



Uji Karakteristik Paving Block dengan Campuran Filler Fly Ash

**I Putu Gede Andre Dian Ananta, Anak Agung Gde Agung Sahadewa, Nyoman Anggreni,
Bella Emrinaf Bilgisty, I Wayan Surya Pradipa Yasa**

Universitas Udayana, Jl. Raya Kampus Unud, Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kabupaten Badung, Bali,
Indonesia

ananta.2305511022@student.unud.ac.id

Abstrak

Unit uap pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di PT. Paiton Energy Company menghasilkan 7.5 ton *fly ash* dan 2.5 ton *bottom ash* setiap jam. Pemanfaatan limbah *fly ash* masih sangat minimal, cenderung menjadi timbunan dan mencemari lingkungan. *fly ash* tidak memiliki nilai ekonomis, sehingga perlu dilakukan pemanfaatan limbah ini, melalui *paving block* dengan campuran *fly ash* sebagai *filler*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil uji karakteristik, biaya pembuatan per $1m^3$, dan pengaplikasian *paving block* pada perkerasan jalan. Penelitian ini menggunakan satu tipe campuran yaitu campuran (pasir, semen, agregat kasar, air, dan *fly ash*). Pembuatan sampel diawali dengan mencampurkan semua bahan ke dalam mesin molen, kemudian dicetak dengan ukuran 200mm x 200mm x 80mm. Hasil uji kuat tekan sebesar 25,781–33,593 MPa. Hasil pengujian daya serap terhadap air diperoleh 0,0645–0,0703% dan hasil rata-rata daya serap terhadap air diperoleh 0,0677%, hasil dari uji IRS sebesar 0,00781–0,03125 kg/m^2 menit, kemudian hasil dari porositas sebesar 0,991–0,992%. Biaya produksi per $1m^3$ lebih hemat 4% dibandingkan dengan *paving block* tanpa *fly ash*, terdapat perbedaan harga sebesar Rp.45.596,59. *Paving block* dapat digunakan untuk pembangunan area parkir, taman, *pedestrian area*, dan jalan lingkungan.

Kata kunci: 1; *Fly ash* 2; Karakteristik 3; Biaya produksi

1. Pendahuluan

Fly ash merupakan limbah yang diperoleh dari PLTU yang menggunakan batu bara menjadikannya sumber energi. Pembakaran batu bara menghasilkan sisaan abu yang terbang karena memiliki berat jenis yang ringan, yaitu *fly ash*. *Fly ash* merupakan produk sisaan dari industri PLTU yang terdiri dari butiran halus, bulat, tidak berpori dan bersifat pozzolan (Aini et al., 2024). BAPPENAS (2019) dalam Wijaya R et al. (2021) mengatakan bahwa pada tahun 2019 produksi batu bara sebesar 610 juta ton, berarti limbah yang dihasilkan sekitar 5%, mencapai 8,31 juta ton dengan 1,662 juta ton *bottom ash* dan 6,648 juta ton *fly ash*. BAPPEDAL (1999, dalam Wijaya R et al., 2021) mengatakan bahwa limbah batubara tergolong dalam limbah B3 yang dapat menyebabkan penyakit silicosis (pembekakan paru-paru). Oleh karena itu, diperlukan solusi pemanfaatan limbah tersebut (Wijaya et al., 2021). Di beberapa negara antara lain China, India, dan Jepang, *fly ash* dan *bottom ash* dimanfaatkan sebagai keperluan bahan bangunan atau konstruksi seperti batako, *paving block* dan material semen (PJB, 2021; Anggara et al., 2021). *Paving block* merupakan salah satu elemen bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen

