



Pengaruh Fly Ash dan Abu Vulkanik Sebagai Penambah Semen Terhadap Kuat Tekan Paving Berpori

Arif Afrianto¹✉, Rendi Gusta Wibowo¹, Ari Cahyono¹

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Merdeka Madiun⁽¹⁾

DOI: 10.31004/jutin.v7i1.43381

✉ Corresponding author:
[arifafrianto@unmer-madiun.ac.id]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:

Fly ash;
Abu Vulkanik;
Agregat Kasar;
Paving Berpori;
Kuat Tekan;

Paving berpori merupakan type paving yang memungkinkan air dari curah hujan maupun sumber lainnya dapat meresap menembus paving, yang mana dapat mengurangi runoff dari suatu lokasi dan meningkatkan pengisian tingkat air tanah. Pada penelitian ini paving berpori menggunakan agregat kasar ukuran 5-10 mm, faktor air semen 0,4% serta penambahan fly ash batu bara dan abu vulkanik. Pengujian meliputi densitas, penyerapan air, dan kuat tekan paving berpori dengan komposisi campuran fly ash batu bara dan abu vulkanik 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% dilakukan pengujian umur 28 hari dengan benda uji sebanyak 30 buah. Untuk rasio perbandingan semen dan agregat kasar 1:4. Hasil kuat tekan terbaik diperoleh pada penambahan fly ash dan abu vulkanik 2,5% yaitu 182,500 kg/cm², 0% = 182,000 kg/cm², 5% = 181,667 kg/cm², 7,5% = 181,167 kg/cm², dan 10% = 180,667 kg/cm². Porositas Terkecil Penambahan fly ash dan abu vulkanik 2,5% = 1,47%, penambahan 0% = 1,55%, 5% = 1,94%, 7,5% = 2,33% dan 10% = 2,35%. Densitas tertinggi pada penambahan fly ash dan abu vulkanik 2,5% = 1,04 gr/cm³, 5% = 1,03 gr/cm³, 7,5% = 1,03 gr/cm³, 0% = 1,03 gr/cm³ dan 10% = 1,02 gr/cm³.

Abstract

Keywords:

Fly ash;
Volcanic Ash;
Coarse Aggregate;
Porous Paving;
Compressive Strength;

Porous paving is a type of paving that allows water from rainfall or other sources to seep through the paving, which can reduce runoff from a location and increase groundwater recharge. In this study, porous paving uses coarse aggregates measuring 5-10 mm, a water-cement factor of 0.4% and the addition of coal fly ash and volcanic ash.

Testing includes density, water absorption, and compressive strength of porous paving with a mixture composition of coal fly ash and volcanic ash of 0%, 2.5%, 5%, 7.5% and 10% tested at 28 days with 30 test objects. For the ratio of cement and coarse aggregate 1:4. The best compressive strength results were obtained

by adding fly ash and volcanic ash 2.5%, namely $182,500 \text{ kg/cm}^2$, 0% = $182,000 \text{ kg/cm}^2$, 5% = $181,667 \text{ kg/cm}^2$, 7.5% = $181,167 \text{ kg/cm}^2$, and 10% = $180,667 \text{ kg/cm}^2$. The smallest porosity Addition of fly ash and volcanic ash 2.5% = 1.47%, addition of 0% = 1.55%, 5% = 1.94%, 7.5% = 2.33% and 10% = 2.35%. The highest density when adding fly ash and volcanic ash is 2.5% = 1.04 gr/cm^3 , 5% = 1.03 gr/cm^3 , 7.5% = 1.03 gr/cm^3 , 0% = 1.03 gr/cm^3 and 10% = 1.02 gr/cm^3 .

1. INTRODUCTION

Terdapat berbagai macam pembangkit listrik di Indonesia, salah satunya menggunakan tenaga uap. Secara internal terdapat berbagai proses yang pada akhirnya menghasilkan listrik, salah satunya pembakaran batu bara. Di dalam tungku pembakaran sisa batubara yang disebut fly ash dan bottom ash.

Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) merupakan limbah padat hasil pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sekitar 55% - 85% abu yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara tersebut berupa fly ash dan sisanya berupa bottom ash. Kedua jenis abu batu bara tersebut memiliki perbedaan karakteristik dan pemanfaatannya (Chousidis et al., 2015)

Fly ash yang tersusun oleh partikel-partikel serbuk halus merupakan salah satu material yang paling kompleks karena tersusun oleh mineral yang sangat bervariasi. Sifat fisik dan kimia fly ash tidak hanya tergantung pada jenis batu bara yang digunakan dalam proses pembakaran, namun juga pada teknik atau teknologi yang digunakan untuk membakar batu bara (Widayanto & Sitompul, 2021)

Kebutuhan batu bara untuk PLTU tiap tahun diprediksi akan terus meningkat, sehingga akan meningkat pula jumlah FABA yang dihasilkan. FABA yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada PLTU digolongkan sebagai limbah non-bahan berbahaya dan beracun (non-B3). Oleh karena itu sebaiknya FABA dimanfaatkan sebagai material yang mempunyai nilai tambah ekonomi seperti material konstruksi. Di beberapa negara antara lain China, India dan Jepang. (Megasari et al., 2020)

Penelitian lain tentang Optimasi substitusi fly ash dan bottom ash terhadap pembuatan paving Berpori sesuai SNI 03-0691-1996. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mutu paving Berpori sesuai SK SNI 03-0691-1996 dengan optimasi penggunaan fly ash dan bottom ash. Pada penelitian ini menggunakan variasi sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tekan, paving Berpori normal sebesar 25,50 MPa, 25% FA sebesar 25,28 MPa, 25% BA sebesar 27,61 MPa dan pada 25% FA-BA sebesar 26,00 MPa. Sedangkan untuk penyerapan air Pada uji ketahanan aus tidak ada yang memenuhi standar sesuai SK SNI 03-0691-1996.). (Qomaruddin & Sudarno, 2017)

Pemanfaatan limbah batubara (fly ash) sebagai pengganti Sebagian semen pada pembuatan paving Berpori. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pendahuluan untuk menguji sifat fisik dan mekanik bahan. Variasi fly ash yang digunakan sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dengan jumlah benda uji sebanyak 15 buah perversi. Benda uji direndam 28 hari sebelum dilakukan pengujian. Dari hasil pengujian kuat tekan didapatkan nilai kuat tekan tertinggi pada variasi 2,5% sebesar 22,5 MPa, lebih tinggi 8,87% bila dibandingkan dengan paving Berpori variasi 0% yaitu 20,667 MPa. Sedangkan nilai daya serap air tertinggi didapatkan pada benda uji dengan variasi 0% sebesar 0,12% dan nilai daya serap air terendah didapatkan pada benda uji variasi 2,5% sebesar 0,03%. (Yanti et al., 2021)

Analisa kuat tekan mortar dengan menggunakan abu terbang batu bara sebagai bahan pengganti sebagian semen dengan agregat halus pasir anggana. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penambahan abu terbang batubara pada campuran mortar dengan menggunakan agregat halus Pasir Anggana terhadap kuat tekannya. Kuat tekan maksimal yang dihasilkan dari penambahan abu terbang batubara pada campuran mortar dengan menggunakan agregat halus pasir Anggana didapat pada umur 56 hari. Kuat tekan masing-masing persentase penambahan abu terbang batubara 10% (12 MPa), 20% (14,86 MPa), 30% (13,5 MPa), 40% (13,66 MPa), dan 50% (9,83 MPa). (Hayni et al., 2020)

Paving berpori merupakan type paving yang memungkinkan air dari curah hujan maupun sumber lainnya dapat meresap menembus paving, yang mana dapat mengurangi runoff dari suatu lokasi dan meningkatkan pengisian air tanah. Penelitian ini akan dibuat paving berpori dengan penambahan bahan abu terbang limbah batu bara (fly ash) dan abu vulkanik untuk mengetahui nilai permeabilitas serta nilai kuat tekan. Dengan demikian jika paving berpori dibuat menggunakan mix design bahan tambah flyash dan kapur diharapkan benda uji paving berpori mempunyai nilai kuat tekan dan nilai permeabilitas yang optimal dan dapat menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi permasalahan lingkungan yang ada. Pada penelitian paving

berpori akan dicari komposisi campuran penambahan flyash dan kapur untuk mendapatkan hasil yang optimal pada kuat tekan dan permeabilitas.(Handayani et al., 2023)

