volume cetakan kubus

= (1400 × 5%) × 0,003375

= 0,236 kg/ m^3

Agregat kasar = Berat agregat kasar normal awal – BKB 5%

= 4,7 – 0,236

= 4.464 kg/ m^3

Air = 0,35 liter

- FAS 0.35

BKB 5% & ACS 20%

ACS = (jumlah semen yang digunakan dalam 1 m^3× 20%) × volume cetakan kubus

= (350 × 20%) × 0,003375

= 0,236 kg/ m^3

Semen = Berat semen normal awal × ACS

= 1,18 - 0,236

= 0,944 kg/ m^3

BKB = (jumlah agregat kasar yang digunakan dalam 1 m^3× 5%) × volume cetakan kubus

= (1400 × 5%) × 0,003375

= 0,236 kg/ m^3

Agregat kasar = Berat agregat kasar normal awal – BKB 5%

= 4,7 – 0,236

= 4.464 kg/ m^3

Air = 0,35 liter

b. Cetakan Silinder

- FAS 0,55

Beton pori normal

Semen = jumlah semen yang digunakan dalam 1m^3 × volume cetakan silinder

= 350 × 0,0053

= 1,85 kg/ m^3

Agregat kasar = jumlah agregat kasar yang digunakan dalam 1m^3 × volume cetakan silinder

= 1400 × 0,0053

= 7,4 kg/ m^3

Air = jumlah air yang digunakan dalam 1m^3 × volume cetakan silinder

= 105 × 0,0053

= 0,55 liter

- FAS 0,55

BKB 5%

Semen = jumlah semen yang digunakan dalam 1m^3 × volume cetakan silinder

= 350 × 0,0053

= 1,85 kg/ m^3

BKB = (jumlah agregat kasar yang digunakan dalam 1 m^3× 5%) × volume cetakan silinder

= (1400 × 5%) × 0,0053

= 0,371 kg/ m^3

Agregat kasar = Berat agregat kasar normal awal – BKB 5%

= 7,4 – 0,371

=7,029 kg/ m^3

Air = 0,55 liter

- FAS 0,55

BKB 5% & ACS 10%

ACS = (jumlah semen yang digunakan dalam 1 m^3× 10%) × volume cetakan silinder

= (350 × 10%) × 0,0053

= 0,185 kg/ m^3

Semen = Berat semen normal awal - ACS

= 1,85 - 0,185

= 1,665 kg/ m^3

BKB = (jumlah agregat kasar yang digunakan dalam 1 m^3× 5%) × volume cetakan silinder

= (1400 × 5%) × 0,0053

= 0,371 kg/ m^3

Agregat kasar = Berat agregat kasar normal awal – BKB 5%

= 7,4 – 0,371

=7,029 kg/ m^3

Air = 0,55 liter

- FAS 0,55

BKB 5% & ACS 15%

ACS = (jumlah semen yang digunakan dalam 1 m^3× 15%) × volume cetakan silinder

= (350 × 15%) × 0,0053

= 0,278 kg/ m^3

Semen = Berat semen normal awal - ACS

= 1,85 - 0,278

= 1,572 kg/ m^3

BKB = (jumlah agregat kasar yang digunakan dalam 1 m^3× 5%) × volume cetakan silinder

= (1400 × 5%) × 0,0053

= 0,371 kg/ m^3

Agregat kasar = Berat agregat kasar normal awal – BKB 5%

= 7,4 – 0,371

=7,029 kg/ m^3

Air = 0,55 liter

- FAS 0.55

BKB 5% & ACS 20%

ACS = (jumlah semen yang digunakan dalam 1 m^3× 20%) × volume cetakan silinder

= (350 × 20%) × 0,0053

= 0,371 kg/ m^3

Semen = Berat semen normal awal - ACS

= 1,85 - 0,371

= 1,479 kg/ m^3

BKB = (jumlah agregat kasar yang digunakan dalam 1 m^3× 5%) × volume cetakan silinder

= (1400 × 5%) × 0,0053

= 0,371 kg/ m^3

Agregat kasar = Berat agregat kasar normal awal – BKB 5%

= 7,4 – 0,371

=7,029 kg/ m^3

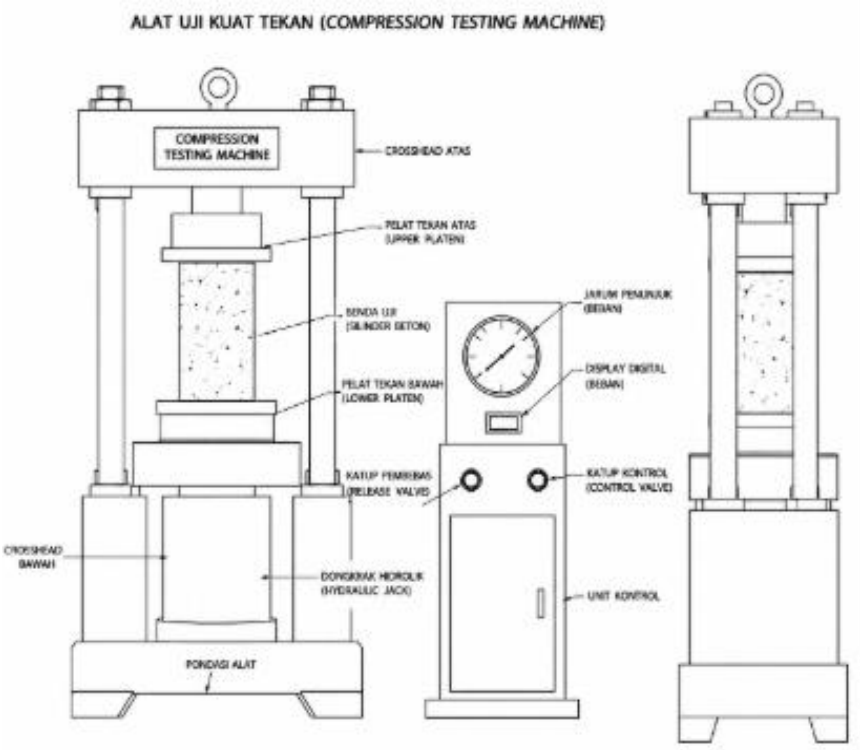
Air = 0,55 liter

3.10 Pengujian Beton Pori

Terdapat ada beberapa tahap uji pada beton pori menurut standar nasional Indonesia (SNI) dan American Concrete Institute (ACI):

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. Berikut gambar alat pengujian kuat tekan tekan :



Gambar 3.26: Compression Testing Machine

Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder Yang Menjadi Acuan Utama Pengujian Kuat Tekan Beton Berbentuk Silinder Yang Dicetak Di Laboratorium Atau Lapangan Besaran kuat tekan tersebut diperoleh melalui persamaan berikut:

Rumus kuat tekan :

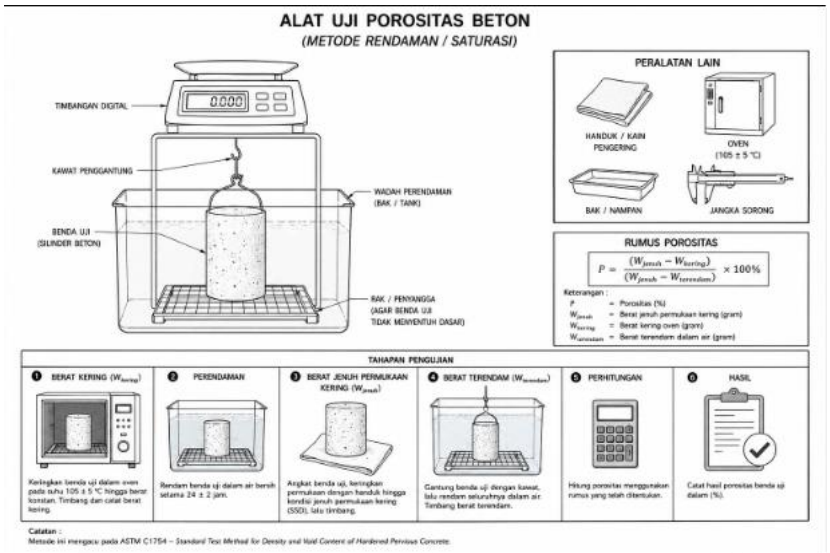
$$f'c(\text{MPa}) = \frac{P_{maks}}{A} \quad (3.1)$$

Keterangan:

- $f'c$ = kuat tekan beton pori (MPa)
- Pmaks = beban tekan maksimum yang dicatat selama pengujian (N)
- A = luas permukaan penampang benda uji (mm²)

3.10.2 Porositas

Porositas pada beton pori adalah ukuran yang menunjukkan seberapa besar ruang kosong atau rongga yang terdapat di dalam massa beton. Berikut gambar alat pengujian porositas beton pori :



Gambar 3.27: Alat Uji Porositas

Pengujian porositas tersebut berperan penting karena rongga-rongga beton pori memang dirancang agar air dapat menembus lapisan perkerasan dan meresap langsung ke tanah.Umumnya prositas menggunakan ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete Standar panduan dari American Concrete Institute yang sering dijadikan rujukan untuk beton berpori/pervious concrete, termasuk deskripsi beton porous dan kisaran karakteristik teknisnya (termasuk *porosity*). Yang Menjadi Acuan Utama Pengujian porositas Beton Berbentuk Silinder Yang Dicetak Di Laboratorium Atau Lapangan porositas tersebut diperoleh melalui persamaan berikut:

Rumus porositas :

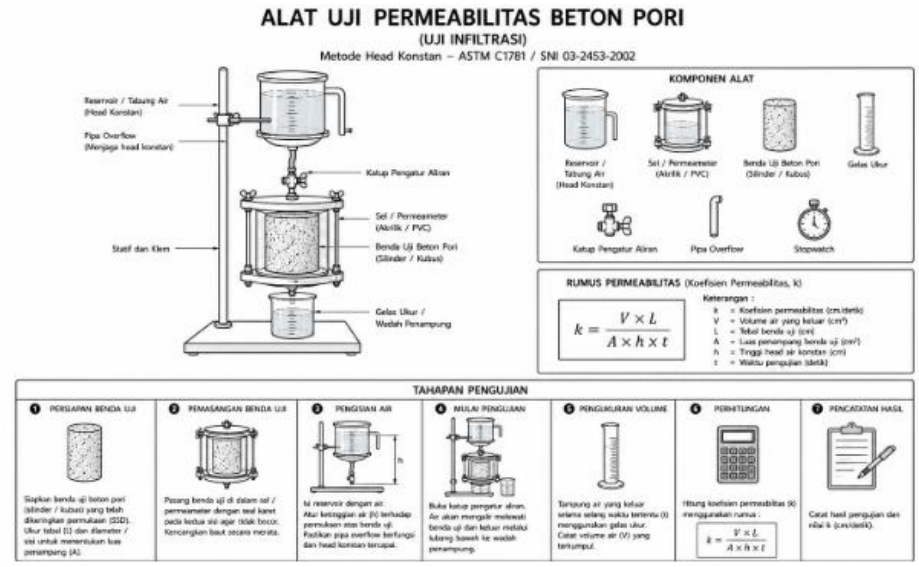
$$n = \frac{M_{jenuh} - M_{kering}}{\rho \cdot V} x100\% \qquad (3.2)$$

Keterangan:

- 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. Berikut gambar alat pengujian permeabilitas beton pori :



Gambar 3.28: Alat Uji Permeabilitas

Permeabilitas Menjadi Acuan Utama Pengujian Beton pori Berbentuk Silinder Yang Dicetak Di Laboratorium Atau Lapangan dan permeabilitas tersebut diperoleh melalui persamaan berikut:

Rumus permeabilitas :

$$k = \frac{Q\ x\ L}{A\ x\ h\ x\ t} \qquad (3.3)$$

Keterangan :

- (k)= Koefisien permeabilitas (m/s atau cm/s)
- (Q)= Volume air yang mengalir (m^3)
- (L)= Panjang/tebal benda uji (arah aliran)(m)
- (A)= Luas penampang benda uji (m^2)
- (h) = Perbedaan tinggi tekanan air (head loss)(m)
- (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)
1.5”	700	650	1350	9,12	9,12	90,88
3/4”	2250	2000	4250	28,72	37,84	62,16
3/8”	2700	2600	5300	35,81	73,65	26,35
No. 4	2000	1900	3900	26,35	100,00	0,00
Total	7650	7150	14800	100,00		
FM (Modulus Kehalusan):					2,21	
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 26,35%**.** Sementara itu, saringan ukuran 3/4” memiliki persentase lolos sebesar 62,16%**.** Adapun pada saringan ukuran 1 diperoleh persentase lolos terbesar yaitu sebesar 96,88%**.** 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”	180	150	330	3,67	3,67	96,33
3/4”	2100	1350	3450	38,33	42,00	58,00
3/8”	1450	1700	3150	35,00	77,00	23,00
No. 4	770	1300	2070	23,00	100,00	0,00
Total	4500	4500	9000	100,00		
FM (Modulus Kehalusan):					2,23	
Wt. Of Oven Dry Sampel:					9000	