portland atau sejenisnya, agregat, air dengan atau tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton tersebut (SNI-03-0691-1996). *Paving block* mulai dikenal di Indonesia tahun 1977/1978. Kebutuhan *paving block* semakin bertambah dari waktu ke waktu. Peningkatan kebutuhan *paving block* ini menjadikan kebutuhan bahan material penyusunnya bertambah. Bahan penyusun *paving block* termasuk ke dalam sumber daya alam yang dapat diperbarui. Akan tetapi, jangka waktu yang dibutuhkan untuk memperbaharui relatif lama. Kontrol terhadap sumber daya ini perlu dilakukan. Pemanfaatan sumber daya alternatif merupakan cara efektif yang dapat dilakukan (Wibisono et al.). Penggunaan bahan tambahan pada campuran *paving block* selain dapat meningkatkan mutu juga akan dapat menghemat penggunaan material penyusun utamanya seperti semen dan pasir. Material *fly ash* yang berasal dari sisa pembakaran batu bara dan merupakan limbah industri, sampai saat ini masih belum ditemukan penggunaan yang tepat, sedangkan produksi limbah batu bara ini semakin meningkat dari tahun ke tahun jauh melebihi dari permintaan pasar. Harga jual dari material *fly ash* ini sangatlah murah, oleh karena itu penelitian tentang penggunaan material *fly ash* yang terus berkembang, hal ini disebabkan material *fly ash* memiliki potensi untuk dibuat bahan bangunan dengan mutu yang baik namun biaya produksinya relatif murah. Suharwanto (2000) menyatakan bahwa kandungan kimia dalam abu terbang akan mempengaruhi pada saat beton mengalami reaksi hidrasi antara air, semen portland dan abu terbang. Dalam proses hidrasi, air dalam campuran beton akan mengikat dikalsium silikat (C_2S) dan trikalsium silikat (C_3S) yang kemudian menjadi kalsium silikat hidrat gel ($3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ atau CSH) dan membebaskan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$). Tambahan abu terbang yang mengandung silica (SiO_2) dan bereaksi dengan $Ca(OH)_2$ yang dibebaskan dari proses hidrasi dan akan membentuk Calsium Silikat Hidrat (CSH) kembali, sehingga beton yang dibentuknya akan lebih padat dan kuat atau mutunya bertambah. Reaksi ini sering disebut reaksi sekunder dan reaksi ini berlangsung lambat dan berlaku lebih lama, sehingga mutu beton diatas 28 hari masih dapat meningkat, dengan demikian waktu pengerasan (*setting time*) beton abu terbang menjadi lebih lama bila dibandingkan dengan beton tanpa abu terbang. Penelitian terdahulu tentang penggunaan *fly ash* sebagai bahan tambah pada beton terbukti dapat meningkatkan kuat tekannya (Great Britain., 1998).

2. Metode

2.1. Bahan Percobaan

a. Semen

Semen adalah material yang memiliki sifat pengikat mineral yang membuatnya menjadi satu kesatuan. Semen digunakan untuk mengikat material yang digunakan dalam pembuatan *paving block*.



Gambar 1.1 Semen

b. Fly Ash

Fly ash adalah abu terbang yang sangat ringan yang diperoleh dari pembakaran batu bara dengan suhu yang mencapai 1600°C, dan memiliki kandungan silika sebesar 72,2%(Lubis & Karolina, 2017).



Gambar 1.2 Fly ash

c. Pasir

Pasir memainkan peran penting dalam pembuatan *paving block*. Pasir memberikan kekuatan dan kekerasan pada *paving block*, pasir yang digunakan memiliki butiran yang tajam dan keras. Pasir juga berfungsi sebagai pengisi ruang antara agregat kasar dalam campuran.



Gambar 1.3 Pasir

d. Air

Air memiliki fungsi sebagai aktivator semen, ketika air dicampur dengan semen, terjadi reaksi kimia yang mengikat bahan-bahan lain dalam campuran. Air juga dapat membantu dalam pencampuran semua material yang dibutuhkan pada saat pembuatan *paving block*.



Gambar 1.4 Pasir

e. Agregat kasar

pusjatan (2019, dalam Dinas PUPR, 2020) menyatakan bahwa agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm). Agregat kasar memberikan kekuatan, stabilitas, tekstur, dan mengisi volume.