Pada penelitian ini akan digunakan bahan pozzolan berupa Abu vulkanik yang berasal dari Gunung Merapi yang akan dimanfaatkan sebagai bahan penambah sebagian semen. Abu vulkanik ini termasuk dalam pozzolan jenis N dan merupakan pozzolan jenis alam. Abu vulkanik yang digunakan lolos saringan no. 200 dengan tujuan untuk menghindari pengaruh perbedaan ukuran butiran dengan semen terhadap kekuatan beton trass atau pozzolan bila dipakai sebagai penambah sebagian semen Portland umumnya berkisar antara 10 % sampai 35 % dari berat semen, pada umur 28 hari kuat tekannya lebih rendah dari pada beton normal, namun sesudah 3 bulan (90 hari) kuat tekannya dapat sedikit lebih tinggi.

Fly ash limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolanic (SNI 03-6414-2002). Fly ash dapat digunakan sebagai bahan untuk pembuatan agregat buatan dalam campuran beton, bahan tambahan paving Berpori, mortar, batako, beton ringan, dan sebagainya. Fly ash sangat baik digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran mortar karena bahan penyusun utamanya Silikon Dioksida (SiO_2), Alumunium (Al_2O_3) dan Ferrum Oksida (Fe_2O_3). Dengan menggunakan abu terbang sebanyak 20-30% dari berat semen akan dapat meningkatkan kuat tekan beton (HAZIM, 2016)

Semen portland sebagai bahan pengikat yang begitu penting dan banyak digunakan dalam pembangunan. Semen portland berfungsi untuk merekatkan butiran-butiran agregat supaya terjadi suatu masa yang padat. Dan juga, semen berguna untuk mengisi rongga-rongga yang ada diantara butiran-butiran agregat meskipun hanya dapat mengisi sekitar 10% dari volume beton tersebut.(Ola & Silaban, 2019)

Agregat kasar kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm - 40 mm. Menurut ukurannya, kerikil terbagi atas :

- ukuran butir 5 mm - 10 mm disebut kerikil halus,
- ukuran butir 10 mm - 20 mm disebut kerikil sedang,
- ukuran butir 20 mm - 40 mm disebut kerikil kasar,
- ukuran butir 40 mm - 70 mm disebut kerikil kasar sekali, dan
- ukuran butir > 70 mm digunakan untuk konstruksi beton siklop (cyclopean beton).

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh nilai kuat tekan beton rata- rata tertinggi pada campuran VII (20:40:40) sebesar 10,18 MPa, hal ini dikarenakan besarnya persentase komposisi agregat dengan ukuran yang kecil yaitu 0,5-1,0 cm. Semakin banyaknya jumlah agregat kasar dengan ukuran kecil pada beton porous maka rongga-rongga pori dapat lebih terisi yang menyebabkan beton porous menjadi lebih padat dan memiliki nilai kuat tekan lebih tinggi (Megasari et al., 2020)

Air menjadi salah satu bahan yang sangat penting pada proses pembuatan beton. Hal ini disebabkan untuk menentukan mutu pada campuran beton. Air diperlukan pada campuran beton juga karena berpengaruh pada sifat pembuatan beton. Air pada campuran beton berfungsi untuk membantu reaksi kimia semen portland dan juga untuk bahan pelicin antara semen dan agregat agar mudah dalam proses pengjerjaannya.

2. METHODS

Pelaksanaan penelitian yang meliputi pembuatan benda uji, perawatan dan pengujian paving berpori dilakukan di Laboratorium Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Merdeka Madiun.

