

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH ABU AMPAS TEBU SEBAGAI
BAHAN SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP SIFAT-SIFAT
BETON PORI**

(Studi Penelitian)

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Untuk Memperoleh

Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh:

AKBAR NOVALDI

2207210110



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Akbar Novaldi

NPM : 2207210110

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Substitusi
Semen Terhadap Sifat-Sifat Beton Pori

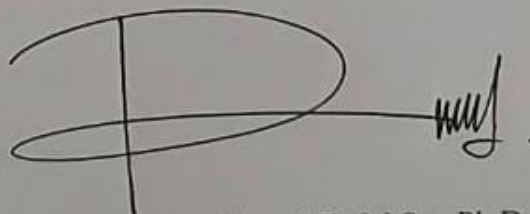
Bidang Ilmu : Struktur

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

DISETUJUI DISAMPAIKAN
KEPADA PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 29 Agustus 2026

Dosen Pembimbing

A large, stylized handwritten signature in black ink, consisting of a large loop followed by a vertical line and a smaller loop.

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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Akbar Novaldi

NPM : 2207210110

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Substitusi
Semen Terhadap Sifat-Sifat Beton Pori

Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, 29 Agustus 2026

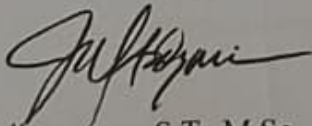
Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



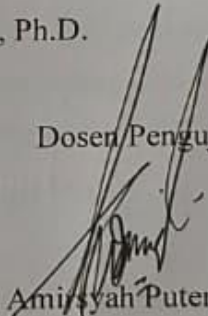
Fetra Venny Riza, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Penguji I



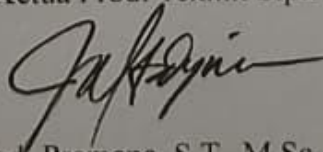
Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Penguji II



Ir. Tondi Amir Syah Putera S.T., M.T.

Ketua Prodi Teknik Sipil



Josef Hadi Pramana, S.T., M.Sc., Ph.D.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Akbar Novaldi

Tempat, tanggal lahir : Pangkalan Brandan, 09 November 2004

NPM : 2207210110

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan penuh tanggung jawab bahwa laporan Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Pengaruh Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Substitusi Semen Terhadap Sifat-Sifat Beton Pori" ini tidak mengandung unsur plagiarisme, penjiplakan, maupun pengambilan hasil karya orang lain untuk kepentingan pribadi, baik secara material maupun nonmaterial.

Seluruh isi laporan disusun berdasarkan hasil pemikiran, penelitian, dan pekerjaan saya sendiri serta dapat dipertanggungjawabkan keasliannya. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya ketidaksesuaian antara pernyataan ini dengan faktanya, saya bersedia menjalani proses pemeriksaan dan verifikasi oleh Tim Fakultas yang berwenang serta menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

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

Medan, 29 Agustus 2026

Saya Menyatakan,



Akbar Novaldi

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH ABU AMPAS TEBU SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN TERHADAP SIFAT-SIFAT BETON PORI

Akbar Novaldi
2207210110

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

Beton porous atau beton berpori adalah jenis beton khusus yang memiliki tingkat porositas tinggi dan umumnya digunakan sebagai pelat beton yang memungkinkan air hujan maupun air dari sumber lainnya dapat meresap dan mengalir melaluinya. Penelitian ini menggunakan abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen dengan persentase sebesar 10%, 15% dan 20%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh abu ampas tebu terhadap sifat-sifat beton pori. Metode Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu dengan melakukan pembuatan benda uji berupa beton pori. Benda uji ini dibuat dalam bentuk kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 untuk pengujian kuat tekan dan bentuk silinder dengan ukuran 15 x 30 untuk pengujian porositas serta peremabilitas. Pengujian ini dilakukan pada umur 28 hari.

Hasil dari uji laboratorium yang telah dilakukan, didapat hasil bahwa penambahan abu ampas tebu pada pengujian kuat tekan yaitu 10% sebesar 4,36 MPa, 15% sebesar 3,49 MPa dan 20% sebesar 3,27 MPa. Pada pengujian porositas yaitu 10% sebesar 19,88%, 15% sebesar 21,26% dan 20% sebesar 21,64%. Pada pengujian permeabilitas yaitu 10% sebesar 0,45 cm/s, 15% sebesar 0,50 cm/s dan 20% sebesar 0,52 cm/s. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase penggunaan abu ampas tebu yang digunakan sebagai bahan tambah maka semakin kecil nilai kuat tekan yang diperoleh dan nilai porositas serta permeabilitas yang didapat akan semakin besar. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen dapat digunakan dalam campuran beton jika persentase yang dipakai tidak boleh lebih dari 10% karena akan menurunkan kualitas beton pori.

Kata kunci: Beton pori, abu ampas tebu, kuat tekan, porositas, permeabilitas.

ABSTRAC

ANALYSIS OF THE EFFECT OF SUGARCANE BAGASSE ASH AS A CEMENT SUBSTITUTION MATERIAL ON THE PROPERTIES OF PERVIOUS CONCRETE

Akbar Novaldi

2207210110

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

Pervious concrete, also known as porous concrete, is a special type of concrete with a high level of porosity that is commonly used for concrete pavements, allowing rainwater and other surface water to infiltrate and pass through the material. Sugarcane bagasse ash contains a relatively high silica content, enabling it to be classified as a pozzolanic material. This study used sugarcane bagasse ash as a partial cement replacement at substitution levels of 10%, 15%, and 20%. The objective of this research was to investigate the effect of sugarcane bagasse ash on the properties of pervious concrete. An experimental research method was employed by producing pervious concrete specimens. Cube specimens measuring $15 \times 15 \times 15$ cm were prepared for the compressive strength test, while cylindrical specimens measuring 15×30 cm were used for the porosity and permeability tests. All tests were conducted at the age of 28 days. The laboratory test results showed that the compressive strengths of pervious concrete containing sugarcane bagasse ash were 4.36 MPa for the 10% substitution, 3.49 MPa for the 15% substitution, and 3.27 MPa for the 20% substitution. The corresponding porosity values were 19.88%, 21.26%, and 21.64%, while the permeability values were 0.45 cm/s, 0.50 cm/s, and 0.52 cm/s, respectively. These findings indicate that increasing the percentage of sugarcane bagasse ash used as a partial cement replacement decreases the compressive strength of pervious concrete while increasing its porosity and permeability. Therefore, it can be concluded that sugarcane bagasse ash may be used as a partial cement replacement in pervious concrete mixtures, provided that the replacement level does not exceed 10%, as higher replacement percentages reduce the overall quality of the pervious concrete.

Keywords: *Porous concrete, bagasse ash, compressive strength, porosity, permeability.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah Swt. atas segala pertolongan, rahmat, dan kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsinya yang berjudul “Analisis Pengaruh Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Substitusi Semen Terhadap Sifat-Sifat Beton Pori” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Penulis menyadari banyak pihak yang memberikan dukungan tugas akhir ini. Oleh karena itu, dengan penuh hormat mengucapkan terimakasih dan mendoakan dengan tulus kepada:

1. Ibu Dr. Fetra Veny Riza, S. T., M. Sc selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Program Studi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ir. Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Assoc. Prof. Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph. D selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipil kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Terimakasih yang istimewa sekali kepada Ayah, Ibu dan ketiga kakak serta abang ipar yang telah bersusah payah mendidik dan membiayai saya serta

menjadi penyemangat saya serta senantiasa mendoakan saya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan.

Akhir kata saya mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga Tugas Akhir bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman-teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya. Aamiin.

Medan, 21 Agustus 2026

Penulis

(Akbar Novaldi)

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRAC</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
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 Material Penyusun Beton Pori	8
2.2.1 Semen Portland	8
2.2.2 Agregat Kasar	9
2.2.3 Air	11
2.3 Abu Ampas Tebu	12
2.4 Kuat Tekan	14
2.5 Porositas	15
2.6 Permeabilitas	16
BAB 3 METODE PENELITIAN	17
3.1 Tahapan Penelitian	17
	viii

3.2 Sumber Sumber Dalam Penelitian	19
3.3 Metode Penelitian	19
3.4 Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.5 Alat dan bahan	21
3.6 Pemeriksaan Bahan	32
3.6.1 Pemeriksaan Agregat Kasar	32
3.6.2 Pemeriksaan Abu Ampas Tebu	34
3.7 Mix Design	34
3.8 Takaran Mix Design	36
3.8.1 Cetakan Kubus	36
3.8.2 Cetakan Silinder	37
3.8.3 Perhitungan Dasar Mix Design	38
3.9 Pembuatan Beton Pori	39
3.10 Perawatan (Curing)	41
3.11 Pengujian Beton Pori	42
3.11.1 Kuat Tekan	42
3.11.2 Porositas	43
3.11.3 Permeabilitas	44
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Hasil Pemeriksaan Material Benda Uji	45
4.2 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar	45
4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	46
4.4 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar	47
4.5 Pemeriksaan Abu Ampas Tebu	48
4.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Pori	49
4.7 Hasil Pengujian Porositas	51
4.8 Hasil Pengujian Permeabilitas	55
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	63
	ix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir	17
Gambar 3.2 Timbangan Digital	21
Gambar 3.3 Concrete Mixer	21
Gambar 3.4 Bekisting Silinder	22
Gambar 3.5 Bekisting Kubus	22
Gambar 3.6 Tongkat Pemadat	23
Gambar 3.7 Bak Rendam Sample Bahan Uji	23
Gambar 3.8 Oven	23
Gambar 3.9 Compression Testing Machine	24
Gambar 3.10 Sekop	24
Gambar 3.11 Gelas Ukur	25
Gambar 3.12 Sarung Tangan	25
Gambar 3.13 Masker	26
Gambar 3.14 Kuas	26
Gambar 3.15 Kerucut Abrams	27
Gambar 3.16 Pan	27
Gambar 3.17 Saringan No. 200	28
Gambar 3.18 Saringan No. 4	28
Gambar 3.19 Palu karet	29
Gambar 3.20 Mesin Los Angeles	29
Gambar 3.21 Semen Portland	30
Gambar 3.22 Batu Pecah	30
Gambar 3.23 Air Bersih	31
Gambar 3.24 Minyak Gemuk	31
Gambar 3.25 Abu Ampas Tebu	32
Gambar 3.25 Cetakan Kubus	31
Gambar 3.26 Cetakan Silinder	32
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Variasi AAT dengan Hasil Kuat Tekan	43
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Variasi AAT dengan Hasil Porositas	45

Gambar 4.3 Grafik Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan	46
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Variasi AAT dengan Hasil Permeabilitas	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pengujian Kuat Tekan Beton Pori	35
Tabel 3.2 Pengujian Porositas Beton Pori	35
Tabel 3.3 Pengujian Permeabilitas Beton Pori	36
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar Cetakan Kubus	45
Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar Cetakan Silinder	46
Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	47
Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar	48
Tabel 4.5 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pori.....	50
Tabel 4.7 Hasil Uji Porositas Beton Pori	52
Tabel 4.8 Hasil Uji Permeabilitas Beton Pori	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Pengujian Kuat Tekan	63
Lampiran 2. Perhitungan Pengujian Porositas	67
Lampiran 3. Perhitungan Pengujian Permeabilitas	71
Lampiran 4. Abu Ampas Tebu	76
Lampiran 5. Penimbangan Abu Ampas Tebu, Semen dan Agregat Kasar	76
Lampiran 6. Hasil Beton Pori	78
Lampiran 7. Proses Perawatan Beton Pori (<i>Curing</i>)	79
Lampiran 8. Penimbangan Beton Pori	79
Lampiran 9. Uji Kuat Tekan Beton Pori	81
Lampiran 10. Uji Porositas Beton Pori	82
Lampiran 11. Uji Permeabilitas Beton Pori	83

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir masih menjadi ancaman serius yang hampir setiap tahun melanda berbagai wilayah di Indonesia dengan dampak sosial dan ekonomi yang besar. Berdasarkan Buku Data Bencana Indonesia 2023 yang dirilis oleh BNPB yang tercantum dalam portal, banjir merupakan salah satu tipe bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi, dengan lebih dari 1.255 kejadian sepanjang 2023 dari total 5.400 kejadian bencana di seluruh Indonesia. Dalam periode tersebut, bencana banjir turut berkontribusi terhadap puluhan ribu rumah yang rusak atau terendam air serta jutaan warga yang terdampak langsung, termasuk sekitar 4,39 juta rumah yang mengalami berbagai derajat kerusakan dan puluhan ribu rumah yang terendam akibat banjir dan bencana lain yang terkait cuaca ekstrem (BNPB, 2023).

Penggunaan beton konvensional yang terus meningkat menyebabkan banyak permukaan tanah menjadi kedap air, sehingga air hujan tidak dapat meresap dengan optimal ke dalam tanah. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, beton pori menjadi salah satu solusi yang efektif karena mampu meningkatkan infiltrasi air. Beton porous atau beton berpori adalah jenis beton khusus yang memiliki tingkat porositas tinggi dan umumnya digunakan sebagai pelat beton yang memungkinkan air hujan maupun air dari sumber lainnya dapat meresap dan mengalir melaluinya. Dengan demikian, penggunaan beton ini dapat mengurangi limpasan permukaan serta membantu meningkatkan pengisian air tanah. Tingginya porositas pada beton berpori disebabkan oleh adanya rongga-rongga yang saling terhubung. Pada umumnya, beton berpori dibuat dengan penggunaan agregat halus yang sangat sedikit atau bahkan tanpa agregat halus, serta menggunakan pasta semen dalam jumlah yang cukup untuk melapisi agregat kasar dan mempertahankan keterhubungan antar pori (Rangan, 2023). Beton pori biasanya digunakan di area parkir, daerah lampu lalu lintas dan trotoar (Schaefer et al., 2006).

Beton sendiri merupakan material konstruksi yang sangat umum digunakan pada pembangunan gedung, jalan, hingga sistem drainase. Namun, produksi semen Portland sebagai bahan pengikat utama pada beton menimbulkan dampak lingkungan yang cukup besar, terutama terkait tingginya konsumsi energi dan emisi CO₂. Kondisi ini mendorong perlunya pemanfaatan limbah industri atau biomassa sebagai bahan pengganti sebagian semen (*supplementary cementitious materials/SCM*) untuk mengurangi dampak lingkungan sekaligus menekan penggunaan semen.