Gambar 1.5 Agregat Kasar

2.2. Peralatan

Dalam melakukan penelitian ini ada beberapa alat yang harus dipersiapkan untuk alatnya sendiri merupakan alat yang digunakan untuk membuat *paving block* dengan campuran *fly ash*, yaitu sebagai berikut :

- a. Alat press
- b. Cetakan benda uji
- c. Alat-alat penunjang : sepatu, ember, pengaduk, dan penanda benda uji



Gambar 1.6 Mesin Press

2.3. Pengujian Kuat Tekan *paving block*

Pengujian kuat tekan pada *paving block* bertujuan untuk mengetahui dan mendapatkan besaran beban tekan maksimum yang mampu diterima oleh *paving block*. Alat yang digunakan memiliki kapasitas tekan 500KN. Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut :

1. Meletakkan benda uji pada alat uji tekan.
2. Kemudian menjalankan mesin dengan kecepatan penambahan beban konstan, kemudian catata besarnya beban maksimum yang diterima pada masing-masing benda uji.

3. Kuat tekan benda uji dihitung dengan membagi beban maksimum dengan luas bidang tekan. Dengan persamaan

$$\sigma^1 b = \frac{P}{A}$$

2.4. Pengujian daya serap air

Pengujian untuk penyerapan air dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya tingkat penyerapan air oleh benda uji yaitu *paving block* dalam waktu 24 jam. Peralatan yang digunakan meliputi timbangan, ember, dan oven. Proses pengujiannya sebagai berikut :

1. Siapkan benda uji *paving block*
2. Masukkan kedalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam
3. Kemudian benda uji ditimbang untuk mendapatkan berat awal (W_o)
4. Selanjutnya benda uji direndam dengan suhu ruang
5. Hitung volume air yang terserap (V_a) dengan persamaan

$$V_a = \frac{W_r - W_o}{\gamma_{air}}$$

6. Hitung presentase volume penyerapan air (V_{pa}) dengan persamaan

$$V_{pa} = \frac{V_a}{V_{bp}} \times 100\%$$

7. Hitung presentase volume penyerapan air rata-rata (V_{par}) dengan persamaan

$$V_{par} = \frac{V_{pa}}{N_{bp}}$$

2.5. Pengujian IRS *paving block*

Proses pengujian IRS dilakukan untuk mengetahui besaran penyerapan air dalam menit pertama dari *paving block*. Proses pengujiannya antara lain sebagai berikut :

1. Timbang berat kering sampel
2. Merendam sampel dengan air setinggi 3mm selama satu menit

3. Angkat sampel kemudian timbang
4. Hitung berat air yang diserap
5. Kemudian hitung nilai IRS meliputi berat air yang diserap dibagi luas area sampel terendam air. Kemudian hitung dengan persamaan

$$IRS = \frac{W_{wet} - W_o}{A}$$

2.6. Pengujian Porositas *paving block*

Pengujian terhadap porositas bertujuan untuk mengetahui seberapa besar *paving block* dapat meloloskan air yang diserapnya. Pengujian porositas dilaksanakan melalui tahapan sebagai berikut :

1. Menghitung kepadatan (D) *bulk* yang diperoleh dari perbandingan berat campuran di udara dengan volume campuran. Dimana volume sampel diperoleh dari selisih berat SSD atau keadaan kering dengan persamaan

$$D = \frac{\text{Berat di dalam air}}{\text{Volume}}$$

2. Menghitung berat jenis (SG) *mix eff* yang diperoleh dengan menggunakan persamaan

$$SG_{mix\ eff} = \frac{100}{\frac{\%a}{SGa} + \frac{\%b}{SGB} + \frac{\%c}{SGc}}$$

3. Kemudian menghitung porositas menggunakan persamaan

$$(P)\% = \left(1 - \frac{D}{SG_{mix}}\right) \times 100\%$$

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian karakteristik *paving block* dengan melakukan beberapa pengujian di laboratorium dengan menggunakan alat-alat laboratorium untuk masing masing jenis pengujian terdiri dari kuat tekan, kadar penyerapan air, *IRS*, dan porositas. Hasil dan pembahasan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Pengujian Kuat Tekan *Paving Block*