1. Peralatan yang di gunakan untuk penelitian ini :

- Ayakan
- Timbangan
- Gelas ukur
- Oven Pengering
- Jangka sorong
- Cetakan Paving Hidrolis
- Mesin uji tekan

2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang di gunakan untuk membuat paving berpori :

- Semen *Portland*
- Fly Ash* Batu Bara

- c). Abu Vulkanik
- d). Air
- e). Agregat Kasar

3. Komposisi Campuran Paving Berpori

Komposisi campuran paving berpori sebagai berikut :

- a). Variasi 0% *Fly ash* : 0% Abu vulkanik : 1 Semen : 4 Agregat Kasar : Fas 0,4
- b). Variasi 2,5% *Fly ash* : 2,5% Abu vulkanik : 1 Semen : 4 Agregat Kasar : Fas 0,4
- c). Variasi 5% *Fly ash* : 5% Abu vulkanik : 1 Semen : 4 Agregat Kasar : Fas 0,4
- d). Variasi 7,5 % *Fly ash* : 7,5% Abu vulkanik : 1 Semen : 4 Agregat Kasar : Fas 0,4
- e). Variasi 10% *Fly ash* : 10% Abu vulkanik : 1 Semen : 4 Agregat Kasar : Fas 0,4

4. Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini di buat 30 paving berpori benda uji dengan menggunakan cetakan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm, pembuatan benda uji dapat di lihat dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perincian Benda Uji

Umur	Kode Sampel	Jumlah Benda Uji	Campuran				Ukuran Benda Uji (cm)
			Semen	Fly Ash (%)	Abu Vulkanik (%)	Kerikil	
28	P1	6	1	0	0	4	P=20, L-10, T=6
28	P2	6	1	2,5	2,5	4	P=20, L-10, T=6
28	P3	6	1	5	5	4	P=20, L-10, T=6
28	P4	6	1	7,5	7,5	4	P=20, L-10, T=6
28	P5	6	1	10	10	4	P=20, L-10, T=6

5. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan-tahapan penelitian ini :

- a). Siapkan alat dan bahan yang diperlukan.
- b). Timbang semen dan agregat kasar dengan perbandingan 1 pc : 4Ak. Penambahan *fly ash* 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan abu vulkanik 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dari semen.
- c). Campurkan bahan dengan penambahan fly ash 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan abu vulkanik 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%. Aduk hingga tercampur rata.
- d). Adonan paving berpori yang sudah dicampur hingga rata ditambah air secukupnya sampai tercapai campuran setengah basah (lengas tanah) yang merata. Secara sederhana, keadaan ini dapat diketahui dengan cara, campuran yang telah merata dikepal dengan telapak tangan. Kemudian dijatuhkan dari ketinggian kurang lebih 1,2 meter kepermukaan tanah keras. Bila campuran sudah baik, 2/3 bagian tetap mengumpul dan 1/3 lainnya tersebar (Tatuhe et al., 2023)
- e). Masukkan adonan dalam cetakan paving hidrolis lalu tekan agar menjadi padat.

6. Tahap pengujian benda uji

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi: kuat tekan, porositas dan density.

1. Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Alat yang digunakan untuk menguji kuat tekan *Universal Testing Machine* (UTM). Model cetakan untuk benda uji, dimensi benda uji berupa paving berpori dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm.

Prosedur pengujian kuat tekan sebagai berikut :

- a). Ambil benda uji yang akan ditentukan kekuatan tekanan dari bak perendam, kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain pelembab.
- b). Tentukan berat dan ukuran benda uji.
- c). Letakkan benda uji pada mesin secara sentries, sesuai dengan tempat yang tepat pada mesin tes kuat tekan paving berpori.
- d). Jalankan benda uji atau mesin tekan dengan penambahan beban konstan berdasar 2 sampai 4 kg/cm² per detik.

- e). Lakukan penambahan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksa benda uji.
- f). Pengujian kuat tekan paving berpori ini dilakukan pada saat berumur 28 dan diambil rata-rata.

2. Porositas

Pada tes porositas digunakan sebuah oven, gelas ukur, timbangan digital, neraca geser, *statip*, *aquades* dan tali.