Berdasarkan hasil analisis saringan yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, 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 23,00%**.** Selanjutnya, pada saringan ukuran 3/4” persentase lolos meningkat menjadi 58,00%**,** sedangkan pada saringan ukuran 1,5” diperoleh persentase lolos tertinggi yaitu sebesar 96,33%**.** 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 2,23, 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	2600	2580	2590
Wt of SSD sample in Water (Berat contoh (SSD didalam air) (B)	B	1513	1517	1515
Wt of Oven Dry Sample (Berat contoh (SSD) kering oven (110°C) Sampai Konstan (C)	C	2595	2480	2538
Bulk Sp. Gravity-Dry (Berat Jenis contoh kering)		2,39	2,33	2,36

Nama Contoh	Simbol	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Bulk Sp. Gravity-SSD (Berat jenis contoh SSD)		2,39	2,43	2,41
Apparent Sp. Gravity-Dry (Berat jenis contoh semu)		2,40	2,58	2,48
Penyerapan air (%)		0,19	4,03	2,07

Berdasarkan hasil pengujian, agregat kasar menunjukkan nilai berat jenis SSD rata-rata sebesar 2,41, berat jenis kering sebesar 2,36, serta berat jenis semu sebesar 2,48. 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 2,07% termasuk dalam kategori rendah hingga sedang dan masih memenuhi batas yang diizinkan untuk material agregat kasar.

4.1.3 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

Fine Agregate Passing	Satuan	Sampel 1	Sampel 2
Massa Wadah + Benda Uji (a)	gr	2058	2070
Massa Wadah (b)	gr	412	496
Massa Benda Uji (W1)	gr	1646	1574
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven (c)	gr	2040	2065
Massa Benda Uji Kering Oven (W2)	gr	1628	1569
Kadar Air Total (P)	%	1,11	0,32
Rata – Rata	%	0,71	

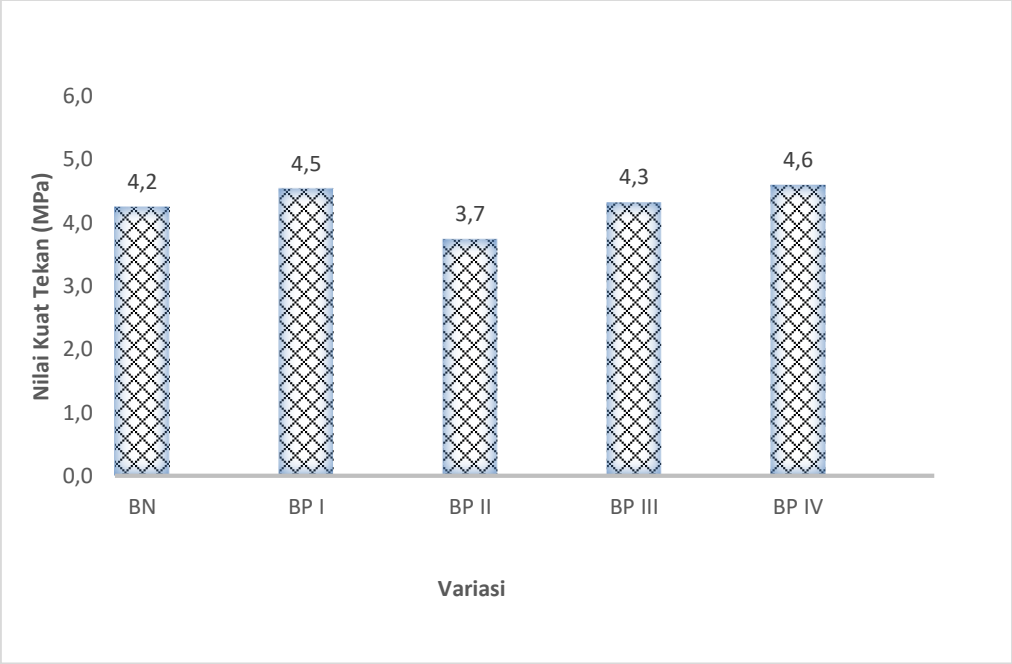
4.2. Hasil Pengujian Beton Pori

4.2.1 Pengujian Kuat Tekan

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Variasi	Benda Uji	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata - Rata (Mpa)
BP BKB 0% +ACS 0%	1	22,500	88,29	3,92	4,2
	2	22,500	102,9	4,57	
	3	22,500	95,65	4,25	
BP I BKB 5% +ACS 0%	1	22,500	101,04	4,49	4,5
	2	22,500	104,96	4,66	
	3	22,500	100,06	4,45	
BP II BKB 5% +ACS 10%	1	22,500	78,48	3,49	3,7
	2	22,500	85,34	3,79	
	3	22,500	88,29	3,92	
BP III BKB 5% +ACS 15%	1	22,500	100,06	4,45	4,3
	2	22,500	98,1	4,36	
	3	22,500	93,19	4,14	
BP IV BKB 5% +ACS 20%	1	22,500	105,94	4,71	4,6
	2	22,500	100,06	4,45	
	3	22,500	103,98	4,62	