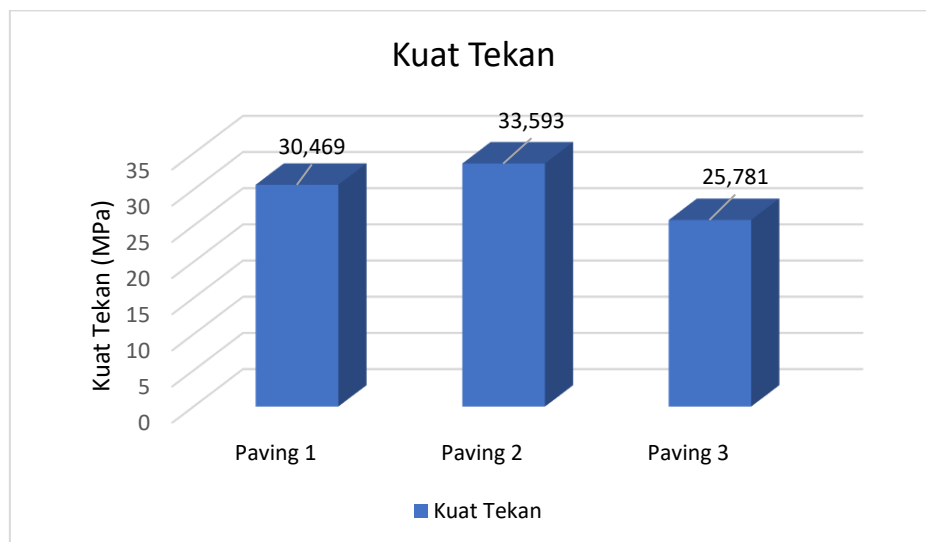
Pengujian kuat tekan memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa layak dan seberapa kuat beban yang bisa ditahan oleh *paving block* dengan campuran *fly ash*. Untuk pengujian kuat tekan yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Ketentuan paving block standar SNI 03-0691-1996

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air rata-rata Maks. (%)
	Rata-rata	Minimum	Rata-rata	Minimum	
A	40	35	0.09	0.013	3
B	20	17	0.13	0.149	6
C	15	12.5	0.16	0.184	8
D	10	8.5	0.219	0.251	10

Tabel Kuat Tekan

No	Jenis Sampel	Kuat Tekan	
		(kg/cm ²)	(MPa)
1	Paving 1	310,59	30,469
2	Paving 2	342,44	33,593
3	Paving 3	262,81	25,781



Grafik 1.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Block dengan Fly Ash

Terlihat pada grafik 1.1, *paving block* 2 menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 33,6 (MPa), kemudian paving 1 dengan nilai 30,469 (MPa), dan paving 3 memiliki nilai kuat tekan terendah sebesar 25,781 (MPa). Rata-rata kuat tekan 30,008 MPa.

b. Pengujian Nilai Kadar Penyerapan Air *Paving Block*

Pengujian nilai kadar penyerapan air pada *paving block* dengan campuran *fly ash* bertujuan untuk menilai kualitas, daya tahan, kepadatan, dan kesesuaiannya dengan standar konstruksi guna mencegah kerusakan akibat air. Hasil pengujian nilai kadar penyerapan air dapat dilihat pada tabel berikut :