Prosedur pengujian porositas sebagai berikut :

- a). Hitung massa kering dari bahan yang mana masing-masing terdiri dari 3 sampel.
- b). Mengukur berat kering dengan menggunakan neraca digital, lalu untuk menghitung berat tercelupnya dilakukan dengan menggunakan tali yang nantinya diikat pada sampel batuan.
- c). Masukkan sampel yang sudah terikat ke dalam air hingga sampel tercelup keseluruhan.
- d). Setelah sampel yang sudah didapat hasil nilai dari berat tecelupnya maka kemudian menghitung massa basah dari sampel dengan menggunakan neraca *ohauss*.
- e). Kemudian sampel dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 150°C dan di timbang massa kering sampel setiap 20 menit sampai nilai dari massa sampel menunjukkan nilai konstan.
- f). Setelah mendapatkan massa tersebut, menghitung nilai porositas tersebut dengan rumus.

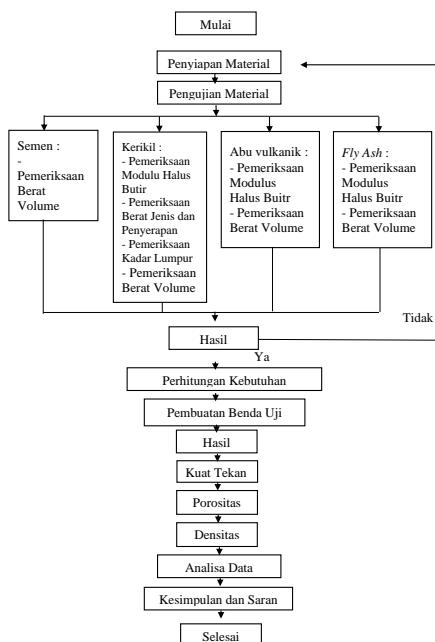
3. Densitas (*Density*)

Pengukuran densitas (*bulk density*) dari masing-masing komposisi paving berpori yang telah dibuat, di amati dengan menggunakan prinsip Archimedes dengan menggunakan neraca digital. Pada proses awal dilakukan penimbangan massa benda di udara (massa sampel kering) seperti halnya pada penimbangan biasa.

Metode pengukuran densitas :

- a). Sampel yang telah mengalami pengerasan, dikeringkan di dalam *drying* oven dengan suhu (105±5)°C, selama 1 jam.
- b). Kemudian timbang massa sampel kering (paving berpori), m_s dengan menggunakan neraca digital.
- c). Sampel yang telah ditimbang, kemudian direndam di dalam air selama 1 jam, bertujuan untuk mengoptimalkan penetrasi air terhadap sampel uji.
- d). Setelah proses penetrasi tercapai, seluruh permukaan sampel dilap dengan kain *flanel* dan dicatat massa sampel setelah direndam di dalam air, m_b . Gantung sampel, pastikan tepat pada posisi tengah dan tidak meyentuh alas beker gelas yang berisi air, dimana massa sampel berikut penggantung didalam air m_k .

7. Diagram Alir



Gambar 3.5 Diagram alir laporan penelitian

3. RESULT AND DISCUSSION

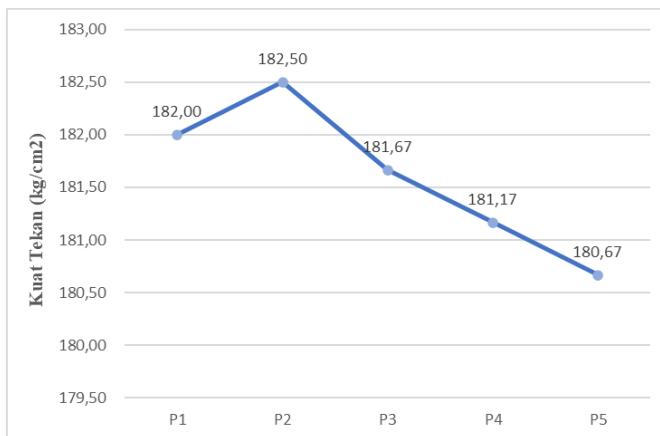
4. Pemeriksaan Kuat Tekan Paving Berpori

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata setiap adukan dapat dilihat pada tabel 4.13 berikut ini.