Gambar 4.1 Grafik Hasil Nilai Kuat Tekan Rata-Rata



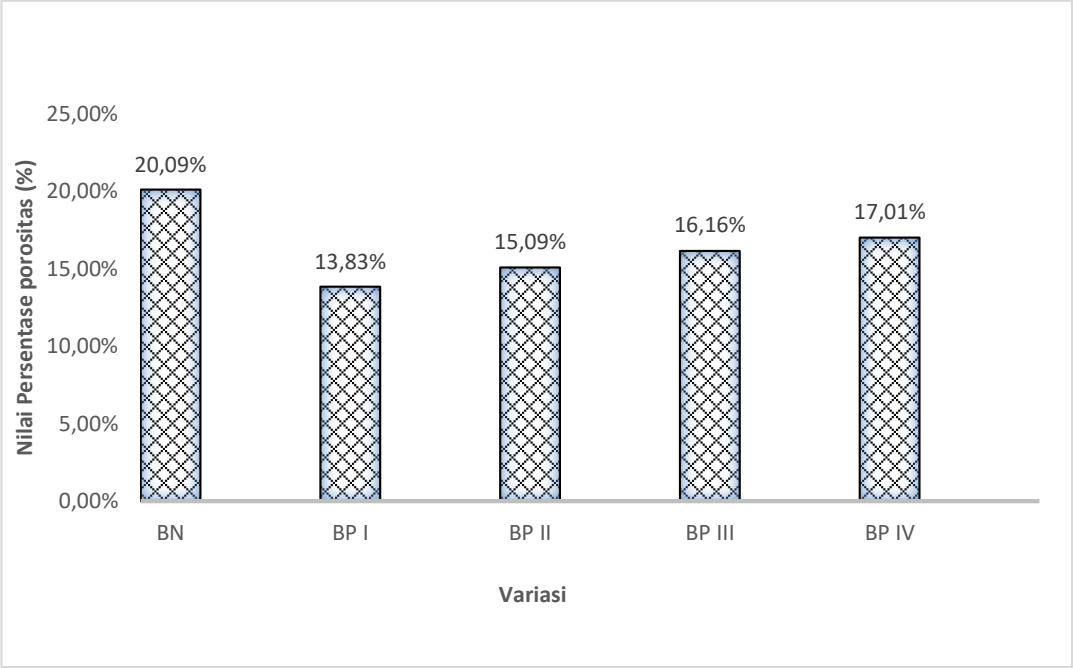
Berdasarkan hasil pengujian, beton pori normal (BN) memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 4,2 MPa. Setelah dilakukan penambahan ban karet bekas (BKB) sebesar 5%, kuat tekan mengalami kenaikan menjadi 4,5 MPa. Pada variasi ban karet bekas (5%) + abu cangkang sawit (10%)**,** nilai kuat tekan menurun menjadi 3,7 MPa, dan pada variasi ban karet bekas (BKB) 5% dan abu cangkang sawit 15% diperoleh nilai kuat tekan rata-rata mengalami kenaikan 4,3 MPa**,**serta pengujian terakhir dengan mengkombinasikan (BKB) 5% + (ACS) 20%.Hasil tersebut menunjukkan kenaikan tertinggi bahwa penambahan abu cangkang sawit terhadap karet ban bekas pada kadar tertentu mampu meningkatkan kuat tekan beton pori setelah mengalami penurunan pada variasi 5%+10%. Peningkatan kuat tekan pada variasi 15% dan 20% diduga terjadi karena partikel halus abu cangkang sawit berfungsi sebagai filler yang mengisi rongga-rongga dalam campuran beton sehingga menghasilkan struktur yang lebih padat dan memperbaiki ikatan antara pasta semen dan agregat. Oleh karena itu, variasi ban karet bekas 5% dan abu cangkang sawit 20% memberikan kinerja kuat tekan terbaik dibandingkan variasi lainnya.

4.2.2 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. 6 Hasil Pengujian Porositas

Variasi	Benda Uji	M Jenuh	M Kering	ρ Air	Volume Benda uji	Persentase porositas beton	Rata – Rata
BP BKB 0% +ACS 0%	1	8925	7865	1	5298,75	20%	20,09%
	2	8850	7756	1	5298,75	21%	
	3	8890	7850	1	5298,75	20%	
BP I BKB 5% +ACS 0%	1	8525	7645	1	5298,75	17%	13,83%
	2	8525	7870	1	5298,75	12%	
	3	8153	7490	1	5298,75	13%	
BP II BKB 5% +ACS 10%	1	8120	7434	1	5298,75	13%	15,09%
	2	8385	7552	1	5298,75	16%	
	3	8373	7493	1	5298,75	17%	
BP III BKB 5% +ACS 15%	1	8135	7212	1	5298,75	17%	16,16%
	2	8010	7223	1	5298,75	15%	
	3	8070	7211	1	5298,75	16%	
BP IV BKB 5% +ACS 20%	1	8325	7331	1	5298,75	19%	17,01%
	2	8405	7513	1	5298,75	17%	
	3	8030	7212	1	5298,75	15%	



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 ban karet bekas (BKB) sebesar 5%, nilai porositas menurun menjadi 13,83%. Pada variasi BKB 5% + ACS 10%, porositas kembali mengalami kenaikan menjadi 15,09%, sedangkan pada variasi BKB 5% + ACS 15%, diperoleh nilai porositas mengalami kenaikan sebesar 16,16%. Sedangkan BKB 5% + ACS 20 % di peroleh nilai rata-rata tertinggi sebesar 17,01% .Tren kenaikan nilai porositas tersebut menunjukkan bahwa semakin besar persentase penambahan abu cangkang sawit , semakin banyak partikel halus yang berperan sebagai pengisi sehingga sebagian rongga di dalam beton menjadi lebih rapat. Kondisi ini menyebabkan ban karet bekas menjadi penyebab utama perubahan berat pada sampel beton. Meskipun demikian, nilai porositas pada seluruh variasi masih berada pada kisaran 13–17%, sehingga beton tetap memiliki sistem pori yang saling terhubung dan masih mampu mempertahankan karakteristiknya sebagai beton pori yang dapat meloloskan air.

4.2.3 Pengujian Permeabilitas

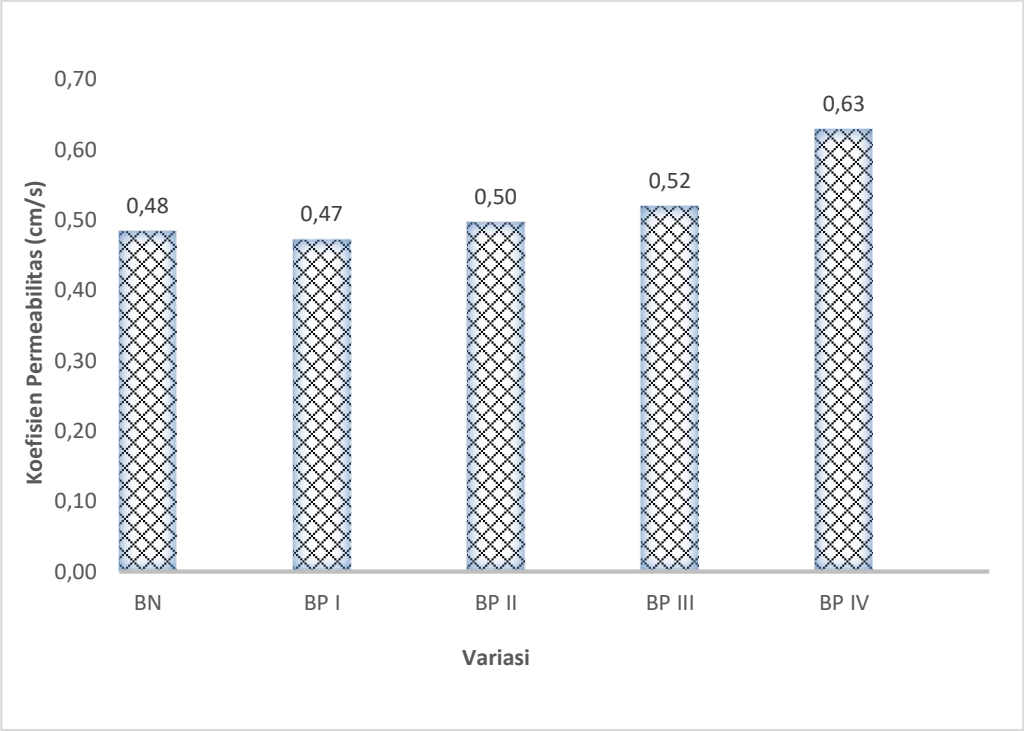
Pengujian permeabilitas dilakukan ketika beton telah mencapai umur 28 hari. Pada setiap variasi campuran digunakan 3 benda uji untuk memperoleh hasil yang

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.