Salah satu inovasi yaitu abu ampas tebu, bahan ini merupakan abu yang diperoleh dari tebu yang telah diperas niranya dan ampasnya dibakar pada ketel-ketel uap, biasanya ampas tebu ini digunakan sebagai bahan bakar pada ketel uap, abu yang dihasilkan dari hasil pembakaran merupakan material yang akan digunakan dalam penelitian (Putra et al., 2020). Abu ampas tebu memiliki kandungan silikat (SiO₂) 38,09%, aluminat (Al₂O₃) 5,47%, Ferrit (Fe₂O₃) 8,92% yang merupakan komponen utama dalam pembentukan semen Portland, sehingga material ini dapat dikategorikan sebagai bahan pozzolan (Karimah & Wahyudi, 2016). Kandungan silika yang tinggi serta ukuran butiran abu ampas tebu yang relatif halus membuat material ini berpotensi digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Oleh karena itu, penggunaan abu ampas tebu sebagai substitusi parsial semen perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat-sifat beton (Muharja et al., 2022).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen terhadap kuat tekan pada beton pori?
2. Bagaimana pengaruh abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen terhadap porositas pada beton pori?
3. Bagaimana pengaruh abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen terhadap permeabilitas pada beton pori?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

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

1. Metode perencanaan campuran beton pori menggunakan acuan ACI 552R-10 (Report on Pervious Concrete) yang mengatur tata cara perencanaan, pemilihan material, dan proporsi campuran beton pori, serta pengendalian karakteristik khusus beton pori seperti kepadatan dan rongga (void content) pada beton segar.
2. Penelitian ini menggunakan abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen dengan presentase 0%, 10%, 15% dan 20%. Persentase ini merupakan berat abu ampas tebu terhadap total berat semen.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, adapun beberapa tujuan pada penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen terhadap kuat tekan pada beton pori.
2. Untuk mengetahui pengaruh abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen terhadap porositas pada beton pori.
3. Untuk mengetahui pengaruh abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen terhadap permeabilitas pada beton pori.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, adapun beberapa manfaat pada penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan pemahaman terhadap penggunaan abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen dan pengaruhnya terhadap kuat tekan, porositas dan permeabilitas pada beton pori.
2. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang teknologi bahan konstruksi. Dengan tersedianya data hasil uji, penelitian ini dapat menjadi

referensi untuk penelitian selanjutnya terkait pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan alternatif ramah lingkungan dalam campuran beton. Apabila hasil penelitian menunjukkan bahwa AAT dapat memberikan kinerja beton poros yang baik, maka material ini dapat menjadi alternatif pengganti sebagian semen yang lebih ekonomis. Hal ini dapat mengurangi biaya produksi beton, terutama pada skala industri kecil hingga menengah. Selain itu, pemanfaatan limbah lokal seperti AAT dapat meningkatkan nilai tambah ekonomi pada industri tebu dan biomassa.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan dalam penelitian ini, maka sistematika penulisan disusun dalam lima bab, yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori-teori yang berkaitan dengan penjelasan beton pori, serta campuran abu ampas tebu yang digunakan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini membahas 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 ampas tebu.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bagian akhir dari skripsi yang berisikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Pori

Beton berpori atau bisa disebut juga *previous concrete* (PC) adalah jenis beton khusus yang memiliki tingkat porositas tinggi dan umumnya digunakan sebagai lapisan atas pada sistem perkerasan yang berpori. Ini adalah material semen yang memungkinkan air mengalir dengan cepat melalui jaringan pori-pori yang saling terhubung (Adresi et al., 2023). Struktur berpori ini menciptakan saluran yang mengarahkan air secara efisien ke lapisan di bawahnya (Singh et al., 2022).

Beton berpori terdiri dari campuran semen Portland (tanpa batasan jenis), agregat kasar (dengan sifat mineralogi yang beragam), dan air yang menciptakan sistem tiga fase (padat, cair, dan udara) dengan proporsi pori akhir berkisar antara 15% hingga 30%. Rasio air terhadap semen (w/c) biasanya berkisar antara 0,25 hingga 0,45 dan bila dikombinasikan dengan rasio agregat terhadap semen yang tinggi, akan menghasilkan campuran beton kering dengan kemerosotan nol. Tergantung pada konsistensi beton pori, aditif kimia dapat ditambahkan untuk meningkatkan plastisitas dan kemampuan kerja campuran (Zhong et al., 2018). Kombinasi bahan-bahan ini ketika dituang, dipadatkan dan dirawat dengan benar, akan menghasilkan suatu bahan keras yang memiliki permeabilitas 81 – 730 l/min/m² dengan kekuatan 2,8 – 28 MPa (Putra et al., 2020).

Peningkatan mutu beton dapat dilakukan dengan memberikan bahan tambah atau bahan additive. Penggunaan additive di dalam campuran beton mempunyai beberapa keuntungan yaitu memperbaiki workability beton, mengurangi panas hidrasi, mengurangi biaya pekerjaan beton, mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat, mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika, menambah keawetan (durabilitas) beton, meningkatkan kuat tekan beton, meningkatkan usia pakai beton, mengurangi penyusutan, membuat beton lebih kedap air, porositas dan daya serap air pada beton rendah. Beberapa jenis mineral yang dapat digunakan sebagai bahan tambah beton yaitu puzzollan, fly ash, steel

slag, copper slag dan silica fume. Bahan-bahan ini biasanya mengandung CaO, SiO₂, Fe₂O₃, FeO, MgO and MnO (Rangan, 2023).

Beton non pasir telah digunakan secara luas sebagai bahan bangunan struktural di Australia, Timur Tengah dan Eropa lebih dari 70 tahun. Penggunaan paling awal beton non pasir terjadi di Inggris pada tahun 1852 dengan pembangunan dua rumah tinggal dan krib laut sepanjang 61 m dan lebar 2,15 m (Harber, 2005). Beton pori memerlukan pertimbangan desain campuran khusus karena sifatnya yang berpori. Metode proporsi campuran yang tepat harus memperhitungkan keseimbangan hidrolik dan mekanik untuk memenuhi persyaratan fungsional material, termasuk dukungan dan transmisi beban (fungsi perkerasan), serta pengelolaan limpasan permukaan (fungsi hidrologi) (Alshareedah & Nassiri, 2021). Saat ini, kurangnya metode proporsi campuran yang terstandarisasi untuk beton pori membuat penerapannya menjadi sulit dan menghambat prediksi akurat terhadap kinerjanya.

Salah satu standar umum yaitu ACI PRC-522–10 menyarankan metode proporsi campuran eksperimental yang berfokus pada pencapaian kandungan pasta optimal yang dibutuhkan untuk melapisi butiran agregat. Pendekatan ini melibatkan pembuatan campuran uji dan melakukan penyesuaian untuk memastikan bahwa beton berpori mencapai kinerja hidrolik dan mekanik yang diinginkan. Dalam sepuluh tahun terakhir, penelitian mengenai keselamatan infrastruktur sipil dan penyebab kegagalan struktur semakin banyak dilakukan. Struktur dapat mengalami kerusakan atau kegagalan ketika menerima beban yang besar, salah satunya adalah beban dampak. Oleh karena itu, elemen struktur harus mampu menahan beban dampak agar tetap kuat dan berfungsi dengan baik selama masa penggunaannya.

Perubahan suhu yang terjadi saat ini dapat memengaruhi iklim dan pola cuaca. Kondisi tersebut dapat menyebabkan cuaca menjadi lebih panas atau lebih basah. Cuaca yang terlalu panas dapat menyebabkan kekeringan akibat berkurangnya ketersediaan air, sedangkan curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan risiko terjadinya banjir. Perubahan iklim juga memengaruhi siklus air dan hidrologi, salah satunya akibat berkurangnya daerah resapan dan ruang terbuka hijau (Neville, A.M., 2010). Selain itu, pembangunan yang terus berkembang untuk

memenuhi kebutuhan masyarakat juga dapat memberikan dampak terhadap lingkungan (Devrionika et al., 2016).

Permasalahan lingkungan akibat perubahan iklim mendorong munculnya berbagai inovasi dalam bidang konstruksi dan bahan bangunan yang lebih ramah lingkungan. Salah satu konsep yang berkembang adalah pembangunan hijau yang mengutamakan penggunaan air, energi, dan material secara lebih efisien, mulai dari tahap perencanaan hingga pemeliharaan bangunan (SK SNI 03-0691-1996, n.d.). Salah satu penerapannya adalah penggunaan beton pori sebagai material perkerasan yang dapat membantu mengurangi masalah genangan dan banjir. Beton pori memiliki rongga yang lebih banyak dibandingkan beton normal sehingga air dapat mengalir melewati rongga tersebut dan meresap ke dalam tanah (Ginting, 2019).

Beton pori atau beton berpori juga dapat digunakan sebagai bagian dari sistem drainase perkotaan yang lebih berkelanjutan. Material ini dapat membantu mengalirkan kelebihan air dari permukaan jalan, area parkir, dan jalur pejalan kaki. Beton pori memiliki tingkat rongga yang cukup tinggi, yaitu sekitar 20%–35%, sehingga dapat membantu mengurangi genangan air dan risiko banjir serta mengurangi masuknya kontaminan ke dalam aliran air (Ginting, 2017). Beton berpori atau pervious concrete merupakan jenis beton yang memiliki banyak rongga di dalam strukturnya sehingga air dapat mengalir melalui rongga tersebut (SK SNI 03-1968-1990, 1990). Menurut ACI 522R-10, beton berpori merupakan beton dengan nilai slump yang mendekati nol yang dibuat menggunakan semen Portland, agregat kasar, sedikit atau tanpa agregat halus, air, serta dapat ditambahkan bahan tambahan (*admixture*) sesuai kebutuhan (ACI 522R-10, 2010).

Berdasarkan ACI 522R-10 mix design untuk 1 m³ pervious concrete terdiri dari semen (270 - 415 kg), agregat (1190 - 1480 kg), faktor air semen (0,27 – 0,34), dan menggunakan chemical admixtures.

2.2 Material Penyusun Beton Pori

Penelitian mengenai beton tanpa pasir atau yang dikenal sebagai beton berpori semakin banyak dilakukan dalam beberapa tahun terakhir. Beton berpori dapat menjadi salah satu alternatif dalam pembangunan perkerasan yang lebih ramah lingkungan. Beton berpori atau *porous concrete* dan *pervious concrete* memiliki jumlah rongga yang lebih banyak dibandingkan beton normal, sehingga air dapat mengalir melalui rongga tersebut. Beton berpori umumnya dibuat menggunakan agregat kasar, semen, air, serta bahan tambahan (*admixture*) jika diperlukan. Campuran beton berpori menggunakan sedikit agregat halus atau bahkan tidak menggunakan pasir sama sekali. Selain itu, penggunaan beton berpori dapat menjadi pilihan yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan dibandingkan penggunaan beton normal. (Rangan, 2023).

2.2.1 Semen Portland

Menurut Tjokrodinuljo (1996), semen Portland merupakan jenis semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling klinker yang sebagian besar terdiri dari senyawa silikat kalsium hidrolis dan ditambahkan gips. Ketika semen dicampur dengan air, akan terbentuk pasta semen. Jika ditambahkan pasir, campuran tersebut menjadi mortar, sedangkan penambahan kerikil atau batu pecah akan menghasilkan beton. Semen berfungsi sebagai bahan pengikat antarbutir agregat sehingga membentuk campuran yang padat dan kuat. Semen juga membantu mengisi rongga di antara butiran agregat.

Kekuatan semen setelah mengeras dipengaruhi oleh jumlah air yang digunakan selama proses hidrasi. Air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi sebenarnya hanya sekitar 25% dari berat semen. Penggunaan air yang terlalu banyak dapat menyebabkan penurunan kekuatan beton setelah mengeras. Meskipun demikian, air tambahan tetap diperlukan agar campuran beton mudah diaduk, dipindahkan, dan dicetak dengan baik. Jumlah air sebaiknya tetap dibatasi agar beton tidak memiliki terlalu banyak rongga dan kekuatannya tidak menurun.

Pasta semen yang telah mengeras memiliki struktur yang berpori. Banyaknya pori dipengaruhi oleh jumlah air yang digunakan dalam campuran. Semakin

banyak air yang digunakan, semakin banyak pula pori yang terbentuk setelah proses hidrasi. Kondisi tersebut dapat menyebabkan pasta semen menjadi lebih berpori dan menurunkan kuat tekannya. Oleh karena itu, penggunaan air dalam campuran harus disesuaikan agar beton memiliki kekuatan yang baik serta tingkat porositas yang sesuai dengan kebutuhan.

2.2.2 Agregat Kasar

Menurut Tjokrodinuljo (1996), agregat merupakan butiran mineral alami yang digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar dan beton. Agregat memiliki proporsi yang cukup besar, yaitu sekitar 70% dari volume mortar atau beton. Oleh karena itu, jenis dan kualitas agregat sangat memengaruhi sifat serta kekuatan beton, sehingga pemilihan agregat perlu diperhatikan dalam proses pembuatan beton.

Berdasarkan ukuran butirnya, agregat dibedakan menjadi agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar umumnya berupa kerikil, kerikak, batu pecah, atau *split*, sedangkan agregat halus berupa pasir yang dapat berasal dari sungai, hasil galian, maupun proses pemecahan batu. Secara umum, agregat dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu batu dengan ukuran butir lebih dari 40 mm, kerikil dengan ukuran 5–40 mm, dan pasir dengan ukuran 0,15–5 mm.

Agregat yang digunakan dalam campuran beton sebaiknya memiliki bentuk yang baik, bersih, keras, kuat, serta memiliki gradasi yang sesuai. Agregat juga perlu memiliki kestabilan terhadap reaksi kimia dan pada kondisi tertentu harus tahan terhadap keausan serta perubahan cuaca. Agregat dapat diperoleh secara alami, seperti kerikil dari sungai, atau melalui proses pemecahan batu alam. Agregat hasil pemecahan diperoleh dengan menghancurkan batu kemudian menyaringnya sesuai ukuran yang dibutuhkan. Batu pecah memiliki bentuk butiran yang lebih tajam dan bersudut dibandingkan agregat alami, sehingga dapat memberikan ikatan yang lebih baik dan membantu meningkatkan kekuatan beton.

Ada beberapa pemeriksaan agregat kasar yang biasanya dilakukan dalam penelitian, yaitu:

1. Berat Jenis Agregat

Agregat berdasarkan berat jenisnya dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu agregat normal, agregat berat, dan agregat ringan.

Agregat normal memiliki berat jenis sekitar 2,5–2,7 dan umumnya berasal dari material seperti granit, basalt, kuarsa, dan sejenisnya. Beton yang menggunakan agregat normal biasanya memiliki berat jenis sekitar 2,3 dengan kuat tekan berkisar antara 15–40 MPa dan dikenal sebagai beton normal.

Agregat berat memiliki berat jenis lebih dari 2,8. Contohnya adalah magnetit (Fe_3O_4), barit (BaSO_4), dan serbuk besi. Penggunaan agregat ini menghasilkan beton dengan berat jenis yang tinggi, bahkan dapat mencapai sekitar 5. Beton tersebut biasanya digunakan sebagai material pelindung terhadap radiasi, seperti sinar-X.

Agregat ringan memiliki berat jenis kurang dari 2,0. Agregat jenis ini umumnya digunakan untuk beton nonstruktural, tetapi dapat juga digunakan pada beton struktural dan blok dinding. Keunggulan agregat ringan adalah menghasilkan beton dengan berat sendiri yang lebih rendah, sehingga beban struktur menjadi lebih kecil dan ukuran fondasi dapat dibuat lebih ringan.

2. Penyerapan Air

Pori merupakan rongga kecil yang terdapat di dalam butiran agregat. Pori dapat terbentuk karena adanya udara yang terperangkap saat proses pembentukan agregat atau akibat perubahan cuaca yang menyebabkan sebagian mineral penyusun agregat mengalami pelapukan. Ukuran pori sangat beragam, mulai dari ukuran yang dapat dilihat secara langsung hingga ukuran yang hanya dapat diamati menggunakan mikroskop. Pori tersebut dapat berada di dalam butiran dan tertutup, tetapi sebagian lainnya dapat terhubung dengan permukaan agregat. Pada beberapa jenis agregat, volume pori tertutup dapat mencapai sekitar 0–20% dari volume butir agregat.

Agregat dapat mengisi hingga sekitar 75% dari volume beton, sehingga porositas agregat turut memengaruhi porositas beton secara keseluruhan. Rongga yang terdapat dalam agregat juga dapat menjadi tempat penyimpanan air. Jumlah air yang dapat diserap oleh agregat setelah direndam dalam air disebut sebagai serapan air atau daya serap agregat. Agregat yang seluruh porinya telah terisi air

tetapi permukaannya dalam kondisi kering disebut sebagai kondisi jenuh kering muka (SSD).

Air yang terdapat pada agregat dapat dibedakan menjadi air yang masuk ke dalam pori agregat dan air yang berada pada permukaan butiran. Air yang masuk ke dalam pori tidak selalu terlihat dari permukaan dan jumlahnya dipengaruhi oleh ukuran serta jumlah pori pada agregat. Pada agregat normal, kemampuan menyerap air umumnya sekitar 1–2% dari berat agregat. Sementara itu, air yang berada di permukaan butiran dapat terlihat secara langsung dan jumlahnya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama keadaan agregat yang basah atau kering.