Tabel 4.13 Hasil Pemeriksaan Kuat Tekan Paving berpori

Fly Ash (%)	Abu Vulkanik (%)	Kode	Berat (kg)	Rata Rata Berat (kg)	P Maks (KN)	Luas penampang (cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Rata Rata Kuat Tekan (kg/cm ²)
0	0	P1 A	3015	3.063	357,00	2,00	178,500	182,000
		P1 B	3085		365,00	2,00	182,500	
		P1 C	3088		370,00	2,00	185,000	
2,5	2,5	P2 A	3155	3.134	365,00	2,00	182,500	182,500
		P2 B	3145		367,00	2,00	183,500	
		P2 C	3101		363,00	2,00	181,500	
5	5	P3 A	3106	3.096	368,00	2,00	184,000	181,667
		P3 B	3117		363,00	2,00	181,500	
		P3 C	3065		359,00	2,00	179,500	
7,5	7,5	P4 A	3097	3.089	360,00	2,00	180,000	181,167
		P4 B	3087		355,00	2,00	177,500	
		P4 C	3082		372,00	2,00	186,000	
10	10	P5 A	3155	3.076	357,00	2,00	178,500	180,667
		P5 B	3062		361,00	2,00	180,500	
		P5 C	3012		366,00	2,00	183,000	

Pada tabel 4.13 menunjukkan bahwa dari hasil uji kuat tekan, penambahan *fly ash* 2,5% dan abu vulkanik 2,5% mendapat nilai kuat tekan tertinggi yaitu 182,500 kg/cm². Hal itu di karenakan kapur dan *fly ash* sebanyak 2,5% tersebut mampu mengisi rongga antara semen dengan kerikil. Penambahan 0% = 182,000 kg/cm², 5% = 181,667 kg/cm², 7,5% = 181,167 kg/cm² dan 10% = 180,667 kg/cm², semakin banyak campuran *fly ash* dan abu vulkanik akan memisahkan ikatan antara kerikil dengan semen.



Gambar 4.1 Grafik Pengujian Kuat Tekan

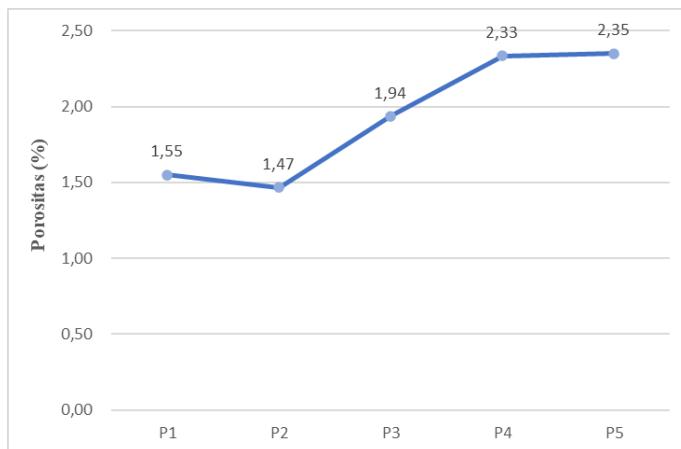
5. Pemeriksaan Porositas Paving berpori

Pengujian porositas dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari, pada paving berpori dengan variasi kapur dan *fly ash*. Hasil pengujian porositas rata-rata setiap adukan dapat dilihat pada tabel 4.14

Tabel 4.14 Hasil Pemeriksaan Porositas Paving berpori

Fly Ash (%)	Abu Vulkanik (%)	Kode	Massa Kering (gr)	Massa Setelah Direndam (B)(gr)	Massa Setelah Digantung (A)(gr)	Porositas (%)	Rata-rata Porositas (%)
0	0	P1 A	3015	3055	147	1,376	1,55
		P1 B	3085	3120	144	1,176	
		P1 C	3088	3151	142	2,094	
2,5	2,5	P2 A	3155	3185	142	0,986	1,47
		P2 B	3145	3195	157	1,646	
		P2 C	3101	3154	156	1,768	
5	5	P3 A	3106	3136	144	1,003	1,94
		P3 B	3117	3172	143	1,816	
		P3 C	3065	3155	144	2,989	
7,5	7,5	P4 A	3097	3161	150	2,126	2,33
		P4 B	3087	3165	144	2,582	
		P4 C	3082	3151	146	2,296	
10	10	P5 A	3155	3165	150	0,332	2,35
		P5 B	3062	3153	141	3,021	
		P5 C	3012	3122	146	3,696	