Hasil pengujian permeabilitas pada beton normal sebagai berikut

Tabel 4. 7 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)
BP	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	
BP I	1	176,71	30	11,32	1850	60,92	0,46	0,47
	2	176,71	30	11,32	1847	58,76	0,47	
	3	176,71	30	11,32	1854	56,83	0,49	
BP II	1	176,71	30	11,32	1740	51,06	0,51	0,50
	2	176,71	30	11,32	1795	53,44	0,50	
	3	176,71	30	11,32	1769	55,72	0,48	
BP III	1	176,71	30	11,32	1700	50,62	0,50	0,52
	2	176,71	30	11,32	1790	51,12	0,53	
	3	176,71	30	11,32	1766	50,12	0,53	
BP IV	1	176,71	30	11,32	1800	38,74	0,70	0,63
	2	176,71	30	11,32	1876	44,34	0,63	
	3	176,71	30	11,32	1855	50,11	0,56	



Gambar 4. 3 Grafik Hasil Nilai Koefisien Permeabilitas Rata – Rata

permeabilitas rata-rata sebesar 0,48 cm/s. Setelah dilakukan penambahan ban karet bekas (BKB) sebanyak 5%**,** nilai permeabilitas menurun menjadi 0,47 cm/s. Pada variasi BKB 5%+ ACS 10%**,** nilai permeabilitas kembali naik menjadi 0,50 cm/s**,** sedangkan pada variasi BKB 5% + ACS 15% diperoleh kenaikan nilai permeabilitas rata-rata sebesar 0,52 cm/s. sedangkan BKB 5% + ACS 20 % mengalami kenaikan tertinggi yaitu 0,63 cm/s. Tren kenaikan nilai permeabilitas tersebut menunjukkan bahwa semakin berpengaruh karet ban bekas dengan persentase penambahan abu cangkang sawit, kemampuan beton pori dalam meloloskan air cenderung bertambah . Kondisi ini terjadi karena partikel kasar ban karet bekas mengisi sebagian rongga di dalam beton sehingga memperbesar 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.

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. Berdasarkan hasil pengujian, beton normal (BN) memiliki kuat tekan sebesar 4,2 MPa. Variasi BK B (5%) meningkatkan kuat tekan menjadi 4,5 MPa atau naik 7,14%, sedangkan BK B (5%) + ACS (10%) mengalami penurunan menjadi 3,7 MPa atau turun 11,90%. Pada variasi BK B (5%) + ACS (15%), kuat tekan kembali meningkat menjadi 4,3 MPa (naik 2,38%), dan nilai tertinggi diperoleh pada BK B (5%) + ACS (20%), yaitu 4,6 MPa atau meningkat 9,52% dibandingkan beton normal. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang sawit hingga 20% pada campuran dengan ban bekas 5% memberikan pengaruh paling baik terhadap peningkatan kuat tekan beton pori.
2. Penambahan abu Cangkang Sawit juga memengaruhi nilai porositas beton pori. Beton pori normal memiliki porositas rata-rata sebesar 20,09%, sedangkan pada variasi BKB 5% + ACS 0% , BKB 5% + ACS 10%, BKB 5% + ACS 15% dan BKB 5% + ACS 20% nilai porositas berturut-turut menjadi 13,83%, 15,09%, 16,16% dan 17,01%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa partikel halus Abu cangkang sawit mampu mengisi sebagian rongga di dalam beton sehingga struktur beton menjadi lebih rapat. Hasil pengujian permeabilitas menunjukkan adanya penurunan nilai permeabilitas seiring bertambahnya persentase abu cangkang sawit. Beton pori normal memiliki nilai permeabilitas rata-rata sebesar 0,48 cm/s, kemudian menurun pada variasi BKB 5%, 0,47 cm/s pada variasi BKB 5%+ ACS 10%, BKB 5%+ ACS 15% dan BKB 5%+ ACS 20%, nilai mengalami kenaikan 050 cm/s,0,52 cm/s dan 0,63 cm/s pada variasi BKB 5% + ACS 10%. Walaupun mengalami penurunan, seluruh variasi masih memiliki kemampuan untuk meloloskan air sehingga fungsi beton pori sebagai material yang dapat meresapkan air tetap dapat dipertahankan.

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 cangkang sawit yang lebih beragam, misalnya 17%, 25%, dan 30%, sehingga dapat diketahui kadar optimum abu cangkang sawit dan karet ban bekas 10%,15% dan 20% 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 Ban karet bekas dan abu cangkang sawit 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 Ban karet bekas dan abu cangkang sawit 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).

Abousnina, R., Aljuaydi, F., Benabed, B., Almabrok, M. H., & Vimonsatit, V. (2025). *A State-of-the-Art Review on the Influence of Porosity on the Compressive Strength of Porous Concrete for Infrastructure Applications*. 1–35.

Adriansyah, Suryani, H., & Ridhayani, I. (2025). *Jurnal Teknik Sipil PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG SAWIT UNTUK BETON BERPORI Jurnal Teknik Sipil*. *1*, 55–62.

Arif, M., & Suryani, H. (2025). *Jurnal Teknik Sipil Jurnal Teknik Sipil*. *1*, 11–19.

Azunna, S. U., Aziz, F. N. A. A., Rashid, R. S. M., & Mahsum, E. B. (2025). Stress–Strain Relationship of Rubberized Geopolymer Concrete with Slag and Fly Ash. *Construction Materials*, *5*(3), 42.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2025). *Buletin Info Bencana: Edisi Maret 2025*. Jakarta: BNPB. https://bnpb.go.id/informasi-bencana/buletin-info-bencana-maret-2025.

Bouddh, A., Birali, R. R. L., & Singh, A. P. (2025). *Effect of Mix Proportions on Strength and Porosity of Pervious Concrete*. *3*(5).

Carlos, S., & Jose, J. (2021). *Physical and Hydraulic Properties of Porous Concrete*.

Faridl, M., Jasman, & Widarto, H. (2025). *PENGARUH SUBTITUSI AGREGAT HALUS DENGAN LIMBAH BAN BEKAS (CRUMB RUBBER) TERHADAP KUAT TEKAN DAN TARIK BELAH BETON*. *05*(02), 731–738.