3. Kadar Air

Kandungan air pada agregat yang berada di lapangan perlu diketahui untuk menentukan jumlah air yang harus ditambahkan dalam campuran beton serta menghitung berat satuan agregat. Berdasarkan kondisi kadar airnya, agregat dapat dibedakan menjadi beberapa keadaan, yaitu:

- a. Kering tungku, yaitu kondisi agregat yang benar-benar tidak mengandung air. Pada kondisi ini, seluruh pori agregat masih dapat menyerap air.
- b. Kering udara, yaitu kondisi agregat yang permukaannya kering, tetapi masih terdapat sedikit air di dalam pori. Agregat dalam kondisi ini masih mampu menyerap sebagian air dari campuran beton.
- c. Jenuh kering muka (SSD), yaitu kondisi agregat yang tidak memiliki air pada permukaannya, tetapi seluruh porinya telah terisi air. Pada kondisi ini, agregat tidak menyerap maupun menambahkan air ke dalam campuran beton.
- d. Basah, yaitu kondisi agregat yang mengandung banyak air, baik di dalam pori maupun pada permukaannya. Jika digunakan dalam campuran beton, air yang terdapat pada agregat akan ikut menambah jumlah air dalam campuran.

2.2.3 Air

Menurut Tjokrodimuljo (1996), air dalam campuran beton berfungsi untuk membantu proses reaksi dengan semen serta sebagai pelumas antarbutir agregat agar campuran lebih mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang dibutuhkan

untuk proses hidrasi semen sebenarnya hanya sekitar 25% dari berat semen. Namun, dalam pelaksanaan pembuatan beton, nilai faktor air semen (FAS) umumnya sulit dibuat kurang dari 0,35 karena diperlukan air tambahan untuk mempermudah pengerjaan campuran. Penggunaan air yang berlebihan harus dihindari karena dapat menyebabkan penurunan kekuatan beton dan meningkatkan porositasnya.

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum pada umumnya dapat digunakan sebagai bahan campuran beton. Secara umum, air yang digunakan harus mampu menghasilkan beton dengan kuat tekan lebih dari 90% dibandingkan beton yang menggunakan air suling. Beberapa persyaratan air yang digunakan dalam campuran beton antara lain:

- a. Tidak mengandung lumpur atau bahan yang melayang lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam atau zat yang dapat merusak beton, seperti asam dan bahan organik, lebih dari 15 gram/liter.
- c. Kandungan klorida (Cl) tidak lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Kandungan senyawa sulfat tidak lebih dari 1 gram/liter.

2.3 Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu adalah abu yang diperoleh dari tebu yang telah diperas niranya dan ampasnya dibakar pada ketel-ketel uap, biasanya ampas tebu ini digunakan sebagai bahan bakar pada ketel uap, abu yang dihasilkan dari hasil pembakaran merupakan material yang akan digunakan dalam penelitian (Putra et al., 2020). Abu ampas tebu diketahui memiliki kandungan silikat, aluminat dan ferrit yang cukup tinggi, yaitu sekitar 52,48%, sehingga dapat dikategorikan sebagai bahan yang bersifat pozzolan.

Menurut ASTM C618 (2014) Pozzolan adalah bahan silika atau silika alumina yang secara alami memiliki nilai yang sedikit atau tidak ada sifat semen tetapi apabila dalam bentuk butiran yang sangat halus dan dengan kehadiran kelembaban, bahan ini bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu normal untuk membentuk senyawa yang memiliki sifat pengikat atau bersifat seperti semen.

AAT juga memiliki beberapa kandungan lainnya seperti aluminat (Al_2O_3) dan Ferrit (Fe_2O_3). Kandungan silika yang tinggi serta ukuran butiran abu ampas tebu yang relatif halus membuat material ini berpotensi digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Oleh karena itu, penggunaan abu ampas tebu sebagai substitusi parsial semen perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat-sifat beton (Muharja et al., 2022).

Penelitian tentang pemanfaatan AAT yang dilakukan dengan membakarnya pada suhu $600\text{ }^\circ\text{C}$ menunjukkan reaktivitas pozzolanik tertinggi, dengan indeks aktivitas kekuatan mencapai 82,9–92,6% pada waktu penggilingan 120–180 menit. Perlakuan termomekanis pada suhu tersebut meningkatkan kehalusan dan luas permukaan spesifik serta menurunkan *loss on ignition* (LOI), sehingga memenuhi kriteria pozzolan ASTM C618. Sebaliknya, pembakaran pada suhu $400\text{ }^\circ\text{C}$ menghasilkan abu dengan kandungan silika dan kehalusan yang rendah sehingga tidak bersifat pozzolan aktif. Dari aspek efisiensi energi, penggilingan selama 120 menit pada suhu pembakaran $600\text{ }^\circ\text{C}$ dinilai paling optimal dan ekonomis, serta layak digunakan sebagai bahan tambahan pozzolanik pada mortar dan beton (Bayapureddy et al., 2024).

Penggunaan bahan pozzolan, baik yang berasal dari alam maupun hasil olahan, dalam campuran beton telah dilakukan sejak lama. Selain dapat mengurangi biaya, bahan pozzolan juga dapat membantu meningkatkan sifat fisik dan mekanik beton. Beberapa penelitian telah memanfaatkan limbah pertanian sebagai bahan tambahan atau pengganti sebagian semen pada beton dan mortar, seperti abu sekam padi, abu serbuk gergaji, dan abu ampas tebu.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa beberapa jenis abu limbah pertanian memiliki kandungan silika yang tinggi sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan pozzolan (Aprianti et al., 2015). Pemanfaatan abu limbah pertanian, seperti abu sekam padi, abu ampas tebu, dan abu kulit kacang, juga telah dilakukan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam pembuatan beton. Namun, penggunaan limbah pertanian, khususnya abu ampas tebu, pada pembuatan beton busa ringan masih belum banyak diteliti.

Produksi tebu di sekitar 110 negara di dunia mencapai lebih dari 1.500 juta ton. Dari jumlah tersebut, proses pengolahan tebu menghasilkan sekitar 40–45%

serat tebu dan sekitar 8–10% abu (Modani & Vyawahare, 2013). Pemanfaatan bahan pozzolan dalam campuran beton dapat memberikan manfaat bagi lingkungan karena penggunaan bahan tersebut sebagai pengganti sebagian semen dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, seperti CO₂ dan CH₄, yang berperan dalam pemanasan global (Maldonado-Bandala et al., 2011).

Industri semen merupakan salah satu penyumbang emisi karbon dioksida yang cukup besar. Setiap produksi satu ton semen dapat menghasilkan sekitar satu ton CO₂, sedangkan industri semen menyumbang sekitar 5% dari total emisi CO₂ dunia (Maldonado-Bandala et al., 2011). Oleh karena itu, pemanfaatan limbah pertanian seperti abu ampas tebu sebagai bahan pengganti sebagian semen Portland dalam pembuatan beton diharapkan dapat mengurangi penggunaan semen dan emisi CO₂. Selain itu, pemanfaatan abu ampas tebu juga dapat menghasilkan material beton yang lebih ramah lingkungan.

2.4 Kuat Tekan

Kuat tekan beton pori merupakan salah satu parameter utama untuk menilai kemampuan struktural beton berpori dalam menahan beban tekan. Beton pori memiliki kuat tekan yang tergolong rendah apabila dibandingkan dengan kuat tekan beton konvensional. Menurut ACI 522R-2010 (2010), beton pori memiliki kisaran angka pori dari 2 mm - 8 mm dan void ratio antara 15% sampai 35% dengan kuat tekan berkisar antara 2,8 Mpa - 28 MPa. Rasio kadar air dan semen berkisar 0,27 sampai 0,34 kadar air ini lebih rendah dibandingkan kadar air semen beton normal. Penggunaan pervious concrete atau beton poros umumnya untuk area parkir, trotoar dan jalur pejalan kaki, sehingga tempat tersebut dapat menjadi daerah resapan dan meningkatkan muka air tanah namun juga nyaman untuk digunakan.

Penelitian terkini yang dilakukan oleh Fajar (2024) menunjukkan bahwa perubahan komposisi campuran pada beton pori memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat tekan dan permeabilitas. Peningkatan kadar semen terhadap agregat terbukti mampu memperbaiki kuat tekan beton, namun berdampak pada penurunan kemampuan aliran air. Hasil penelitian tersebut

menegaskan bahwa perancangan campuran beton pori perlu dioptimalkan agar diperoleh keseimbangan antara kinerja struktural dan fungsi hidrolik, sehingga beton pori dapat dimanfaatkan sebagai material konstruksi yang tidak hanya kuat, tetapi juga mendukung konsep pembangunan berkelanjutan.

Pada penelitian lainnya didapati juga bahwasanya pengaruh gradasi agregat menjadi kunci utama dalam penentuan kuat tekan pada beton berpori, tak hanya gradasi campuran agregat namun faktor air semen (FAS) juga mempengaruhi keduanya sehingga pada penelitian ini didapati bahwasanya beton berpori kasar (BBK) memiliki nilai kekuatan yang lebih lemah dibandingkan beton berpori halus (BBH) (Sanchez-Mendieta et al, 2024).

2.5 Porositas

Porositas merupakan suatu rasio antara volume rongga-rongga udara terhadap volume total dari keseluruhan benda uji beton porous. Pada beton porous nilai porositas sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya rongga udara yang dihasilkan. Semakin besar rongga udara, maka nilai porositas juga semakin besar yang berarti beton porous dapat mengalirkan air dengan cepat. Semakin besar nilai porositas, maka kekuatan beton porous menjadi semakin berkurang karena terjadinya penurunan ikatan-ikatan antar agregat dengan semen (Desmaliana et al., 2020).

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 (Sanchez-Mendieta et al, 2024)

Beberapa penelitian lainnya juga menyebutkan bahwa beton berpori umumnya memiliki porositas sekitar 15% hingga 35%. Perbedaan tingkat porositas ini sangat memengaruhi kuat tekan serta kemampuan beton dalam menyerap dan mengalirkan air. Beton berpori dengan porositas yang lebih rendah biasanya

memiliki kuat tekan yang lebih besar, namun kemampuan air untuk meresap menjadi lebih terbatas. Sebaliknya, jika porositasnya lebih tinggi, air dapat mengalir dengan lebih mudah, tetapi kuat tekan beton akan menurun. Oleh karena itu, beton berpori lebih sesuai digunakan pada konstruksi dengan beban ringan dan kurang direkomendasikan untuk struktur yang menahan beban berat.

2.6 Permeabilitas

Permeabilitas merupakan kemampuan pori-pori beton ringan dilalui oleh air. Pasta semen yang telah mengeras tersusun atas banyak partikel, dihubungkan antar permukaan yang jumlahnya relative lebih kecil dari total permukaan partikel yang ada. Untuk mengetahui dan mengukur permeabilitas beton perlu dilakukan pengujian, salah satunya adalah uji aliran (flow test) yaitu pengujian untuk mengukur permeabilitas beton terhadap air bila air dapat mengalir melalui sampel beton (Ondang et al., 2020).

Penelitian yang dilakukan oleh Putra, dkk (2020) menunjukkan hasil pengujian permeabilitas yang didapat bahwa semakin cepat waktu aliran air yang diuji, maka semakin kecil pula nilai permeabilitasnya. Penambahan persentase AAT juga mengakibatkan beton menjadi semakin padat sehingga nilai permeabilitasnya akan semakin menurun sebab ruang kosong sebagai media lewatnya udara maupun cairan sedikit sehingga membuat beton tersebut tidak mudah dilalui udara atau cairan.

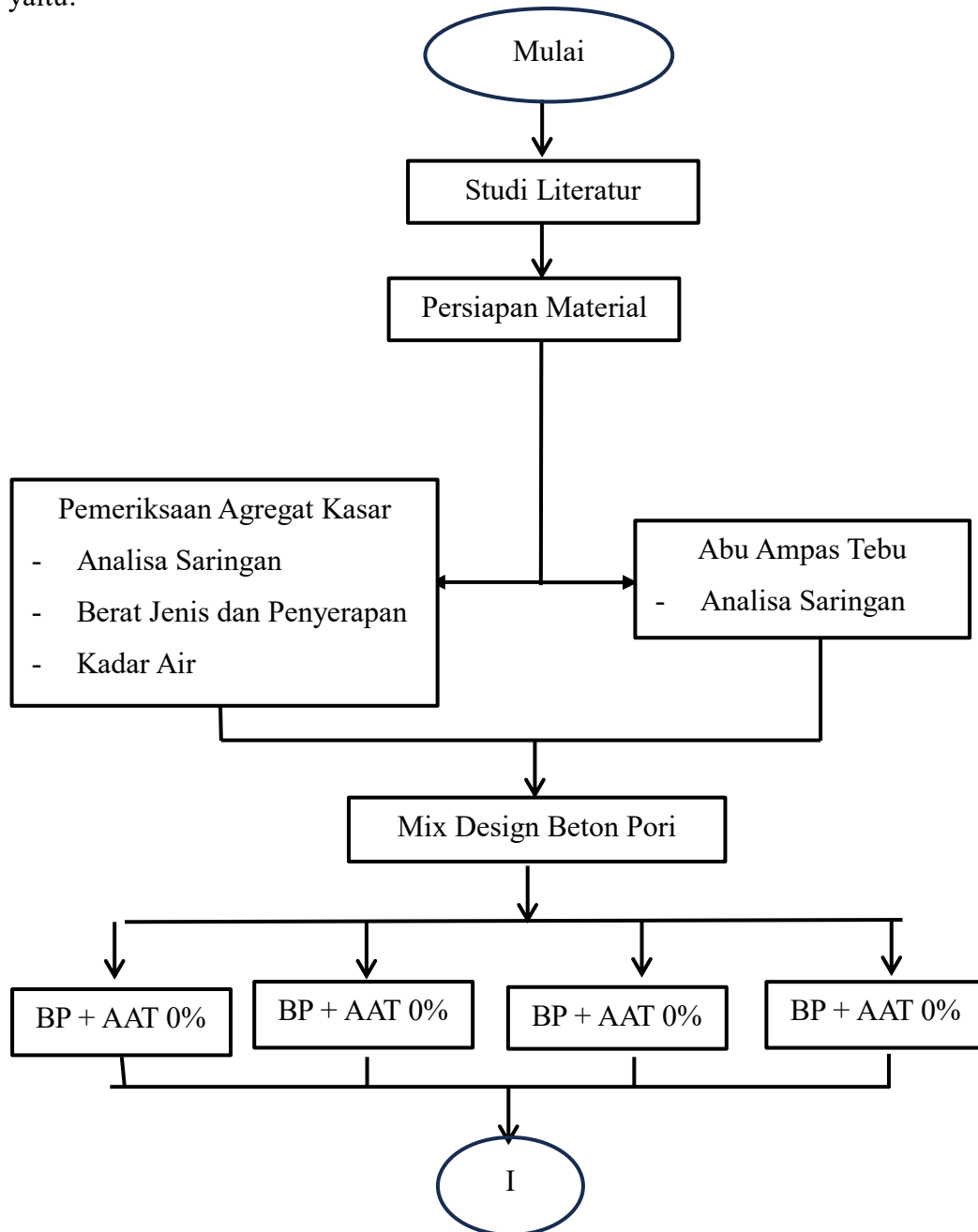
Permeabilitas dengan nilai yang rendah umumnya terjadi akibat pori-pori yang tersumbat atau susunan agregat yang kurang baik sehingga rongga di dalam beton tidak saling terhubung. Kondisi ini menghambat aliran air dan menyebabkan genangan di permukaan beton. Sebaliknya, permeabilitas yang terlalu tinggi biasanya disebabkan oleh ukuran pori yang terlalu besar, yang dapat menurunkan kestabilan mekanik beton sehingga kemampuannya dalam menahan beban menjadi berkurang. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan adanya hubungan antara struktur pori dan kinerja mekanik beton berpori (Riyanto et al., 2023).