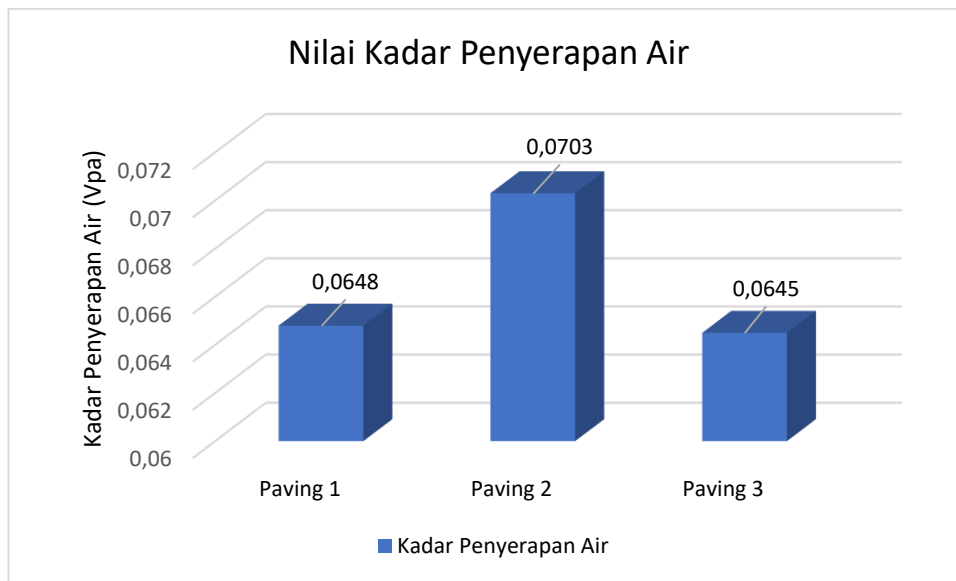
Ketentuan paving block standar SNI 03-0691-1996

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air rata-rata Maks. (%)
	Rata-rata	Minimum	Rata-rata	Minimum	
A	40	35	0.09	0.013	3
B	20	17	0.13	0.149	6

C	15	12.5	0.16	0.184	8
D	10	8.5	0.219	0.251	10

Tabel Kadar Penyerapan Air

No	Jenis Sample	Vbp (cm^3)	Wo (gram)	Wr (gram)	Vpa (%)
1	Paving 1		1165	1200	0,0648
2	Paving 2	512	1175	1211	0,0703
3	Paving 3		1165	1198	0,0645



Grafik 1.2 Hasil Pengujian Kadar Penyerapan Air Paving Block dengan Fly Ash

Terlihat pada grafik 1.2, *paving block* 2 menghasilkan nilai kadar penyerapan air (V_{pa} ,%) tertinggi sebesar 0,0703 %, kemudian *paving block* 1 dengan nilai kadar penyerapan air 0,0648 % dan nilai terendah sebesar 0,0645 %. Selanjutnya rata-rata nilai kadar penyerapan air sebesar 0,0665 MPa. Penyerapan air sangat kecil menunjukkan bahwa campuran sangat padat dan *fly ash* sebagai *filler* terbukti sangat baik digunakan.

c. Pengujian Nilai IRS Paving Block

Pengujian nilai Indeks Retak Serapan (IRS) pada *paving block* bertujuan untuk menilai kemampuan material *paving block* dengan campuran *fly ash* dalam menahan retak dan memastikan kualitas dan ketahanannya terhadap beban dan kondisi lingkungan. Untuk pengujian nilai Indeks Retak Serapan (IRS) dapat dilihat pada tabel berikut :

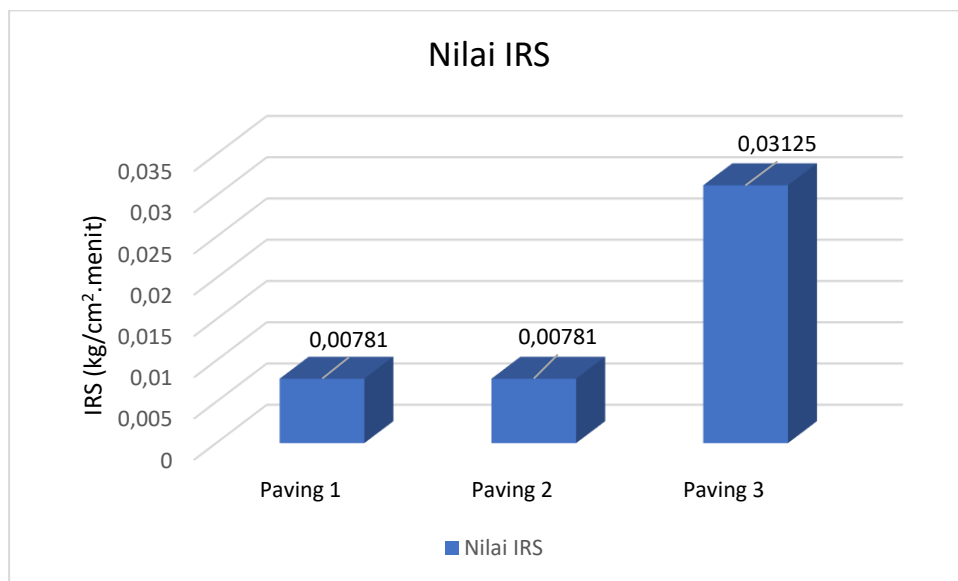
Ketentuan paving block standar SNI 03-0691-1996