Fly, P., Terhadap, A. S. H., & Tekan, K. (2022). *Penggunaan fly ash terhadap kuat tekan dan porositas beton porous*. *12*(01), 11–25.

Gal, J. J. (2024). *Relationships between density , porosity , compressive strength and permeability in porous concretes : Optimization of properties through control of the water-cement ratio and aggregate type*. *97*(August), 1–11. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110858.

Ghilman, R. M., & Walujodjati, E. (2023). *Pengujian Kuat Lentur dan Permeabilitas Terhadap Beton Porous dengan Agregat Kasar Cilopang*. 224–229.

Hamsan, N. F., Azlina, N., & Hamid, A. (2021). *A Comparative Study on Utilization of Palm Oil Fuel Ash (POFA) as Partial Cement Replacement in Concrete*.

2(1), 773–782.

Harahap. (2012). *Teori Akuntansi Edisi Revisi*. Rajawali pers.

Hung, V. V., Seo, S., Kim, H., & Lee, G. (2021). *Permeability and Strength of Pervious Concrete According to Aggregate Size and Blocking Material*.

Kebencanaan, K., Informasi, D., & Komunikasi, I. D. A. N. (2025). *Historis 10 tahun banjir jabodetabek*. *6*(3), 1–47.

Kuat, T., Dan, T., & Beton, P. (2022). *PENGARUH VARIASI AGREGAT KASAR PENYUSUN BETON POROUS TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS BETON Irene Vista Simanjuntak 1 , Sudarno P Tampubolon 2 1*. *3*(1), 1–10.

Lentur, K. (2023). *Pengaruh penambahan limbah karet sol sebagai substitusi agregat kasar pada campuran beton terhadap kuat lentur*. *3*(1), 1–10.

Manaf, A., Ridhayani, I., & Nurdin, A. (2023). *PENGGANTI SEMEN PADA BETON BERPORI*. *5*(1), 17–26.

Methods, M. C. A. G. I. S., Hoang, T. Van, Chou, T. Y., Fang, Y. M., & Nguyen, N. T. (2020). *applied sciences Mapping Forest Fire Risk and Development of Early Warning System for NW Vietnam Using AHP and*. 1–19.

Mitrosz, O., Kurpińska, M., Miśkiewicz, M., & Brzozowski, T. (2025). *Effect of vibration duration on strength and permeability of pervious concrete with recycled aggregate and low-carbon cements*. 1–18.

Nugroho, G., Pujianto, A., & Kania, E. (2023). *Pengaruh Subtitusi Serbuk Karet Ban Bekas Sebagai Pengganti Agregat Halus terhadap Kuat Tekan Beton*. *3*(2), 1–6.

Nurchasanah, Y., Rochman, A., Handayani, N. K., & Irianto, R. A. (2022). *PEMANFAATAN CRUMB RUBBER DAN RUBBER CHIP DARI LIMBAH BAN BEKAS TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON*. 194–197.

Olivia, M. (2019). *KUAT TEKAN DAN POROSITAS MORTAR SERBUK*. *15*(1), 57–65.

Raafidiani, R., Handriawan, I. R., & Febriansya, A. (2022). Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi dan Karet Ban sebagai Bahan Tambah Agregat pada Beton. *Jurnal TEDC*, *16*(2), 173–176.

Ramadhani, R. S., & Sitanggang, E. S. Y. (2023). *SAWIT TERHADAP KUAT TEKAN , KUAT*.

Riyanto, E., Setiawan, A., & Taufik, M. (2023). *Pengaruh Ukuran Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Infiltrasi dan Permeabilitas Beton Porous*. *7*, 61–71.

Singaravel, D. A., Veerapandian, P., Rajendran, S., & Dhairiyasamy, R. (2024). Enhancing high - performance concrete sustainability : integration of waste tire rubber for innovation. *Scientific Reports*, 1–17. https://doi.org/10.1038/s41598-024-55485-9.

Sukumar, K., & Deepan, P. (2020). Study on Properties of Concrete Made with Industrial Waste. *Emperor Journal of Applied Scientific Research*, *2*(6).

Yanti, G. (2021). *Variasi penambahan sikacim pada beton porous*. *10*, 112–123. https://doi.org/10.22225/pd.10.1.2617.112-123.

Zhang, P., Wang, X., Wang, J., & Zhang, T. (2022). *Workability and Durability of Concrete Incorporating Waste Tire Rubber : A Review*. https://doi.org/10.32604/jrm.2022.022846.

Hasan, N. M. S., Sobuz, M. H. R., Shaurdho, N. M. N., Meraz, M. M., Datta, S. D., Aditto, F. S., Kabbo, M. K. I., & Miah, M. J. (2023). *Eco-friendly concrete incorporating palm oil fuel ash: Fresh and mechanical properties with machine learning prediction, and sustainability assessment*. Heliyon, 9, e22296.

LAMPIRAN

a. 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 = $\frac{P}{A}$

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

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

$$= 3.924 \text{ N/mm}^2$$

$$= 3.92 \text{ MPa}$$

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 = $\frac{P}{A}$

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

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

$$= 4.573 \text{ N/mm}^2$$

$$= 4.6 \text{ MPa}$$

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 = $\frac{P}{A}$

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

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

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

$$= 4.25 \text{ Mpa}$$

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

b. Perhitungan Kuat Tekan Beton Variasi BKB (5%) + ACS (0%)

Benda Uji 1 (B1)

- Beban (P) = 10,3 ton x 9.81 = 101,04 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$= \frac{101{,}04 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= \frac{101{,}04 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$

= 4,490 N/mm^2

= 4,50 Mpa

Benda Uji 2 (B2)

- Beban (P) = 10,7 ton x 9.81 = 104,96 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$= \frac{104{,}96\text{kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= \frac{144{,}77 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$

= 4.665 N/mm^2

= 4,66 Mpa

Benda Uji 3 (B3)

- Beban (P) = 10,2 ton x 9.81 = 100.06 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2

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

$= \frac{100.06 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= \frac{100.06 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= 4.447 \text{ N/mm}^2$

$= 4.45 \text{ Mpa}$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

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

$= \frac{4.5+4.66+4.45}{3}$

$= 4.5 \text{ MPa}$

c. Perhitungan Kuat Tekan Beton Variasi BKB (5%) + ACS (10%)

Benda Uji 1 (C1)

- Beban (P) = 8 ton x 9.81 = 78.48 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$= \frac{78.48 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= \frac{78.48 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= 3.488 \text{ N/mm}^2$

$= 3.5 \text{ Mpa}$

Benda Uji 2 (C2)

- Beban (P) = 8.7 ton x 9.81 = 85.34 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$= \frac{85.34 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= \frac{85.34 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$