BAB 3

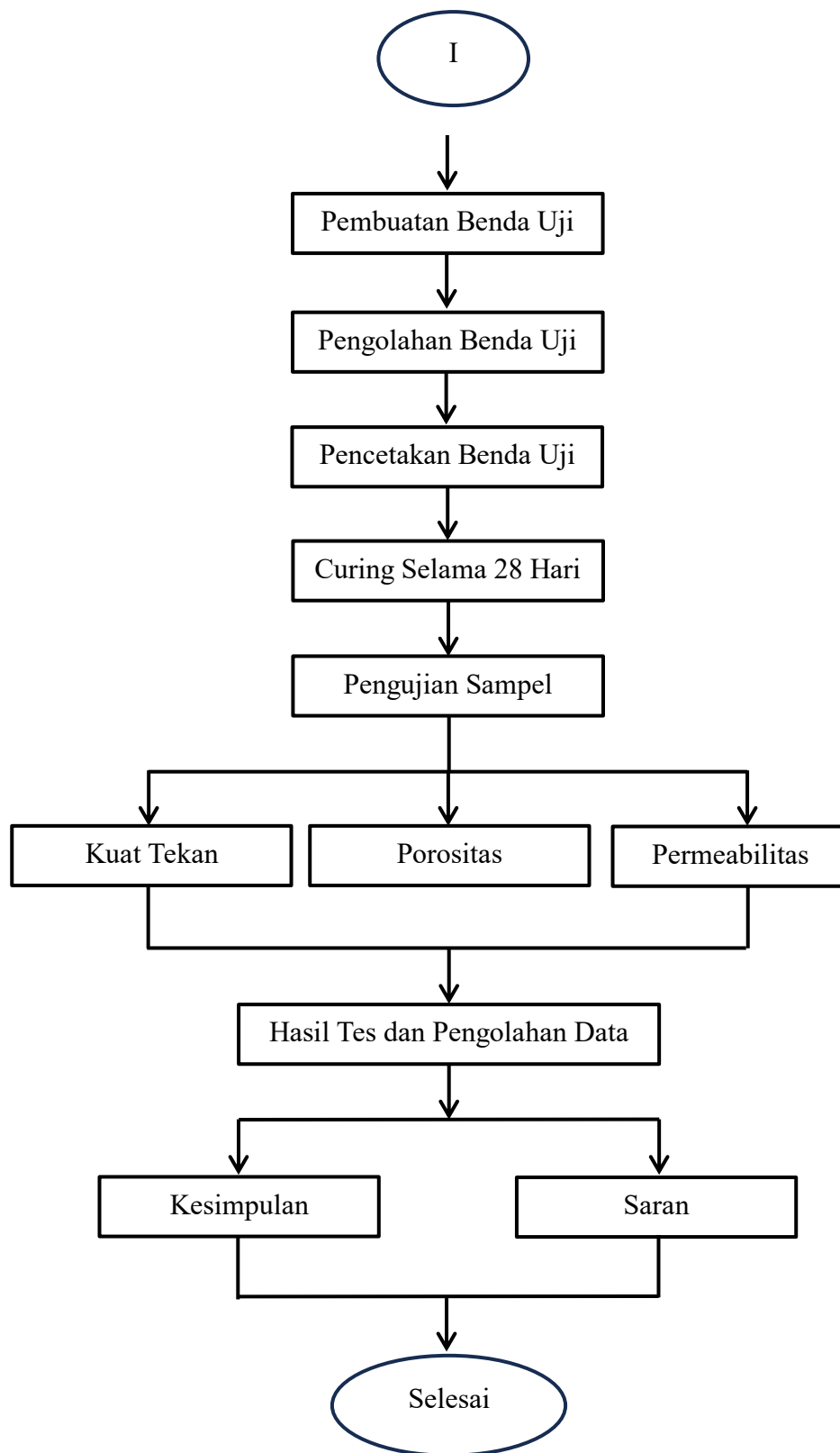
METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini ada beberapa tahapan yaitu:



Gambar 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Lanjutan

3.2 Sumber Sumber Dalam Penelitian

Metodologi yang digunakan untuk mengatasi sebuah masalah dilaksanakan dengan cara mengumpulkan, mencatat, mempelajari, dan menganalisa data yang didapatkan selama penelitian terlaksana. Dalam melaksanakannya, proses penanganan masalah sangat bergantung pada data pendukung yang dikumpulkan secara sistematis dan terkeorganisir. Data tersebut didapatkan dari dua sumber, yaitu:

1. Data Primer

Data primer adalah data yang didapatkan langsung dari hasil pengujian yang dilaksanakan dilaboratorium selama penelitian berlangsung. Dalam penelitian beton berpori, data yang didapatkan meliputi:

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar
- b. Pemeriksaan gradasi agregat kasar
- c. Pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar
- d. Penentuan kadar air optimum
- e. Proporsi campuran beton pori sesuai variasi Faktor Air Semen (FAS)
- 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 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu dengan melakukan pembuatan benda uji berupa beton pori (pervious concrete). Beton pori yang digunakan pada penelitian ini disusun dengan agregat kasar sebagai material

utama tanpa penggunaan agregat halus. Penelitian ini berfokus pada pengaruh substitusi Abu Ampas Tebu (AAT) terhadap sifat dan kinerja beton pori yang dihasilkan, dengan variasi campuran sebagai berikut:

1. Variasi Abu Ampas Tebu 0% (Normal)

Pada variasi ini, beton pori dibuat tanpa substitusi semen menggunakan Abu Ampas Tebu. Campuran ini berperan sebagai campuran kontrol (beton normal) yang dijadikan pembanding untuk mengevaluasi perubahan karakteristik beton akibat penambahan Abu Ampas Tebu pada variasi lainnya.

2. Variasi Abu Ampas Tebu 10%

Pada campuran ini, Abu Ampas Tebu digunakan sebagai bahan substitusi sebesar 10% dari total berat semen. Dengan demikian, jumlah semen dikurangi menjadi 90%, sedangkan 10% sisanya digantikan oleh Abu Ampas Tebu sebagai substitusi parsial.

3. Variasi Abu Ampas Tebu 15%

Pada variasi ini, Abu Ampas Tebu ditambahkan sebesar 15% dari berat semen. Komposisi semen dalam campuran menjadi 85%, dan 15% digantikan oleh Abu Ampas Tebu, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan serta tingkat porositas beton pori.

4. Variasi Abu Ampas Tebu 20%

Variasi terakhir menggunakan Abu Ampas Tebu sebanyak 20% dari berat semen, sehingga porsi semen menjadi 80%. Variasi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh peningkatan kadar Abu Ampas Tebu terhadap karakteristik fisik dan mekanik beton pori yang dihasilkan.

3.4 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Beton, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dengan menggunakan metode eksperimen laboratorium. Kegiatan penelitian berlangsung selama 4 bulan, yakni mulai dari Februari hingga Mei.

3.5 Alat dan bahan

a. 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 Bekisting Silinder

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 Bekisting Kubus

5. Alat Pemasat

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. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams digunakan untuk mengecek seberapa mudah adukan beton segar mengalir. Alat ini membantu mengetahui kadar air yang tepat dalam campuran dan menilai seberapa padat serta meratanya adukan sebelum mengeras. Kerucut Abrams juga berfungsi untuk memastikan kualitas beton sesuai standar.



Gambar 3.15 Kerucut Abrams

15. 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 3.16 Pan

16. Saringan No. 200

Saringan No. 200 berfungsi untuk membuat abu ampas tebu 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 3.17 Saringan No. 200

17. 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 3.18 Saringan No. 4

18. 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 3.19 Palu karet

19. Mesin Los Angeles

Mesin los angeles berfungsi sebagai pemecah agregat kasar, Pengujian ini membantu menilai daya tahan agregat sehingga campuran beton tetap stabil selama pengadukan dan pengecoran. memiliki drum baja berdiameter ± 711 mm dan panjang ± 508 mm yang berputar 30–33 rpm, menggunakan 12–15 bola baja berdiameter 48 mm untuk menguji 5–10 kg agregat selama 500 putaran sesuai standar ASTM C131/C535.



Gambar 3.20 Mesin Los Angeles

b. 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 3.21 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 3.22 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.



Gambar 3.23 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 3.24 Minyak Gemuk

5. Abu Ampas Tebu

Abu Ampas Tebu digunakan untuk menggantikan sebagian semen Portland, sehingga jumlah semen dapat dikurangi tanpa mengganggu fungsi beton, sekaligus membuat campuran lebih efisien dan ramah lingkungan.



Gambar 3.25 Abu Ampas Tebu

3.6 Pemeriksaan Bahan

3.6.1 Pemeriksaan Agregat Kasar

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

a. 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.

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{W_i}{W_t} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$\% \text{ Lolos Kumulatif} = 100 - (\text{Jumlah } \% \text{ Kumulatif}) \quad (3.2)$$

Keterangan:

W_i = Berat agregat yang tertahan pada saringan ke-i (gram)

W_t = Berat total sampel (gram)

b. 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.

$$G_{ssd} = \frac{B}{B-C} \quad (3.3)$$

Keterangan:

B = Berat agregat dalam kondisi SSD (gram)

C = Berat agregat dalam air (gram)

c. Kadar Air

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

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

Keterangan:

W_1 = Berat agregat sebelum pencucian (gram)

W_2 = Berat agregat setelah pencucian dan pengeringan (gram)

3.6.2 Pemeriksaan Abu Ampas Tebu

Pengujian distribusi ukuran butiran abu ampas tebu dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1990 tentang Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar. Sampel abu ampas tebu sebanyak 200 gram diayak menggunakan susunan saringan No. 50 (0,300 mm), No. 100 (0,150 mm), dan No. 200 (0,075 mm) serta pan sebagai penampung material yang lolos seluruh saringan. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui tingkat kehalusan abu ampas tebu yang dimanfaatkan sebagai bahan substitusi sebagian semen pada campuran beton pori. Tingkat kehalusan abu ampas tebu berpengaruh terhadap proses hidrasi semen, kepadatan pasta, porositas, serta karakteristik beton pori yang dihasilkan.

3.7 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.

Menentukan persentase atau komposisi masing-masing komponen material pembentuk beton pori untuk memperoleh suatu campuran yang ekonomis, memenuhi kekuatan dan keawetan yang direncanakan, serta memiliki kelecakan yang sesuai sehingga mempermudah proses pengerjaan.

Pada penelitian ini abu ampas tebu digunakan sebagai bahan alternatif pengganti semen sebagian sebanyak 36 sampel. benda uji dibuat dengan menambahkan variasi-variasi abu ampas tebu sebesar 0%, 10%, 15% dan 20%.

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.

Benda uji untuk pengujian porositas dan permeabilitas beton pori menggunakan benda uji silinder dengan ukuran yang sama, yaitu diameter 15 dan tinggi 30 cm, guna memastikan keseragaman hasil pengujian mekanik dan hidrolik.

Tabel 3.1 Pengujian Kuat Tekan Beton Pori

PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON PORI			
Variasi Beton	FAS	AAT	Jumlah Sampel
BP	0,33	0	3
BP+AAT	0,33	10%	3
BP+ AAT	0,33	15%	3
BP+ AAT	0,33	20%	3
TOTAL			12

Tabel 3.2 Pengujian Porositas Beton Pori

PENGUJIAN POROSITAS BETON PORI			
Variasi Beton	FAS	AAT	Jumlah Sampel
BP	0,33	0	3
BP + AAT	0,33	10%	3
BP + AAT	0,33	15%	3
BP + AAT	0,33	20%	3
TOTAL			12

Tabel 3.3 Pengujian Permeabilitas Beton Pori

PENGUJIAN PERMEABILITAS BETON PORI			
Variasi Beton	FAS	AAT	Jumlah Sampel
BP	0,33	0	3
BP + AAT	0,33	10%	3
BP + AAT	0,33	15%	3
BP + AAT	0,33	20%	3
TOTAL			12

3.8 Takaran Mix Design

Acuan untuk takaran *mix design* memakai standar ACI 522R-10 (*Report on Pervious Concrete*).

3.8.1 Cetakan Kubus

Cetakan kubus berpacu pada SNI 03-6805-2002 untuk pengujian kuat tekan dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm.

Perhitungan campuran beton pori dengan perbandingan 1 : 4.

Berat cetakan = 10.000 gr
 Volume cetakan = 15 x 15 x 15 cm
 = 3.375 cm³ = 0,003375 m³
 Berat isi semen = ± 1,180 kg
 Berat isi agregat kasar = ± 4,700 kg
 Faktor air semen = 0,33
 Jumlah benda uji = 12 buah

Catatan teknis:

1. Tidak ada slump tes
2. Pemadatan ringan menggunakan palu karet
3. Curing plastic min 7 hari
4. Target 2,8 - 28 mpa
5. Uji kuat tekan setelah 21 hari



Gambar 3.25 Cetakan Kubus

3.8.2 Cetakan Silinder

Cetakan silinder berpacu pada ASTM C1701 (Spesifikasi beton pori untuk pengujian porositas dan permeabilitas) dengan ukuran diameter 15 x tinggi 30 cm.

Perhitungan campuran beton pori dengan perbandingan 1 : 4.

Berat cetakan	= 10.000 gr
Volume cetakan	$= \pi \times (15^2 / 4) \times 30$ $= 5.301,438 \text{ cm}^3 = 0,005301 \text{ m}^3$
Berat isi semen	= $\pm 1,850 \text{ kg}$
Berat isi agregat kasar	= $\pm 7,400 \text{ kg}$
Faktor air semen	= 0,33
Jumlah benda uji	= 24 buah

Catatan teknis:

1. Tidak ada slump tes
2. Pemadatan ringan menggunakan palu karet
3. Curing plastic min 7 hari
4. Uji porositas dan permeabilitas setelah 21 hari



Gambar 3.26 Cetakan Silinder

3.8.3 Perhitungan Dasar Mix Design

Perhitungan pada pembuatan benda uji mengacu pada standar ACI 522R-10 (*Report on Pervious Concrete*).

1. Semen

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

$$\text{Kubus} = 350 \text{ kg/m}^3 \times 0,003375 \text{ m}^3 = \pm 1,180 \text{ kg}$$

$$\text{Silinder} = 350 \text{ kg/m}^3 \times 0,005301 \text{ m}^3 = \pm 1,850 \text{ kg}$$

2. Agregat Kasar

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

$$\text{Kubus} = 1400 \text{ kg/m}^3 \times 0,003375 \text{ m}^3 = \pm 4,700 \text{ kg}$$

$$\text{Silinder} = 1400 \text{ kg/m}^3 \times 0,005301 \text{ m}^3 = \pm 7,400 \text{ kg}$$

3. Air

Rasio FAS yang dipakai sebesar 0,33. Berdasarkan ACI 522R-10 rasio w/c yang diizinkan yaitu $0,27 - 0,34$, maka Air yang dibutuhkan untuk membuat 1 benda uji yaitu:

$$\text{Kubus} = \pm 1,180 \text{ kg} \times 0,33 = 0,389 \text{ kg} = \pm 389 \text{ ml}$$

$$\text{Silinder} = \pm 1,850 \text{ kg} \times 0,33 = 0,611 \text{ kg} = \pm 611 \text{ ml}$$

4. Abu Ampas Tebu

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

a. AAT 10%

$$\text{Kubus} = \pm 1,180 \text{ kg} \times 10\% = \pm 0,118 \text{ kg}$$

$$\text{Silinder} = \pm 1,850 \text{ kg} \times 10\% = \pm 0,185 \text{ kg}$$

b. AAT 15%

$$\text{Kubus} = \pm 1,180 \text{ kg} \times 15\% = \pm 0,177 \text{ kg}$$

$$\text{Silinder} = \pm 1,850 \text{ kg} \times 15\% = \pm 0,278 \text{ kg}$$

c. AAT 20%

$$\text{Kubus} = \pm 1,180 \text{ kg} \times 20\% = \pm 0,236 \text{ kg}$$

$$\text{Silinder} = \pm 1,850 \text{ kg} \times 20\% = \pm 0,370 \text{ kg}$$

3.9 Pembuatan Beton Pori

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

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

a. Persiapan Material

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

efektif 15–25%. Rasio air-semen (w/c ratio) dijaga pada kisaran 0,27–0,34 untuk mencapai keseimbangan antara kekuatan dan permeabilitas.

b. Penentuan Proporsi

Perencanaan campuran beton pori dilakukan dengan rasio air-semen remdah. Umumnya berkisar antara 0.26-0,45 untuk menghasilkan pasta semen yang cukup melapisi gregat tanpa mengisi rongga. Proporsi campuran disesuaikan dengan kuat tekan yang direncanakan dan permeabilitas yang diinginkan.

c. Persiapan Cetakan

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

d. Proses Pencampuran

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

e. Pengisian Beton dalam Cetakan

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

f. Pemadatan Beton Pori

Menurut ACI 522R-10 Section 4.4, beton pori tidak boleh dipadatkan secara berlebihan karena dapat menutup pori dan mengurangi permeabilitas. Pemadatan

dilakukan dengan tekanan ringan menggunakan pelat datar atau penumbuk kayu, cukup untuk menstabilkan agregat tanpa menghancurkan jaringan pori. Dalam beberapa kasus, pemadatan dapat dilakukan menggunakan vibrator permukaan frekuensi rendah, namun harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak mengakibatkan segregasi.

g. Perataan Permukaan

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

h. Pelepasan Cetakan

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

i. Perawatan (Curing)

Perawatan beton pori sangat penting untuk menjamin proses hidrasi semen berlangsung optimal, mengingat beton pori memiliki permukaan kontak yang tinggi antara pasta semen dan udara. Perawatan harus dilakukan hingga beton mencapai umur uji rencana (28 hari) agar hasil kuat tekan dan sifat fisik lainnya mencerminkan performa sebenarnya dari beton pori di lapangan.