Dari hasil pengujian porositas penambahan *fly ash* 2,5% dan abu vulkanik 2,5% mendapatkan nilai porositas terendah yaitu 1,47 gr/cm³. Penambahan 0% = 1,55 gr/cm³, 5% = 1,94 gr/cm³, 7,5% = 2,33 gr/cm³ dan 10% = 2,35 gr/cm³



Gambar 4.2 Grafik Pengujian Porositas

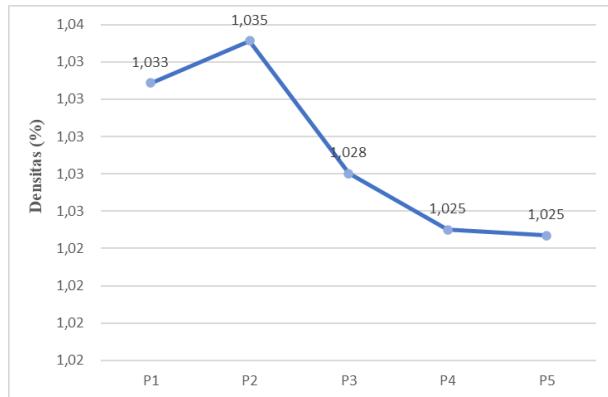
6. Pemeriksaan Densitas Paving berpori

Pengujian densitas dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari, pada paving berpori dengan variasi kapur dan *fly ash*. Hasil pengujian densitas rata-rata setiap adukan dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Pemeriksaan Densitas Paving berpori

Fly Ash (%)	Abu Vulkanik (%)	Kode	Massa Kering (ms)(gr)	Massa Setelah Direndam (mb)(gr)	Massa Setelah Digantung (mg)(gr)	Massa Kawat Penggantung (mk)(gr)	Densitas (gr/cm ³)	Rata-rata Densitas (gr/cm ³)
0	0	P1 A	3015	3055	147	1	1,036	1,03
		P1 B	3085	3120	144	1	1,036	
		P1 C	3088	3151	142	1	1,026	
2,5	2,5	P2 A	3155	3185	142	1	1,036	1,04
		P2 B	3145	3195	157	1	1,035	
		P2 C	3101	3154	156	1	1,034	
5	5	P3 A	3106	3136	144	1	1,038	1,03
		P3 B	3117	3172	143	1	1,029	
		P3 C	3065	3155	144	1	1,018	
7,5	7,5	P4 A	3097	3161	150	1	1,028	1,03
		P4 B	3087	3165	144	1	1,022	
		P4 C	3082	3151	146	1	1,025	
10	10	P5 A	3155	3165	150	1	1,046	1,02
		P5 B	3062	3153	141	1	1,016	
		P5 C	3012	3122	146	1	1,012	

Dari hasil pengujian densitas penambahan *fly ash* 2,5% dan abu vulkanik 2,5% mendapatkan nilai densitas tertinggi yaitu 1,04 gr/cm³. Penambahan 0% = 1,03 gr/cm³, 5% = 1,03 gr/cm³, 7,5% = 1,033 gr/cm³ dan 10% = 1,02 gr/cm³



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Densitas

7. Klasifikasi Mutu Paving

Untuk klasifikasi mutu paving standar mutu yang harus dipenuhi paving Berpori untuk lantai menurut SNI 03-0691-1996 sebagai berikut :