$= 3.793 \text{ N/mm}^2$

$= 3.8 \text{ Mpa}$

Benda Uji 3 (C3)

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

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

$$= \frac{88.29 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$= 3.73 \text{ N/mm}^2$

$= 3,7 \text{ Mpa}$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

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

$$= \frac{3.5 + 3.8 + 4}{3}$$

$= 3.7 \text{ MPa}$

d. Perhitungan Kuat Tekan Beton Variasi BKB (5%) + ACS (15%)

Benda Uji 1 (D1)

- Beban (P) = 10.2 ton x 9.81 = 100.06 Kn
- Luas Kubus (A) $= 22.500 \text{ mm}^2$
- Kuat Tekan Beton $= \frac{\text{P}}{\text{A}}$

$$= \frac{100.06 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= \frac{100.06 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$= 4.44 \text{ N/mm}^2$

$= 4.4\text{Mpa}$

Benda Uji 2 (D2)

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

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

$$= \frac{98.1 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$$

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

$$= 4.3 \text{ Mpa}$$

Benda Uji 3 (D3)

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

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

$$= \frac{93.19 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= 4.142 \text{ N/mm}^2$$

$$= 4.14 \text{ Mpa}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

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

$$= \frac{4.4 + 4.3 + 4.14}{3}$$

$$= 4.3 \text{ MPa}$$

e. Perhitungan Kuat Tekan Beton Variasi BKB (5%) + ACS (20%)

Benda Uji 1 (D1)

- Beban (P) = 10.8 ton x 9.81 = 105.94 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2

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

$$= \frac{105.94 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= \frac{105.94 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= 4.70 \text{ N/mm}^2$$

$$= 4.7 \text{ Mpa}$$

Benda Uji 2 (D2)

- Beban (P) = 10.2 ton x 9.81 = 100.06 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{100.06 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= \frac{100.06 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= 4.44 \text{ N/mm}^2$$

$$= 4.4\text{Mpa}$$

Benda Uji 3 (D3)

- Beban (P) = 10.6 x 9.81 = 103.98 Kn
- Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{103.98 \text{ kn x } 1000}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= \frac{103.98 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2}$$

$$= 4.621 \text{ N/mm}^2$$

$$= 4.6 \text{ Mpa}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

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

$$= \frac{4.7 + 4.4 + 4.6}{3}$$

= 4.6 MPa

A. 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 = $\frac{\text{MJenuh}-\text{MKering}}{\rho \,.\, v}$ 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 = $\frac{\text{MJenuh}-\text{MKering}}{\rho \,.\, v}$ 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 = $\frac{\text{MJenuh}-\text{MKering}}{\rho \,.\, v}$ x 100

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

  = 19.62 %

Hasil Porositas Beton Rata-Rata

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

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

= 20.09%

a. Perhitungan Porositas Variasi BKB (5%) + ACS (0%)

Benda Uji 1 (B1)

- M (Jenuh) = 8525 gr
- M (Kering) = 7645 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{\text{MJenuh}-\text{MKering}}{\rho \,.\, v}$ x 100

  = $\frac{8525\ \text{gr}-7645\ \text{gr}}{1\ \text{gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75\ \text{cm}^3}$ x 100

  = 17 %

Benda Uji 2 (B2)

- M (Jenuh) = 8070 gr
- M (Kering) = 7652 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{MJenuh-MKering}{\rho \,.\, v}$ x 100

  = $\frac{8070\ \text{gr}-7652\ \text{gr}}{1\ \text{gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75\ \text{cm}^3}$ x 100

  = 8 %

Benda Uji 3 (B3)

- M (Jenuh) = 8153 gr
- M (Kering) = 7491 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{MJenuh-MKering}{\rho \, . \, v}$ x 100

$$= \frac{8153 \text{ gr} - 7491 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75 \text{ cm}^3} \text{ x } 100$$

$$= 12 \ \%$$

Hasil Porositas Beton Rata-Rata

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

$$= \frac{17+8+12}{3}$$

$$= 12{,}33 \ \%$$

d. Perhitungan Porositas Variasi BKB (5%) + ACS (10%)

Benda Uji 1 (D1)

- M (Jenuh) = 8120 gr
- M (Kering) = 7534 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

$$= \frac{8120 \text{ gr} - 7534 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75 \text{ cm}^3} \text{ x } 100$$

$$= 11 \ \%$$

Benda Uji 2 (D2)

- M (Jenuh) = 8385 gr
- M (Kering) = 7552 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{\text{MJenuh}-\text{MKering}}{\rho \, . \, v}$ x 100

$$= \frac{8385 \text{ gr} - 7552 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75 \text{ cm}^3} \text{ x } 100$$

= 16 %

Benda Uji 3 (D3)

- M (Jenuh) = 8373 gr
- M (Kering) = 7593 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{\text{MJenuh}-\text{MKering}}{\rho \, . \, v}$ x 100

$$= \frac{8373 \text{ gr} - 7593 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75 \text{ cm}^3} \text{ x } 100$$

= 15 %

Hasil Porositas Beton Rata-Rata

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

$$= \frac{11+16+15}{3}$$

= 13.83%

Perhitungan Porositas Variasi BKB (5%) + ACS (15%)

Benda Uji 1 (C1)

- M (Jenuh) = 8135 gr
- M (Kering) = 7312 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3

- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{MJenuh-MKering}{\rho \, . \, v}$ x 100

  = $\frac{8135 \text{ gr} - 7312 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75 \text{ cm}^3}$ x 100

  = 16 %

Benda Uji 2 (C1)

- M (Jenuh) = 8010 gr
- M (Kering) = 7223 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{MJenuh-MKering}{\rho \, . \, v}$ x 100

  = $\frac{8010 \text{ gr} - 7223 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75 \text{ cm}^3}$ x 100

  = 15 %

Benda Uji 3 (C1)

- M (Jenuh) = 8070 gr
- M (Kering) = 7211 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{MJenuh-MKering}{\rho \, . \, v}$ x 100

  = $\frac{8070 \text{ gr} - 7211 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75 \text{ cm}^3}$ x 100

  = 16 %

Hasil Porositas Beton Rata-Rata

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

= $\frac{16+15+16}{3}$

= 15,53 %

Perhitungan Porositas Variasi BKB (5%) + ACS (20%)

Benda Uji 1 (C1)

- M (Jenuh) = 7925 gr
- M (Kering) = 7231 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{MJenuh-MKering}{\rho \, . \, v}$ x 100

  = $\frac{7925 \text{ gr} - 7231 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75 \text{ cm}^3}$ x 100

  = 13 %

Benda Uji 2 (C1)

- M (Jenuh) = 8640 gr
- M (Kering) = 7413 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{MJenuh-MKering}{\rho \, . \, v}$ x 100