3.10 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.

3.11 Pengujian Beton Pori

Beton yang sudah mencapai umur 28 hari akan diuji terhadap beberapa pengujian yaitu:

3.11.1 Kuat Tekan

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

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

Keterangan:

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

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

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

Contoh:

1. Beton pori + AAT 0% pada benda uji 1

Beban (P) = 9 ton x 9,81 = 88,29 kN

Luas Kubus (A) = 22.500 mm^2

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{88,29 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= \frac{88.290 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= 3,9240 \text{ N/mm}^2 \\ &= 3,92 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3.11.2 Porositas

Porositas pada beton pori menggambarkan tingkat keberadaan rongga atau celah udara di dalam massa beton. Rongga ini merupakan ciri utama beton pori, karena material tersebut dirancang agar air dapat mengalir menembus beton dan langsung meresap ke lapisan tanah di bawahnya. Pengujian porositas umumnya mengacu pada ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete, yaitu pedoman yang diterbitkan oleh American Concrete Institute dan banyak digunakan sebagai rujukan dalam kajian beton berpori. Pedoman ini digunakan sebagai dasar pengujian porositas beton dengan benda uji berbentuk silinder yang dicetak di laboratorium maupun di lapangan. Besarnya nilai porositas kemudian dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{M_{jenuh} - M_{kering}}{\rho \cdot V} \times 100\% \quad (3.6)$$

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)

Contoh:

Beton pori + AAT 0% pada benda uji 1

M (Jenuh) = 8925 gr

M (Kering) = 7865 gr

ρ Air = 1 gr/cm³

Volume Benda Uji = 5298,75 cm³

$$\begin{aligned} \text{Persentase Porositas} &= \frac{M_{Jenuh} - M_{Kering}}{\rho \cdot v} \times 100 \\ &= \frac{8925 \text{ gr} - 7865 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100 \\ &= 20,00 \% \end{aligned}$$

3.11.3 Permeabilitas

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

$$k = \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \quad (3.7)$$

Keterangan:

k = Koefisien permeabilitas (m/s atau cm/s)

Q = Volume air yang mengalir (m³)

L = Panjang/tebal benda uji (arah aliran)(m)

A = Luas penampang benda uji (m²)

h = Perbedaan tinggi tekanan air (head loss)(m)

t = Waktu aliran (s)

Contoh:

Beton pori + AAT 0% pada benda uji 1

Volume Air (Q) = 1950 cm³

Tebal Benda Uji (L) = 30 cm

Luas Penampang (A) = 176,71 cm²

Beda Tinggi Muka Air (h) = 11,32 cm

Waktu Aliran (t) = 59.89 dt

Koefisien Permeabilitas = $\frac{Q \times L}{A \times h \times t}$
= $\frac{1950 \text{ cm}^3 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 59,89 \text{ dt}}$
= 0,49 cm/dt

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemeriksaan Material Benda Uji

Pemeriksaan material pada penelitian ini, meliputi beberapa pemeriksaan seperti analisa saringan agregat kasar, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan dan pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar.

4.2 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar

Berdasarkan standar ASTM C33 dan ACI 522R, diperoleh hasil pengujian analisa saringan yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar Cetakan Kubus

Ukuran Saringan	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Berat Total (gr)	Tertahan (%)	Kumulatif Tertahan (%)	Lolos (%)
3/4"	400	380	780	8,3	8,3	91,7
1/2"	1600	1580	3180	33,83	42,13	57,87
3/8"	1900	1920	3820	40,64	82,77	17,23
No. 4	800	820	1620	17,23	100	0
Jumlah	4700	4700	9400	100		
FM (Modulus Kehalusan)					2,2	

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa persentase lolos agregat kasar dengan saringan ukuran No. 4 persentase lolos sebesar 0%. Saringan ukuran 3/8" memiliki persentase lolos sebesar 17,23%. Saringan ukuran 3/4" persentase lolos sebesar 57,87%. Saringan ukuran 1,5" persentase lolos sebesar 91,70%.

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar Cetakan Silinder

Ukuran Saringan	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Berat Total (gr)	Tertahan (%)	Kumulatif Tertahan (%)	Lolos (%)
3/4"	600	580	1180	7,97	7,97	92,03
1/2"	2500	2480	4980	33,65	41,62	58,38
3/8"	3000	3020	6020	40,68	82,3	17,7
No. 4	1300	1320	2620	17,7	100	0
Jumlah	7400	7400	14800	100		
FM (Modulus Kehalusan)					2,2	

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa persentase lolos agregat kasar dengan saringan ukuran No. 4 persentase lolos sebesar 0%. Saringan ukuran 3/8" memiliki persentase lolos sebesar 17,70%. Saringan ukuran 3/4" persentase lolos sebesar 58,38%. Saringan ukuran 1,5" persentase lolos sebesar 92,03%.

4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air material dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik agregat yang akan digunakan dalam campuran beton. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh nilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD/Saturated Surface Dry), berat jenis semu, serta nilai penyerapan air agregat. Hasil pengujian tersebut digunakan sebagai dasar dalam perencanaan campuran beton agar proporsi material yang digunakan sesuai dengan kondisi agregat. Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air material dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Nama Contoh	Simbol	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Wt of SSD sample in Air (Berat contoh (SSD) kering permukaan jenuh) (A)	A	2560	2530	2545
Wt of SSD sample in Water (Berat contoh (SSD didalam air) (B)	B	1500	1520	1510
Wt of Oven Dry Sample (Berat contoh (SSD) kering oven (110°C) Sampai Konstan (C)	C	2500	2475	2488
Bulk Sp. Gravity-Dry (Berat Jenis contoh kering)	$\frac{C}{A-B}$	2,36	2,45	2,41
Bulk Sp. Gravity-SSD (Berat jenis contoh SSD)	$\frac{A}{A-B}$	2,42	2,50	2,46
Apparent Sp. Gravity-Dry (Berat jenis contoh semu)	$\frac{C}{C-B}$	2,50	2,59	2,55
Penyerapan air (%)	$\frac{A-C}{C} \times 100\%$	2,40	2,22	2,31

Berdasarkan Tabel 5.3 dapat dilihat bahwa agregat kasar didapat rata-rata berat jenis SSD sebesar 2,46. Nilai ini masih berada dalam rentang yang umum untuk agregat normal, yaitu sekitar 2,4 – 3,0. Hal ini menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memiliki kepadatan yang cukup baik dan layak digunakan sebagai bahan penyusun beton. Selain itu, penyerapan air rata-rata sebesar 2,31% masih tergolong normal untuk agregat kasar.

4.4 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Pemeriksaan kadar air ini dilakukan berdasarkan ketentuan SNI 1971-2011 mengenai metode pemeriksaan kadar air agregat. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah kadar air yang terdapat di dalam agregat kasar. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Fine Agregate Passing	Satuan	Sampel 1	Sampel 2
Massa Wadah + Benda Uji (a)	gr	2060	2070
Massa Wadah (b)	gr	500	500
Massa Benda Uji (W1)	gr	1560	1570
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven (c)	gr	2050	2065
Massa Benda Uji Kering Oven (W2)	gr	1550	1565
Kadar Air Total (P)	%	0.65	0.32
Rata - Rata	%	0.49	

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa agregat kasar mengandung kadar air dalam keadaan aman untuk digunakan sebagai campuran adukan beton pori, dimana hasil kadar air rata-rata yaitu 0,49 %. Hasil ini menunjukkan nilai kadar air $< 2\%$ sehingga material-material yang digunakan pada penelitian ini tidak perlu di lakukan pencucian agregat.

4.5 Pemeriksaan Abu Ampas Tebu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran dan tingkat kehalusan abu ampas tebu sebelum digunakan sebagai bahan substitusi semen pada campuran beton pori. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik abu ampas tebu, terutama ukuran dan sebaran partikelnya, sehingga dapat diketahui kesesuaiannya sebagai material pengganti sebagian semen. Ukuran butiran dan tingkat kehalusan abu dapat memengaruhi luas permukaan, kemampuan mengisi rongga antarpartikel, serta homogenitas campuran beton.

Hasil pengujian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam menentukan kelayakan dan proporsi penggunaan abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen pada beton pori. Abu dengan tingkat kehalusan yang sesuai diharapkan mampu memberikan pengaruh positif terhadap karakteristik campuran.

Tabel 4.5 Pengujian Abu Ampas Tebu

Saringan	Berat Tertahan (gr)	% Tertahan	% Tertahan Kumulatif	% Lolos
No. 50 (0,300 mm)	2	1,00%	1,00%	99,00%
No. 100 (0,150 mm)	2	1,00%	2,00%	98,00%
No. 200 (0,075 mm)	6	3,00%	5,00%	95,00%
Pan	190	95,00%	100,00%	0,00%
Jumlah	200	100%		

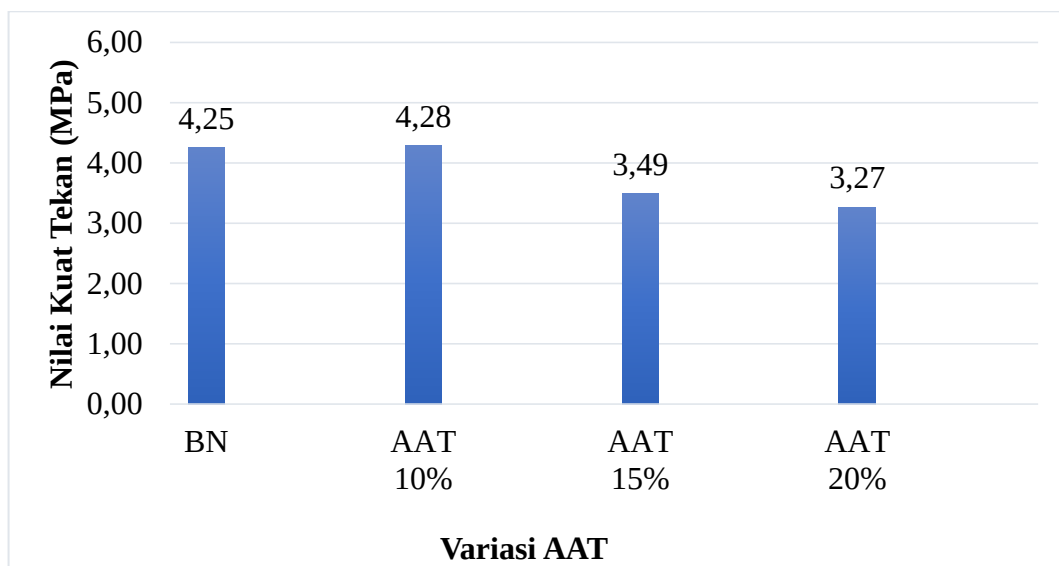
Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan terhadap abu ampas tebu dengan berat sampel 200 gram, diperoleh bahwa sebagian besar material lolos saringan No. 200 (0,075 mm) sebesar 95,00%. Hal ini menunjukkan abu ampas tebu memiliki ukuran butiran yang sangat halus sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi (filler) dan berpotensi memberikan efek pozzolan pada campuran beton pori.

4.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Pori

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilaksanakan setelah benda uji mencapai umur 28 hari. Setiap variasi campuran menggunakan tiga benda uji berbentuk kubus dengan dimensi $15 \times 15 \times 15$ cm. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tekan berkapasitas 1200 kN untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan beban tekan hingga mencapai kondisi maksimum. Hasil pengujian kuat tekan beton untuk masing-masing variasi campuran dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pori

Variasi	Benda Uji	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
BN	1	22,500	88,29	3,92	4,25
	2	22,500	102,90	4,57	
	3	22,500	95,65	4,25	
AAT 10%	1	22,500	88,29	3,92	4,36
	2	22,500	107,91	4,80	
	3	22,500	98,10	4,36	
AAT 15%	1	22,500	73,58	3,27	3,49
	2	22,500	78,48	3,49	
	3	22,500	83,39	3,71	
AAT 20%	1	22,500	76,03	3,38	3,27
	2	22,500	71,12	3,16	
	3	22,500	73,58	3,27	



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Variasi AAT dengan Hasil Kuat Tekan

Berdasarkan hasil pengujian, beton pori dengan variasi AAT 0% memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 4,25 MPa. Setelah dilakukan penambahan AAT sebesar 10%, nilai kuat tekan meningkat menjadi 4,36 MPa. Namun, pada penambahan AAT sebesar 15%, kuat tekan mengalami penurunan menjadi 3,49 MPa, dan kembali menurun pada variasi 20% menjadi 3,27 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan AAT sebesar 10% merupakan kadar yang paling efektif dalam meningkatkan kuat tekan beton pori.

Peningkatan kuat tekan pada variasi tersebut diduga terjadi karena partikel halus AAT berperan sebagai *filler* yang mampu mengisi rongga-rongga di dalam campuran beton sehingga menghasilkan struktur yang lebih padat dan meningkatkan ikatan antara pasta semen dengan agregat. Sebaliknya, penambahan AAT yang melebihi kadar optimum, yaitu pada variasi 15% dan 20%, menyebabkan kuat tekan menurun. Hal ini diduga karena jumlah AAT yang terlalu banyak mengganggu keseimbangan komposisi campuran, sehingga ikatan antar material menjadi kurang optimal dan struktur beton menjadi lebih mudah mengalami kerusakan saat menerima beban tekan.

Adapun faktor yang mengakibatkan terjadinya hal ini terjadi yaitu berdasarkan Rompas, et al. (2013) menyatakan bahwa semakin bertambah atau besarnya substitusi abu ampas tebu yang dibutuhkan dapat mengurangi kekuatan beton karena lebih sedikit air yang digunakan untuk reaksi hidrasi. Kemudian menurut Saputra, E. B. et al. (2019) menyebutkan jika hal itu dapat terjadi disebabkan beton yang ditambah abu ampas tebu mengalami reaksi pozzolan dengan karbon hidroksida belum tercampur secara sempurna pada umur beton 28 hari, mengakibatkan hubungannya pada kekuatan beton perlu waktu yang lebih lama.