Tabel 4.16 Kekuatan Fisik Paving Berpori

Mutu	Kegunaan	KuatTekan(Kg/cm ²)		Ketahanan Aus (mm/mnit)		Penyerapan Air Rata-Rata Maks(%)
		Rata-rata	Min	Rata-rata	Min	
A	Perkerasan jalan	400	350	0,0090	0,103	3
B	Tempat parkir mobil	200	170	0,1300	1,149	6
C	Pejalan kaki	150	125	0,1600	1,184	8
D	Taman Kota	100	85	0,2190	0,251	10

Dari pengujian kuat tekan yang dilakukan paving yang di uji menunjukkan bahwa dari hasil uji kuat tekan penambahan kapur dan *fly ash* sebanyak 2,5% mendapatkan nilai kuat tekan tertinggi yaitu 253,514 kg/cm², dengan itu kriteria paving masuk mutu B dengan rata-rata 200 kg/cm².

4. CONCLUSION

Dari pengujian kuat tekan yang dilakukan paving yang di uji menunjukkan bahwa dari hasil uji kuat tekan penambahan kapur dan *fly ash* sebanyak 2,5% mendapatkan nilai kuat tekan tertinggi yaitu 253,514 kg/cm², dengan itu kriteria paving masuk mutu B dengan rata-rata 200 kg/cm².

5. REFERENCES

- Chousidis, N., Rakanta, E., Ioannou, I., & Batis, G. (2015). Mechanical properties and durability performance of reinforced concrete containing fly ash. *Construction and Building Materials*, 101, 810–817. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.10.127>
- Handayani, N. K., Musyaffa, M. R., & Rizal, Y. F. (2023). *Dan Permeabilitas Paving Berpori*. 2013, 209–214.
- Hayni, R. N., Prihantono, P., & Anisah, A. (2020). PEMANFAATAN ABU DASAR (BOTTOM ASH) DAN KAPUR SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN PADA PAVING BLOCK SESUAI DENGAN SNI 03-0691-1996. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 14–22. <https://doi.org/10.21009/JMENARA.V15I1.18126>
- HAZIM, M. F. (2016). STUDI PENGGUNAAN CATALYST, MONOMER, DAN KAPUR SEBAGAI MATERIAL PENYUSUN BETON RINGAN SELULER. *Rekayasa Teknik Sipil*, 3(3/REKAT/16).

- <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/16228>
- Megasari, S. W., Yanti, G., & Zainuri, Z. (2020). HUBUNGAN KARAKTERISTIK BETON POROUS DENGAN VARIASI KOMPOSISI AGREGAT KASAR. *Prosiding Seminar Nasional Pakar*, 1, 1.17.1-1.17.1. <https://doi.org/10.25105/PAKAR.V0I0.6794>
- Ola, A. L., & Silaban, P. (2019). *PENGARUH FLY ASH DARI LIMBAH PADAT PABRIK MINYAK NABATI DALAM PRODUKSI PAVING BLOCK Effect of Solid Waste Fly Ash from Vegetable Oil Company in Production of Paving Block*. 28, 51–63.
- Qomaruddin, M., & Sudarno, S. (2017). PEMANFAATAN LIMBAH BOTTOM ASH PENGGANTI AGREGAT HALUS DENGAN TAMBAHAN KAPUR PADA PEMBUATAN PAVING. *Reviews in Civil Engineering*, 1(1). <https://doi.org/10.31002/RICE.V1I1.537>
- Tatuhe, G., Lukhfi, M., Mangalape, E., Mundung, S., & Steve Supit, dan. (2023). KARAKTERISTIK PAVING BLOCK BERPORI DENGAN BAHAN DASAR ABU TERBANG (FLY ASH) DARI PLTU 2 AMURANG SULAWESI UTARA. *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, 9(1), 228–235. <https://proceeding.isas.or.id/index.php/sentrinov/article/view/1293>
- Widayanto, W., & Sitompul, M. (2021). Pengaruh Penggunaan Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Bahan Subtitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air Mortar. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 50–55. <https://doi.org/10.30811/PORTAL.V13I2.2321>
- Yanti, G., Zainuri, & Megasari, S. W. (2021). VARIASI PENAMBAHAN SIKACIM PADA BETON POROUS. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 10(1), 112–123. <https://doi.org/10.22225/PD.10.1.2617.112-123>