  = $\frac{8640 - 7413 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75 \text{ cm}^3}$ x 100

  = 23 %

Benda Uji 3 (C1)

- M (Jenuh) = 8030 gr
- M (Kering) = 7212 gr
- ρ Air = 1 gr/cm^3
- Volume Benda Uji = 5298.75 cm^3
- Persentase Porositas Beton = $\frac{MJenuh-MKering}{\rho \, . \, v}$ x 100

  = $\frac{8030 \text{ gr} - 7212 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \text{ x } 5298.75 \text{ cm}^3}$ x 100

= 15 %

Hasil Porositas Beton Rata-Rata

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

$= \frac{13+23+15}{3}$

= 17,53 %

B. 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 $= \frac{\text{QXL}}{\text{AXhxt}}$

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

= 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 $= \frac{QXL}{AXhxt}$

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

$= 0.48$ 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 $= \frac{QXL}{AXhxt}$

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

$= 0.47$ cm/dt

Hasil Permeabilitas Beton Rata-Rata

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

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

$= 0.48$ cm/s

b. Perhitungan Permeabilitas Variasi BKB (5%) + ACS (0%)

Benda Uji 1 (B1)

- Volume Air (Q) $= 1850\ cm^3$
- Tebal Benda Uji (L) $= 30$ cm
- Luas Penampang (A) $= 176.71\ cm^2$
- Beda Tinggi Muka Air (h) $= 11.32$ cm
- Waktu Aliran (t) $= 60{,}92$ dt
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1850\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71 cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 60{,}92\ dt}$$

= 0.46 cm/s

Benda Uji 2 (B2)

- Volume Air (Q) = 1847 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) = 58,76 dt
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1715\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71 cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 58{,}76\ dt}$$

= 0.47 cm/s

Benda Uji 3 (B3)

- Volume Air (Q) = 1854 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) = 56,83 dt
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1810\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 56{,}83\ dt}$$

= 0.49 cm/s

Hasil Permeabilitas Beton Rata-Rata

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

$$= \frac{0.46 + 0.47 + 0.49}{3}$$

= 0.47 cm/s

c. Perhitungan Permeabilitas Variasi BKB (5%) + ACS(10%)

Benda Uji 1 (C1)

- Volume Air (Q) = 1740 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) = 51,06 dt
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1760\ cm^2 x\ 30\ cm}{176.71\ cm^2\ x\ 11.32\ cm\ x\ 51{,}06\ dt}$$

$$= 0.51\ cm/s$$

Benda Uji 2 (C2)

- Volume Air (Q) = 1795 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) = 53,44 dt
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1732 cm^2\ x\ 30\ cm}{176.71\ cm^2\ x\ 11.32\ cm\ x\ 53{,}44\ dt}$$

$$= 0{,}50\ cm/s$$

Benda Uji 3 (C3)

- Volume Air (Q) = 1769 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) = 55,72 s
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1788\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 55{,}72\ dt}$$

= 0,48 cm/s

Hasil Permeabilitas Beton Rata-Rata

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

$$= \frac{0.51+0.50+0.48}{3}$$

= 0.50 cm/s

d. Perhitungan Permeabilitas Variasi BKB (5%) + ACS (15%)

Benda Uji 1 (D1)

- Volume Air (Q) = 1700 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) = 50,62 s
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1790\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 50{,}62\ dt}$$

= 0,50 cm/s

Benda Uji 2 (D2)

- 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) = 51,12 s
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1742\ cm^2\ x\ 30\ cm}{176.71\ cm^2\ x\ 11.32\ cm\ x\ 51{,}12\ dt}$$

= 0.53 cm/s

Benda Uji 3 (D3)

- Volume Air (Q) = 1766 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) = 50,12 s
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1710\ cm^2 x\ 30\ cm}{176.71\ cm^2\ x\ 11.32\ cm\ x\ 50{,}12\ dt}$$

= 0,53 cm/s

Hasil Permeabilitas Beton Rata-Rata

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

$$= \frac{0.50+0.53+0.53}{3}$$

= 0.52 cm/s

d. Perhitungan Permeabilitas Variasi BKB (5%) + ACS (20%)

Benda Uji 1 (D1)

- Volume Air (Q) = 1800 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) = 38,74 s
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1790\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 38{,}74\ dt}$$

= 0.70 cm/s

Benda Uji 2 (D2)

- Volume Air (Q) = 1876 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) = 44,34 s
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1742\ cm^2 \text{ x } 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 44{,}34\ dt}$$

= 0,63 cm/s

Benda Uji 3 (D3)

- Volume Air (Q) = 1855 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) = 50,11 s
- Koefisien Permeabilitas $= \frac{QXL}{AXhxt}$

$$= \frac{1710\ cm^2 x\ 30\ cm}{176.71\ cm^2 \text{ x } 11.32\ cm \text{ x } 50{,}11\ dt}$$

= 0.56 cm/s

Hasil Permeabilitas Beton Rata-Rata

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

$$= \frac{0.70+0.63+0.56}{3}$$

= 0.63 cm/s

B. DOKUMENTASI PELAKSANAAN



Gambar L-1: Persiapan Agregat Kasar



Gambar L-2: Persiapan Bahan Tambah Karet Ban Bekas (BKB)



Gambar L-3: Persiapan Bahan Tambah Abu Cangkang Sawit



Gambar L-4: Penimbangan Agregat Kasar



Gambar L-5: Pembuatan Benda Uji



Gambar L-6: Proses Memasukan Benda Uji Kedalam Cetakan



Gambar L-7: Proses Melepaskan Cetakan Dari Benda Uji



Gambar L-8: Proses Curing Plastik



Gambar L-9: Proses Uji Kuat Tekan



Gambar L-10: Proses Uji Permeabilitas Beton



Gambar L-11: Proses Uji Porositas Beton

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA IDENTITAS DIRI

Nama Lemgkap	: Edy Ramanda Manurung
Tempat Tanggal Lahir	: Medan, 16 November 2003
Jenis Kelamin	: Laki- Laki
Agama	: Islam
Alamat	: Jl . AL ERMAN II LK 05 Gg. Berlian Kiri , Kec Medan Marelan, Kabupaten Medan Kota, Sumatera Utara 20254
Nomor Hp	: +6282294652885
Nama Ayah	: Manappin Manurung
Nama Ibu	: Willy Safitri

RIWAYAT PENDIDIKAN

NIM	: 2207210139
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 Negeri 054922	2010-2016
Sekolah Menengah Pertama	: SMP Negeri 1 Besitang	2016-2019
Sekolah Menengah Atas	: SMA Swasta Brigjend Katamso II	2019-2022