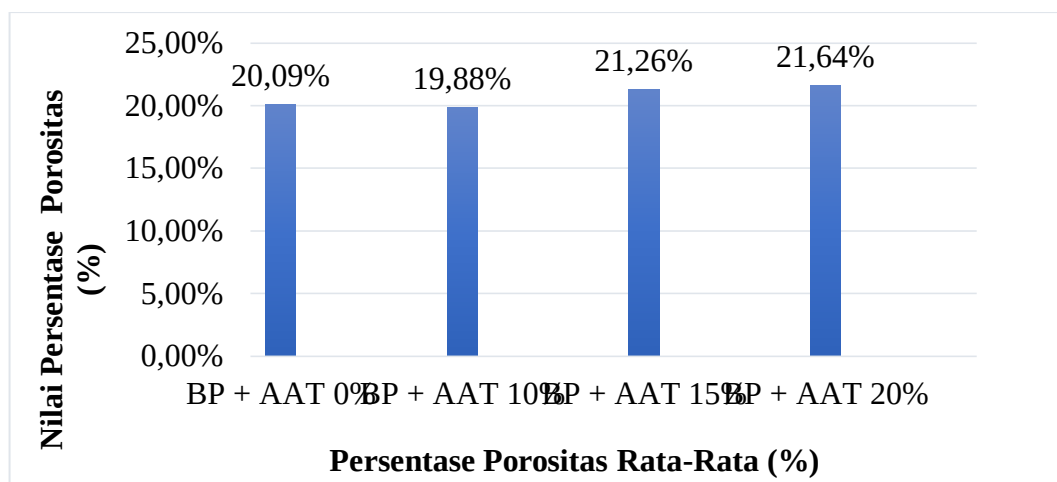
4.7 Hasil Pengujian Porositas

Pengujian porositas beton pori dilakukan pada umur 28 hari menggunakan tiga benda uji untuk setiap variasi campuran. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai porositas atau persentase volume rongga (void ratio) yang terdapat pada beton pori. Nilai porositas merupakan salah satu parameter penting karena berpengaruh terhadap kemampuan beton dalam meloloskan air serta

karakteristik fisik beton yang dihasilkan. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Hasil pengujian porositas beton pori yang diperoleh setiap variasi campuran dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Uji Porositas Beton Pori

Variasi	Benda Uji	M Jenuh	M Kering	ρ Air	Volume Benda uji	Persentase porositas beton	Rata - Rata
AAT 0%	1	8925	7865	1	5298,75	20,00%	20,09%
	2	8850	7756	1	5298,75	20,65%	
	3	8890	7850	1	5298,75	19,63%	
AAT 10%	1	8820	7800	1	5298,75	19,25%	19,88%
	2	8910	7860	1	5298,75	19,82%	
	3	8930	7840	1	5298,75	20,57%	
AAT 15%	1	8970	7860	1	5298,75	20,95%	21,26%
	2	9030	7910	1	5298,75	21,14%	
	3	8990	7840	1	5298,75	21,70%	
AAT 20%	1	9040	7900	1	5298,75	21,51%	21,64%
	2	9100	7970	1	5298,75	21,33%	
	3	9060	7890	1	5298,75	22,08%	

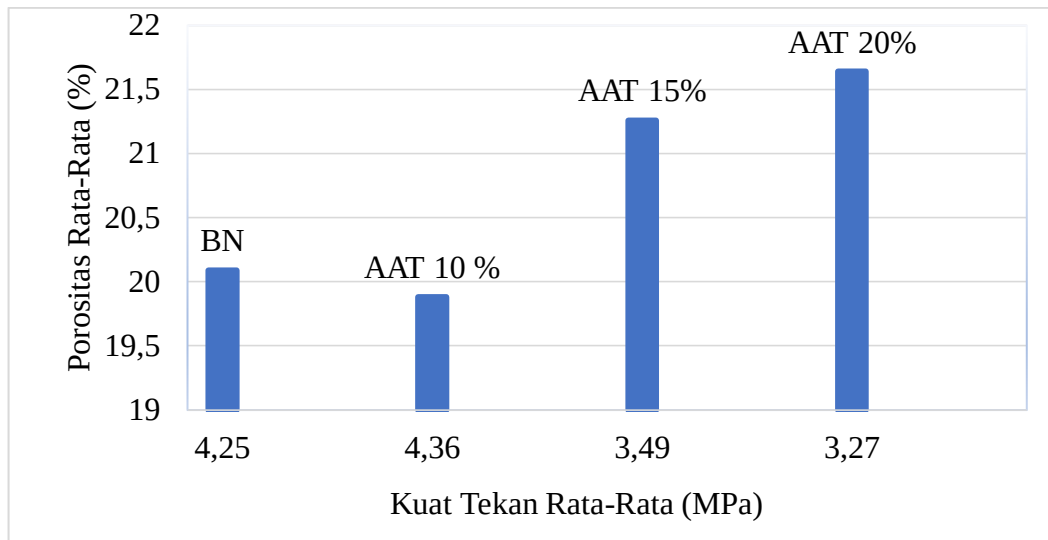


Gambar 4.2 Grafik Hubungan Variasi AAT dengan Hasil Porositas

Berdasarkan hasil pengujian, beton pori dengan variasi BP + AAT 0% memiliki nilai porositas rata-rata sebesar 20,09%. Setelah dilakukan penambahan AAT sebesar 10%, nilai porositas mengalami penurunan menjadi 19,88%. Selanjutnya, pada variasi AAT 15%, nilai porositas meningkat menjadi 21,26%, dan kembali meningkat pada variasi AAT 20% dengan nilai porositas rata-rata sebesar 21,64%.

Berdasarkan hasil analisis data, penambahan abu ampas tebu (AAT) pada beton pori menunjukkan adanya perubahan nilai porositas pada setiap variasi campuran. Pada penambahan AAT 10%, nilai porositas mengalami penurunan dibandingkan dengan beton normal. Namun, setelah persentase AAT ditingkatkan menjadi 15% dan 20%, nilai porositas kembali mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan AAT dalam jumlah tertentu dapat membantu mengisi rongga pada campuran beton, tetapi penggunaan dalam jumlah yang lebih tinggi dapat menyebabkan terbentuknya lebih banyak rongga pada beton.

Peningkatan porositas pada kadar AAT yang lebih tinggi dapat terjadi karena partikel AAT memiliki ukuran yang sangat halus dan karakteristik yang berbeda dari semen. Semakin banyak AAT yang digunakan, semakin besar kemungkinan terjadinya penggumpalan partikel dan distribusi material yang kurang merata dalam campuran. Kondisi tersebut dapat menyebabkan terbentuknya rongga yang lebih banyak setelah beton mengeras. Selain itu, meningkatnya jumlah AAT dapat mengurangi jumlah semen dalam campuran sehingga pembentukan pasta semen dan pengikatan antarpartikel menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, pada variasi AAT 15% dan 20%, peningkatan jumlah AAT diduga menyebabkan struktur beton menjadi lebih berongga sehingga nilai porositas meningkat.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Porositas dengan Kuat Tekan

Berdasarkan grafik hubungan antara porositas dan kuat tekan beton pori, dapat dilihat bahwa kedua parameter tersebut memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Ketika nilai porositas meningkat, nilai kuat tekan cenderung mengalami penurunan. Sebaliknya, ketika porositas menurun, kuat tekan cenderung meningkat. Hal ini disebabkan oleh jumlah rongga yang terdapat di dalam beton. Semakin tinggi porositas menunjukkan semakin banyak rongga dalam struktur beton, sehingga kepadatan beton menjadi lebih rendah dan kemampuan beton dalam menahan beban tekan ikut menurun.

Pada variasi AAT 0%, diperoleh nilai porositas sebesar 20,09% dengan kuat tekan sebesar 4,25 MPa. Pada variasi AAT 10%, porositas mengalami penurunan menjadi 19,88%, sedangkan kuat tekan meningkat menjadi 4,28 MPa. Penurunan porositas tersebut menunjukkan bahwa struktur beton menjadi sedikit lebih padat sehingga kuat tekan mengalami peningkatan. Namun, pada variasi AAT 15%, porositas meningkat menjadi 21,26% dan kuat tekan menurun menjadi 3,49 MPa. Selanjutnya, pada variasi AAT 20%, porositas kembali meningkat menjadi 21,64% dan kuat tekan turun menjadi 3,27 MPa.

Peningkatan porositas pada variasi AAT 15% dan 20% menunjukkan bahwa semakin banyak rongga yang terbentuk dalam beton. Kondisi tersebut menyebabkan bagian padat beton yang menerima beban menjadi lebih sedikit dan

ikatan antar material menjadi kurang optimal. Akibatnya, kemampuan beton dalam menahan beban tekan menjadi lebih rendah. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa porositas berpengaruh terhadap kuat tekan beton pori, dengan kecenderungan bahwa semakin tinggi porositas, semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan. Variasi AAT 10% menunjukkan hasil paling optimal karena memiliki porositas terendah sebesar 19,88% dan kuat tekan tertinggi sebesar 4,28 MPa.

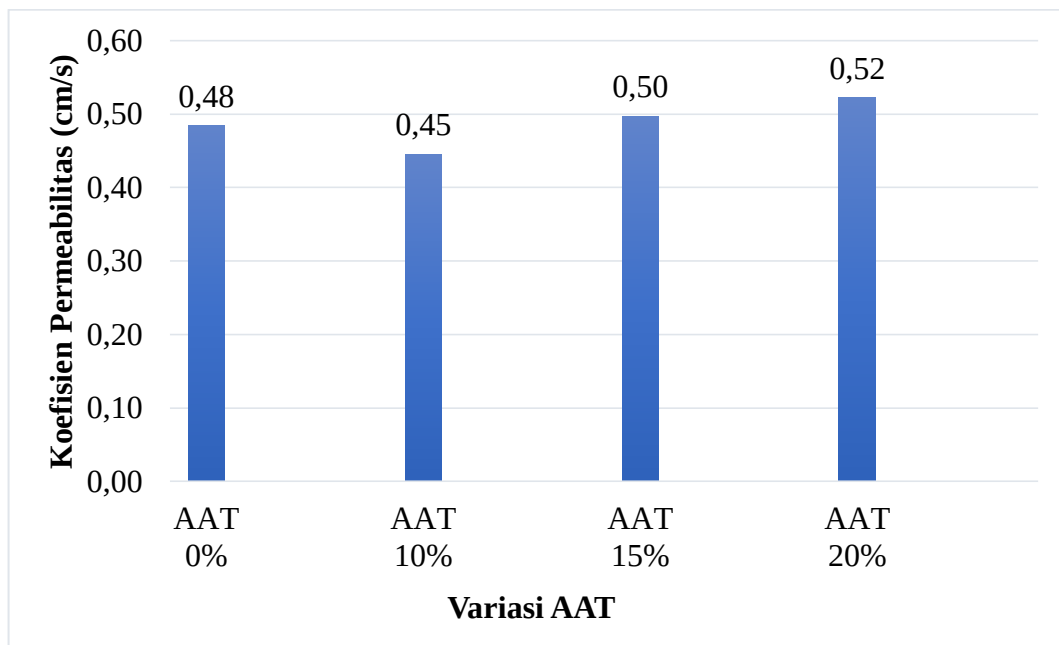
4.8 Hasil Pengujian Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan pada umur beton 28 hari dengan menggunakan metode *Constant Head*. Setiap variasi campuran terdiri atas tiga benda uji untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Prinsip pengujian ini adalah mempertahankan tinggi muka air pada kondisi konstan, kemudian mengukur volume air yang mengalir melewati benda uji selama periode waktu tertentu. Hasil pengukuran tersebut digunakan untuk menghitung koefisien permeabilitas sebagai indikator kemampuan beton pori dalam mengalirkan air pada setiap variasi campuran. Hasil pengujian beton dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Uji Permeabilitas Beton Pori

Variasi	Benda Uji	Luas (A) (mm ²)	Tebal Benda Uji (L)	Head Air, h (cm)	Volume air sesudah pengujian (Q) (cm ³)	Waktu, t (detik)	Koefisien Permeabilitas (cm/s)	Permeabilitas Rata - Rata (cm/s)
BP + AAT 0%	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 + AAT 10%	1	176,71	30	11,32	1800	62,88	0,43	0,45
	2	176,71	30	11,32	1810	53,50	0,51	
	3	176,71	30	11,32	1790	67,04	0,40	
BP + AAT 15%	1	176,71	30	11,32	1900	58,06	0,49	0,50
	2	176,71	30	11,32	1940	58,89	0,49	
	3	176,71	30	11,32	1950	57,68	0,51	

Variasi	Benda Uji	Luas (A) (mm ²)	Tebal Benda Uji (L)	Head Air, h (cm)	Volume air sesudah pengujian (Q) (cm ³)	Waktu, t (detik)	Koefisien Permeabilitas (cm/s)	Permeabilitas Rata - Rata (cm/s)
BP + AAT 20%	1	176,71	30	11,32	1980	56,88	0,52	0,52
	2	176,71	30	11,32	1965	55,89	0,53	
	3	176,71	30	11,32	1950	56,44	0,52	



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Variasi AAT dengan Hasil Permeabilitas

Berdasarkan hasil pengujian, beton pori dengan variasi BP + AAT 0% memiliki nilai permeabilitas rata-rata sebesar 0,48 cm/s. Setelah dilakukan penambahan AAT sebesar 10%, nilai permeabilitas mengalami penurunan menjadi 0,45 cm/s. Pada variasi AAT 15%, nilai permeabilitas menaik menjadi 0,50 cm/s, sedangkan pada variasi AAT 20% diperoleh nilai permeabilitas rata-rata sebesar 0,52 cm/s.

Berdasarkan hasil pengujian, beton pori dengan variasi AAT 0% memiliki nilai permeabilitas rata-rata sebesar 0,48 cm/s. Setelah penambahan AAT sebesar 10%, nilai permeabilitas mengalami penurunan menjadi 0,45 cm/s. Penurunan ini

menunjukkan bahwa penambahan AAT pada kadar 10% dapat mengurangi kemampuan air untuk mengalir melalui rongga beton. Hal ini diduga karena partikel halus AAT dapat mengisi sebagian rongga yang terdapat di antara agregat, sehingga struktur beton menjadi lebih rapat dan jalur aliran air menjadi lebih sedikit.

Pada variasi AAT 15%, nilai permeabilitas meningkat menjadi 0,50 cm/s dan kembali meningkat pada variasi AAT 20% menjadi 0,52 cm/s. Peningkatan tersebut diduga terjadi karena penggunaan AAT yang lebih tinggi dapat menyebabkan distribusi material dalam campuran menjadi kurang merata dan terbentuknya rongga atau jalur aliran air yang lebih banyak. Semakin banyak rongga yang saling terhubung, semakin mudah air mengalir melalui beton sehingga nilai permeabilitas meningkat.

Berdasarkan hasil tersebut, variasi AAT 10% menghasilkan nilai permeabilitas paling rendah, yaitu 0,45 cm/s, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada variasi AAT 20%, yaitu 0,52 cm/s. Perubahan nilai permeabilitas menunjukkan bahwa penggunaan AAT memengaruhi struktur rongga pada beton pori. Penambahan AAT dalam jumlah tertentu dapat mengisi rongga, tetapi penggunaan dalam jumlah yang lebih tinggi dapat meningkatkan kembali jalur aliran air dalam beton.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan mengenai pengaruh penggunaan abu ampas tebu sebagai pengganti sebagian semen terhadap sifat-sifat pada beton pori, maka kesimpulan yang dapat diambil yaitu:

1. Penggunaan abu ampas tebu memberikan pengaruh terhadap nilai kuat tekan beton pori. Beton pori tanpa tambahan abu ampas tebu (AAT 0%) memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 4,25 MPa. Setelah ditambahkan AAT 10%, kuat tekan meningkat sebesar 2,59% menjadi 4,36 MPa. Pada variasi AAT 15%, kuat tekan menurun sebesar 19,95% menjadi 3,49 MPa, kemudian pada variasi AAT 20% kuat tekan kembali menurun sebesar 6,30% menjadi 3,27 MPa. Dari seluruh variasi campuran, AAT 10% menghasilkan kuat tekan tertinggi, sedangkan AAT 20% menghasilkan kuat tekan terendah.
2. Penggunaan abu ampas tebu memengaruhi nilai porositas beton pori. Beton pori normal (AAT 0%) memiliki porositas rata-rata sebesar 20,09%. Pada variasi AAT 10%, porositas menurun sebesar 1,05% menjadi 19,88%. Selanjutnya, pada variasi AAT 15%, porositas meningkat sebesar 6,94% menjadi 21,26%, dan pada variasi AAT 20% porositas kembali meningkat sebesar 1,79% menjadi 21,64%. Meskipun terjadi perubahan pada setiap variasi, seluruh nilai porositas masih berada pada kisaran 19–22%, sehingga karakteristik beton pori tetap dapat dipertahankan.
3. Nilai permeabilitas beton pori juga dipengaruhi oleh variasi campuran abu ampas tebu. Beton pori normal (AAT 0%) memiliki permeabilitas rata-rata sebesar 0,48 cm/s. Pada variasi AAT 10%, permeabilitas menurun sebesar 6,25% menjadi 0,45 cm/s. Selanjutnya, pada variasi AAT 15%, permeabilitas kembali menurun sebesar 6,67% menjadi 0,42 cm/s, dan pada variasi AAT 20%, permeabilitas menurun lagi sebesar 2,38% menjadi 0,41 cm/s. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh variasi masih memiliki kemampuan yang baik dalam meloloskan air.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi persentase abu ampas tebu (AAT) dengan interval 5-11% sehingga dapat diketahui secara lebih rinci komposisi penggantian semen yang memberikan karakteristik beton pori paling optimum, terutama terhadap kuat tekan, porositas, dan permeabilitas.
2. Pada pengujian permeabilitas sebaiknya menggunakan peralatan uji permeabilitas agar mendapat hasil yang lebih akurat.
3. Penelitian berikutnya dapat mengkaji pengaruh faktor lain, seperti faktor air-semen (FAS), gradasi agregat kasar, metode pembakaran abu ampas tebu, maupun penggunaan bahan tambah (*admixture*), sehingga dapat diperoleh campuran beton pori dengan kuat tekan yang lebih tinggi tanpa mengurangi porositas dan permeabilitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. (2010). *Report on Pervious Concrete*. USA: American Concrete Institute.
- Adresi, M., Yamani, A., Karimaei, M., & Rooholamini, H. (2023). *A comprehensive review on pervious concrete*. 407(September), 133308. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133308>
- Alshareedah, O., & Nassiri, S. (2021). *Pervious concrete mixture optimization , physical , and mechanical properties and pavement design : A review*. 288, 125095. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125095>
- Aprianti, Evi, Payam Shafigh, Syamsul Bahri, and Javad Nodeh. Cementitious 2015. Materials “Supplementary Origin from Agricultural Wastes – A Review” 74: 176–87.
- ASTM. (2014). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use*. 1–5. <https://doi.org/10.1520/C0618>
- Bayapureddy, Y., Muniraj, K., & Mutukuru, G. (2024). Enhancing material properties of agro-industrial waste sugarcane bagasse ash — Way towards sustainable development. *Sustainable Futures*, 7(January 2023), 100154. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100154>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2023). *Bencana Banjir di indonesia pada tahun 2023*.
- Desmaliana, E., Herbudiman, B., & Lesmana, R. (2018). *KAJIAN EKSPERIMENTAL SIFAT MEKANIK BETON POROUS DENGAN VARIASI FAKTOR AIR SEMEN*. 15(1), 19–29.
- Fajar, M. N. (2024). *Hubungan Nilai Kuat Tekan Beton Porous Dengan Perbandingan Komposisi Terhadap Nilai Permeabilitas*.
- Harber, P. J. (2005). *Applicability of No-Fines Concrete as a Road Pavement A dissertation submitted by. October*.
- Karimah, R., & Wahyudi, Y. (2016). *Pemakaian abu ampas tebu dengan variasi suhu sebagai substitusi parsial semen dalam campuran beton*. 13, 167–173.
- Maldonado-Bandala, E.E., V Jiménez Quero, F.J. Olguin-Coca, L G M Lizarraga, M.A. BaltazarZamora, A Ortiz-C, F Almeraya, P Zambrano, and C Gaona-

- Tiburcio. 2011. "Electrochemical Characterization of Modified Concretes with Sugar Cane Bagasse Ash." *International Journal of Electrochemical Science* 6: 4915–26.
- Modani, Prashant O., and M. R. Vyawahare. 2013. "Utilization of Bagasse Ash as a Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete." *Procedia Engineering* 51 (NUICONE 2012): 2529. doi:10.1016/j.proeng.2013.01.007.
- Muharja, M., Darmayanti, R. F., Widjaja, A., & Manurung, Y. H. (2022). *Optimization of Sugarcane Bagasse Ash Utilization for Concrete Bricks Production Using Plackett-Burman and Central Composite Design*. 6(1), 62–75.
- Ondang, C. Q., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2020). *SIFAT MEKANIK DAN PERMEABILITAS BETON POROUS*. 8(4), 4–9.
- Putra, T., Manalip, H., & Mondoringin, M. (2020). *PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN DENGAN ABU AMPAS TEBU TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS AAT (Abu Ampas Tebu) sebagai bahan beton porous terhadap permeabilitas dan*. 8(5), 665–670.
- Rangan, P. R. (2023). *Pengaruh Pemanfaatan Cornice Adhesive Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Berpori*. 7, 2981–2991.
- Riyanto, E., Setiawan, A., & Taufik, M. (2023). Pengaruh Ukuran Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Infiltrasi dan Permeabilitas Beton Porous. *Jurnal Surya Beton*, 7(1).
- Rompas, G. P. et al (2013). Pengaruh Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Parsial Semen Dalam Campuran Beton Ditinjau Terhadap Kuat Tarik Lentur dan Modulus Elastisitas. *Jurnal Sipil Statik* Vol.1 No.2. Fakultas Teknik, Teknik Sipil. Universitas Sam Ratulangi.
- Sanchez-Mendieta, Carlos Galan-Diaz, J. J., & Martinez-Lage, I. (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.job.2024.110858>
- Saputra, E. B. et al. (2019). Pengaruh Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan

- Beton Sebagai Bahan Tambah dalam Pembuatan Beton Normal. Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS). Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil. Universitas Veteran Bangun Nusantara.
- Schaefer, V. R., Wang, K., Suleiman, M. T., & Kevern, J. T. (2006). *Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates*. February.
- Singh, A., Prapoorna, K., & Venkatesh, P. (2022). *Resources , Conservation & Recycling Engineering properties and lifecycle impacts of Pervious All-Road All-weather Multilayered pavement*. 180(January), 517619. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106186>
- Tjokrodinuljo, K. (1996), Teknologi Beton, Buku Ajar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Zhong, R., Leng, Z., & Poon, C. (2018). *Research and application of pervious concrete as a sustainable pavement material : A state-of-the-art and state-of-the-practice review*. 183, 2018. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.131>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Pengujian Kuat Tekan

a. Beton Pori + AAT 0%

1. Benda Uji 1

$$\text{Beban (P)} = 9 \text{ ton} \times 9,81 = 88,29 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Kubus (A)} = 22.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{88,29 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= \frac{88.290 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= 3,9240 \text{ N/mm}^2 \\ &= 3,92 \text{ MPa}\end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$\text{Beban (P)} = 10,5 \text{ ton} \times 9,81 = 102,9 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Kubus (A)} = 22.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{102,9 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= \frac{102.90 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= 4,5733 \text{ N/mm}^2 \\ &= 4,57 \text{ MPa}\end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$\text{Beban (P)} = 9,75 \text{ ton} \times 9,81 = 95,65 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Kubus (A)} = 22.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{95,65 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= \frac{95.650 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= 4,2511 \text{ N/mm}^2 \\ &= 4,25 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Hasil kuat tekan beton rata-rata} &= \frac{Bu1+Bu2+Bu3}{3} \\
 &= \frac{3,92+4,57+4,25}{3} \\
 &= 4,25 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

b. Beton Pori + AAT 10%

1. Benda Uji 1

$$\text{Beban (P)} = 9 \text{ ton} \times 9,81 = 88,29 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Kubus (A)} = 22.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{88,29 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \\
 &= \frac{88.290 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \\
 &= 3,9240 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 3,92 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$\text{Beban (P)} = 11 \text{ ton} \times 9,81 = 107,91 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Kubus (A)} = 22.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{107,91 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \\
 &= \frac{107.910 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \\
 &= 4,796 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 4,80 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$\text{Beban (P)} = 10 \text{ ton} \times 9,81 = 98,10 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Kubus (A)} = 22.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{98,10 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \\
 &= \frac{98.100 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \\
 &= 4,360 \text{ N/mm}^2 = 4,36 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$= 4,36 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Hasil kuat tekan beton rata-rata} &= \frac{\text{Bu1} + \text{Bu2} + \text{Bu3}}{3} \\ &= \frac{3,92 + 4,80 + 4,36}{3} \\ &= 4,36 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c. Beton Pori + AAT 15%

1. Benda Uji 1

$$\text{Beban (P)} = 7,5 \text{ ton} \times 9,81 = 73,58 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Kubus (A)} = 22.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{73,58 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= \frac{73.580 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= 3.270 \text{ N/mm}^2 \\ &= 3,27 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$\text{Beban (P)} = 8 \text{ ton} \times 9,81 = 78,48 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Kubus (A)} = 22.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{78,48 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= \frac{78.480 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= 3,488 \text{ N/mm}^2 \\ &= 3,49 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$\text{Beban (P)} = 8,5 \text{ ton} \times 9,81 = 83,39 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Kubus (A)} = 22.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{83,39 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= \frac{83.390 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$= 3,706 \text{ N/mm}^2$$

$$= 3,71 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Hasil kuat tekan beton rata-rata} &= \frac{\text{Bu1} + \text{Bu2} + \text{Bu3}}{3} \\ &= \frac{3,27 + 3,49 + 3,71}{3} \\ &= 3,49 \text{ MPa} \end{aligned}$$

d. Beton Pori + AAT 20%

1. Benda Uji 1

$$\text{Beban (P)} = 7,75 \text{ ton} \times 9,81 = 76,03 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Kubus (A)} = 22.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{76,03 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= \frac{76.030 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= 3,379 \text{ N/mm}^2 \\ &= 3,38 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$\text{Beban (P)} = 7,25 \text{ ton} \times 9,81 = 71,12 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Kubus (A)} = 22.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{71,12 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= \frac{71.120 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \\ &= 3,161 \text{ N/mm}^2 \\ &= 3,16 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$\text{Beban (P)} = 7,5 \text{ ton} \times 9,81 = 73,58 \text{ kN}$$

$$\text{Luas Kubus (A)} = 22.500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{73,58 \text{ kN} \times 1000}{22.500 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{73.580 \text{ N}}{22.500 \text{ mm}^2} \\
&= 3,270 \text{ N/mm}^2 \\
&= 3,27 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Hasil kuat tekan beton rata-rata} &= \frac{\text{Bu1} + \text{Bu2} + \text{Bu3}}{3} \\
&= \frac{3,38 + 3,16 + 3,27}{3} \\
&= 3,27 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Lampiran 2. Perhitungan Pengujian Porositas

a. Beton Pori + AAT 0%

1. Benda Uji 1

$$M \text{ (Jenuh)} = 8925 \text{ gr}$$

$$M \text{ (Kering)} = 7865 \text{ gr}$$

$$\rho \text{ Air} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Volume Benda Uji} = 5298,75 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}
\text{Persentase Porositas} &= \frac{M_{\text{Jenuh}} - M_{\text{Kering}}}{\rho \cdot v} \times 100 \\
&= \frac{8925 \text{ gr} - 7865 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100 \\
&= 20,00 \%
\end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$M \text{ (Jenuh)} = 8850 \text{ gr}$$

$$M \text{ (Kering)} = 7756 \text{ gr}$$

$$\rho \text{ Air} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Volume Benda Uji} = 5298,75 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}
\text{Persentase Porositas} &= \frac{M_{\text{Jenuh}} - M_{\text{Kering}}}{\rho \cdot v} \times 100 \\
&= \frac{8850 \text{ gr} - 7756 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100 \\
&= 20,65\%
\end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$M \text{ (Jenuh)} = 8890 \text{ gr}$$

$$M \text{ (Kering)} = 7850 \text{ gr}$$

$$\rho \text{ Air} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Volume Benda Uji} = 5298,75 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase Porositas} &= \frac{M_{\text{Jenuh}} - M_{\text{Kering}}}{\rho \cdot v} \times 100 \\ &= \frac{8890 \text{ gr} - 7850 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100 \\ &= 19,63 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Porositas Beton Rata- Rata} &= \frac{Bu1 + Bu2 + Bu3}{3} \\ &= \frac{20,00 + 20,65 + 19,63}{3} \\ &= 20,09 \% \end{aligned}$$

b. Beton Pori + AAT 10%

1. Benda Uji 1

$$M (\text{Jenuh}) = 8820 \text{ gr}$$

$$M (\text{Kering}) = 7800 \text{ gr}$$

$$\rho \text{ Air} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Volume Benda Uji} = 5298,75 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase Porositas} &= \frac{M_{\text{Jenuh}} - M_{\text{Kering}}}{\rho \cdot v} \times 100 \\ &= \frac{8820 \text{ gr} - 7800 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100 \\ &= 19,25 \% \end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$M (\text{Jenuh}) = 8910 \text{ gr}$$

$$M (\text{Kering}) = 7860 \text{ gr}$$

$$\rho \text{ Air} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Volume Benda Uji} = 5298,75 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase Porositas} &= \frac{M_{\text{Jenuh}} - M_{\text{Kering}}}{\rho \cdot v} \times 100 \\ &= \frac{8910 \text{ gr} - 7860 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100 \\ &= 19,82 \% \end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$M (\text{Jenuh}) = 8930 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned}
M \text{ (Kering)} &= 7840 \text{ gr} \\
\rho \text{ Air} &= 1 \text{ gr/cm}^3 \\
\text{Volume Benda Uji} &= 5298,75 \text{ cm}^3 \\
\text{Persentase Porositas} &= \frac{M_{\text{Jenuh}} - M_{\text{Kering}}}{\rho \cdot v} \times 100 \\
&= \frac{8930 \text{ gr} - 7840 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100 \\
&= 20,57 \% \\
\text{Porositas Beton Rata- Rata} &= \frac{Bu1 + Bu2 + Bu3}{3} \\
&= \frac{19,25 + 19,82 + 20,57}{3} \\
&= 19,88 \%
\end{aligned}$$

c. Beton Pori + AAT 15%

1. Benda Uji 1

$$\begin{aligned}
M \text{ (Jenuh)} &= 8970 \text{ gr} \\
M \text{ (Kering)} &= 7860 \text{ gr} \\
\rho \text{ Air} &= 1 \text{ gr/cm}^3 \\
\text{Volume Benda Uji} &= 5298,75 \text{ cm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Persentase Porositas} &= \frac{M_{\text{Jenuh}} - M_{\text{Kering}}}{\rho \cdot v} \times 100 \\
&= \frac{8970 \text{ gr} - 7860 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100 \\
&= 20,95 \%
\end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$\begin{aligned}
M \text{ (Jenuh)} &= 9030 \text{ gr} \\
M \text{ (Kering)} &= 7910 \text{ gr} \\
\rho \text{ Air} &= 1 \text{ gr/cm}^3 \\
\text{Volume Benda Uji} &= 5298,75 \text{ cm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Persentase Porositas} &= \frac{M_{\text{Jenuh}} - M_{\text{Kering}}}{\rho \cdot v} \times 100 \\
&= \frac{9030 \text{ gr} - 7910 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100 \\
&= 21,14 \%
\end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$M \text{ (Jenuh)} = 8990 \text{ gr}$$

$$M \text{ (Kering)} = 7840 \text{ gr}$$

$$\rho \text{ Air} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Volume Benda Uji} = 5298,75 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase Porositas} &= \frac{M_{\text{Jenuh}} - M_{\text{Kering}}}{\rho \cdot v} \times 100 \\ &= \frac{8990 \text{ gr} - 7840 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100 \\ &= 21,70 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Porositas Beton Rata- Rata} &= \frac{Bu1 + Bu2 + Bu3}{3} \\ &= \frac{20,95 + 21,14 + 21,70}{3} \\ &= 21,26 \% \end{aligned}$$

d. Beton Pori + AAT 20%

1. Benda Uji 1

$$M \text{ (Jenuh)} = 9040 \text{ gr}$$

$$M \text{ (Kering)} = 7900 \text{ gr}$$

$$\rho \text{ Air} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Volume Benda Uji} = 5298,75 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase Porositas} &= \frac{M_{\text{Jenuh}} - M_{\text{Kering}}}{\rho \cdot v} \times 100 \\ &= \frac{9040 \text{ gr} - 7900 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100 \\ &= 21,51 \% \end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$M \text{ (Jenuh)} = 9100 \text{ gr}$$

$$M \text{ (Kering)} = 7970 \text{ gr}$$

$$\rho \text{ Air} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Volume Benda Uji} = 5298,75 \text{ cm}^3$$

$$\text{Persentase Porositas} = \frac{M_{\text{Jenuh}} - M_{\text{Kering}}}{\rho \cdot v} \times 100$$

$$= \frac{9100 \text{ gr} - 7970 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100$$

$$= 21,33 \%$$

3. Benda Uji 3

$$M \text{ (Jenuh)} = 9060 \text{ gr}$$

$$M \text{ (Kering)} = 7890 \text{ gr}$$

$$\rho \text{ Air} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Volume Benda Uji} = 5298,75 \text{ cm}^3$$

$$\text{Persentase Porositas} = \frac{M_{\text{Jenuh}} - M_{\text{Kering}}}{\rho \cdot v} \times 100$$

$$= \frac{9060 \text{ gr} - 7890 \text{ gr}}{1 \text{ gr/cm}^3 \times 5298,75 \text{ cm}^3} \times 100$$

$$= 22,08 \%$$

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

$$= \frac{21,51 + 21,33 + 22,08}{3}$$

$$= 21,64 \%$$

Lampiran 3. Perhitungan Pengujian Permeabilitas

a. Beton Pori + AAT 0%

1. Benda Uji 1

$$\text{Volume Air (Q)} = 1950 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tebal Benda Uji (L)} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Luas Penampang (A)} = 176,71 \text{ cm}^2$$

$$\text{Beda Tinggi Muka Air (h)} = 11,32 \text{ cm}$$

$$\text{Waktu Aliran (t)} = 59,89 \text{ dt}$$

$$\text{Koefisien Permeabilitas} = \frac{Q \times L}{A \times h \times t}$$

$$= \frac{1950 \text{ cm}^3 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 59,89 \text{ dt}}$$

$$= 0,49 \text{ cm/dt}$$

2. Benda Uji 2

$$\text{Volume Air (Q)} = 1920 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tebal Benda Uji (L)} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Luas Penampang (A)} = 176,71 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beda Tinggi Muka Air (h)} &= 11,32 \text{ cm} \\
 \text{Waktu Aliran (t)} &= 60,15 \text{ dt} \\
 \text{Koefisien Permeabilitas} &= \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \\
 &= \frac{1920 \text{ cm}^2 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 60,15 \text{ dt}} \\
 &= 0,48 \text{ cm/dt}
 \end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Air (Q)} &= 1900 \text{ cm}^3 \\
 \text{Tebal Benda Uji (L)} &= 30 \text{ cm} \\
 \text{Luas Penampang (A)} &= 176,71 \text{ cm}^2 \\
 \text{Beda Tinggi Muka Air (h)} &= 11,32 \text{ cm} \\
 \text{Waktu Aliran (t)} &= 58,72 \text{ dt} \\
 \text{Koefisien Permeabilitas} &= \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \\
 &= \frac{1900 \text{ cm}^2 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 58,72 \text{ dt}} \\
 &= 0,49 \text{ cm/dt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Permeabilitas Beton Rata- Rata} &= \frac{Bu1 + Bu2 + Bu3}{3} \\
 &= \frac{0,49 + 0,48 + 0,49}{3} \\
 &= 0,48 \text{ cm/s}
 \end{aligned}$$

b. Beton Pori + AAT 10%

1. Benda Uji 1

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Air (Q)} &= 1800 \text{ cm}^3 \\
 \text{Tebal Benda Uji (L)} &= 30 \text{ cm} \\
 \text{Luas Penampang (A)} &= 176,71 \text{ cm}^2 \\
 \text{Beda Tinggi Muka Air (h)} &= 11,32 \text{ cm} \\
 \text{Waktu Aliran (t)} &= 62,88 \text{ dt} \\
 \text{Koefisien Permeabilitas} &= \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \\
 &= \frac{1800 \text{ cm}^3 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 62,88 \text{ dt}} \\
 &= 0,43 \text{ cm/dt}
 \end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$\begin{aligned}
\text{Volume Air (Q)} &= 1810 \text{ cm}^3 \\
\text{Tebal Benda Uji (L)} &= 30 \text{ cm} \\
\text{Luas Penampang (A)} &= 176,71 \text{ cm}^2 \\
\text{Beda Tinggi Muka Air (h)} &= 11,32 \text{ cm} \\
\text{Waktu Aliran (t)} &= 53,50 \text{ dt} \\
\text{Koefisien Permeabilitas} &= \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \\
&= \frac{1810 \text{ cm}^3 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 53,50 \text{ dt}} \\
&= 0,51 \text{ cm/dt}
\end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$\begin{aligned}
\text{Volume Air (Q)} &= 1790 \text{ cm}^3 \\
\text{Tebal Benda Uji (L)} &= 30 \text{ cm} \\
\text{Luas Penampang (A)} &= 176,71 \text{ cm}^2 \\
\text{Beda Tinggi Muka Air (h)} &= 11,32 \text{ cm} \\
\text{Waktu Aliran (t)} &= 67,04 \text{ dt} \\
\text{Koefisien Permeabilitas} &= \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \\
&= \frac{1790 \text{ cm}^3 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 67,04 \text{ dt}} \\
&= 0,40 \text{ cm/dt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Permeabilitas Beton Rata- Rata} &= \frac{Bu1+Bu2+Bu3}{3} \\
&= \frac{0,43+0,51+0,40}{3} \\
&= 0,45 \text{ cm/s}
\end{aligned}$$

c. Beton Pori + AAT 15%

1. Benda Uji 1

$$\begin{aligned}
\text{Volume Air (Q)} &= 1830 \text{ cm}^3 \\
\text{Tebal Benda Uji (L)} &= 30 \text{ cm} \\
\text{Luas Penampang (A)} &= 176,71 \text{ cm}^2 \\
\text{Beda Tinggi Muka Air (h)} &= 11,32 \text{ cm} \\
\text{Waktu Aliran (t)} &= 60,10 \text{ dt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien Permeabilitas} &= \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \\
 &= \frac{1830 \text{ cm}^3 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 60,10 \text{ dt}} \\
 &= 0,46 \text{ cm/dt}
 \end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Air (Q)} &= 1745 \text{ cm}^3 \\
 \text{Tebal Benda Uji (L)} &= 30 \text{ cm} \\
 \text{Luas Penampang (A)} &= 176,71 \text{ cm}^2 \\
 \text{Beda Tinggi Muka Air (h)} &= 11,32 \text{ cm} \\
 \text{Waktu Aliran (t)} &= 65,35 \text{ dt} \\
 \text{Koefisien Permeabilitas} &= \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \\
 &= \frac{1745 \text{ cm}^3 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 65,35 \text{ dt}} \\
 &= 0,40 \text{ cm/dt}
 \end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Air (Q)} &= 1780 \text{ cm}^3 \\
 \text{Tebal Benda Uji (L)} &= 30 \text{ cm} \\
 \text{Luas Penampang (A)} &= 176,71 \text{ cm}^2 \\
 \text{Beda Tinggi Muka Air (h)} &= 11,32 \text{ cm} \\
 \text{Waktu Aliran (t)} &= 67,21 \text{ dt} \\
 \text{Koefisien Permeabilitas} &= \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \\
 &= \frac{1780 \text{ cm}^3 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 67,21 \text{ dt}} \\
 &= 0,40 \text{ cm/dt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Permeabilitas Beton Rata- Rata} &= \frac{Bu1 + Bu2 + Bu3}{3} \\
 &= \frac{0,46 + 0,40 + 0,40}{3} \\
 &= 0,42 \text{ cm/s}
 \end{aligned}$$

d. Beton Pori + AAT 20%

1. Benda Uji 1

$$\text{Volume Air (Q)} = 1850 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}
\text{Tebal Benda Uji (L)} &= 30 \text{ cm} \\
\text{Luas Penampang (A)} &= 176,71 \text{ cm}^2 \\
\text{Beda Tinggi Muka Air (h)} &= 11,32 \text{ cm} \\
\text{Waktu Aliran (t)} &= 62,50 \text{ dt} \\
\text{Koefisien Permeabilitas} &= \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \\
&= \frac{1850 \text{ cm}^3 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 62,50 \text{ dt}} \\
&= 0,44 \text{ cm/dt}
\end{aligned}$$

2. Benda Uji 2

$$\begin{aligned}
\text{Volume Air (Q)} &= 1770 \text{ cm}^3 \\
\text{Tebal Benda Uji (L)} &= 30 \text{ cm} \\
\text{Luas Penampang (A)} &= 176,71 \text{ cm}^2 \\
\text{Beda Tinggi Muka Air (h)} &= 11,32 \text{ cm} \\
\text{Waktu Aliran (t)} &= 69,08 \text{ dt} \\
\text{Koefisien Permeabilitas} &= \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \\
&= \frac{1770 \text{ cm}^3 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 69,08 \text{ dt}} \\
&= 0,38 \text{ cm/dt}
\end{aligned}$$

3. Benda Uji 3

$$\begin{aligned}
\text{Volume Air (Q)} &= 1750 \text{ cm}^3 \\
\text{Tebal Benda Uji (L)} &= 30 \text{ cm} \\
\text{Luas Penampang (A)} &= 176,71 \text{ cm}^2 \\
\text{Beda Tinggi Muka Air (h)} &= 11,32 \text{ cm} \\
\text{Waktu Aliran (t)} &= 66,87 \text{ dt} \\
\text{Koefisien Permeabilitas} &= \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \\
&= \frac{1750 \text{ cm}^3 \times 30 \text{ cm}}{176,71 \text{ cm}^2 \times 11,32 \text{ cm} \times 66,87 \text{ dt}} \\
&= 0,39 \text{ cm/dt}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Permeabilitas Beton Rata- Rata} &= \frac{Bu1 + Bu2 + Bu3}{3} \\
&= \frac{0,44 + 0,38 + 0,39}{3} \\
&= 0,41 \text{ cm/s}
\end{aligned}$$

Lampiran 4. Abu Ampas Tebu



Lampiran 5. Penimbangan Abu Ampas Tebu, Semen dan Agregat Kasar

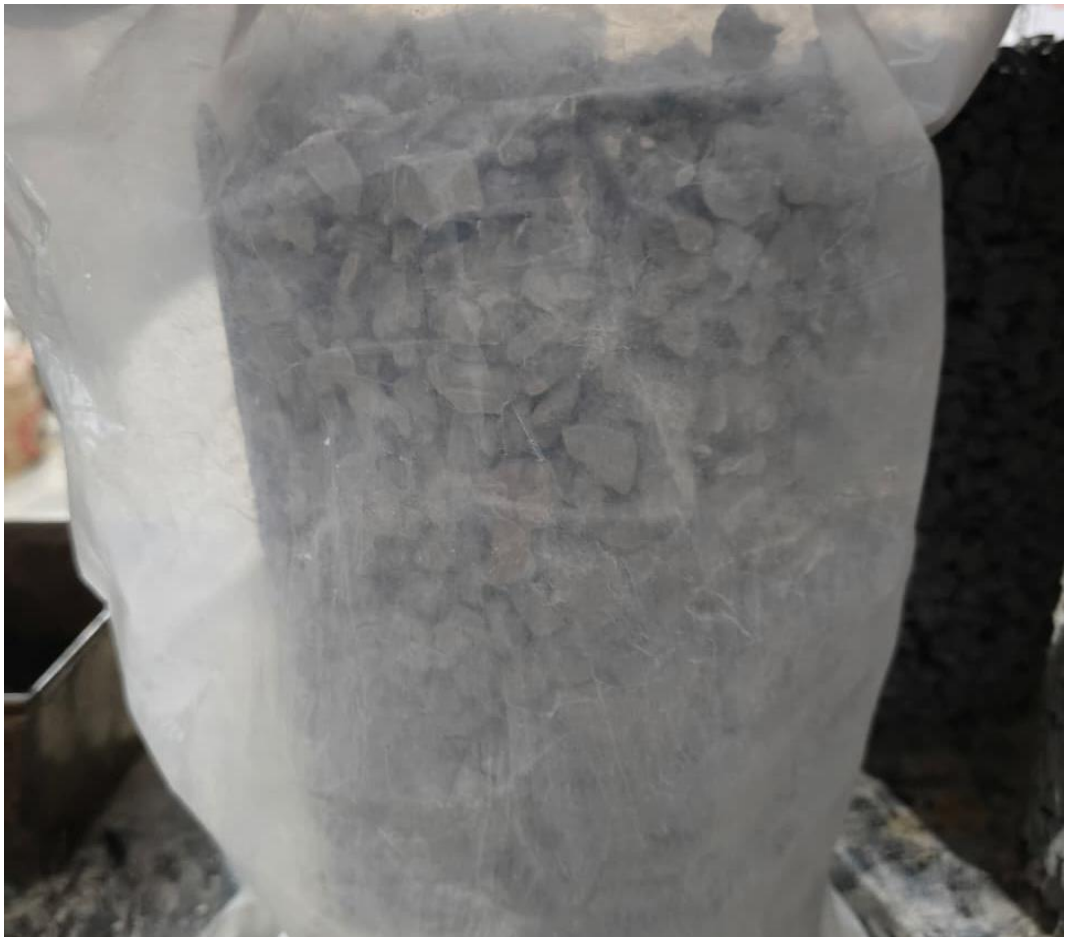




Lampiran 6. Hasil Beton Pori



Lampiran 7. Proses Perawatan Beton Pori (*Curing*)



Lampiran 8. Penimbangan Beton Pori



Lampiran 9. Uji Kuat Tekan Beton Pori



Lampiran 10. Uji Porositas Beton Pori



Lampiran 11. Uji Permeabilitas Beton Pori



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA IDENTITAS DIRI

Nama Lengkap	: Akbar Novaldi
Tempat, Tanggal Lahir	: P. Brandan, 9 November 2004
Jenis Kelamin	: Laki-Laki
Agama	: Islam
Alamat	: Jl. Thamrin Gg. H. Tahir
No HP	: +6289686269678
Nama Ayah	: Edwardin
Nama Ibu	: Juriah
E-mail	: akbarnovaldi488@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

NIM	: 2207210110
Program Studi	: Teknik Sipil
Fakultas	: Teknik
Perguruan Tinggi	: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi	: Jl. Kapten Muchtar Basri, Medan, 20238

PENDIDIKAN FORMAL

Sekolah Dasar	: SDN 050744 Pangkalan Brandan	2010-2016
Sekolah Menengah Pertama	: SMPN 1 Babalan	2016-2019
Sekolah Menengah Atas	: SMAN 1 Babalan	2019-2022