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air rata-rata Maks. (%)
	Rata-rata	Minimum	Rata-rata	Minimum	
A	40	35	0.09	0.013	3
B	20	17	0.13	0.149	6
C	15	12.5	0.16	0.184	8

D	10	8.5	0.219	0.251	10
---	----	-----	-------	-------	----

Tabel nilai IRS

Sampel	H (cm)	Area (m)	Berat Kering (Kg)	Berat Basah (Kg)	IRS (kg/cm ² .menit)
Paving 1	8	0,64	1,165	1,170	0,00781
Paving 2			1,175	1,180	0,00781
Paving 3			1,165	1,185	0,03125



Grafik 1.3 Pengujian Nilai IRS Paving Block

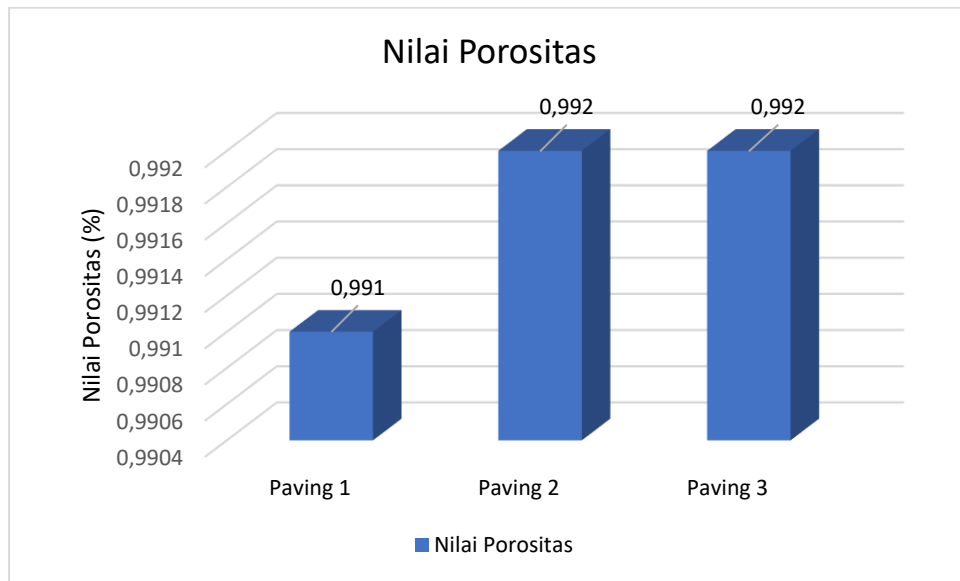
Terlihat pada grafik 1.3, paving 3 menghasilkan nilai Indeks Retak Serapan (IRS) tertinggi sebesar 0,03125 kg/cm², diikuti oleh paving 1 dan paving 2 dengan nilai Indeks Retak Serapan (IRS) yang sama yaitu 0,00781 kg/cm². Selanjutnya rata-rata nilai IRS sebesar 0,0156 Mpa. Nilai IRS sangat kecil terbukti bahwa *fly ash* sebagai filler sangat baik digunakan.

d. Pengujian Nilai Porositas *Paving Block*

Pengujian nilai porositas pada *paving block* bertujuan untuk menilai kemampuan serapan air, menentukan kekuatan struktur, mengevaluasi kualitas, memprediksi umur pakai, dan menganalisis kinerja drainase. Hasil pengujian nilai porositas dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel Porositas

No	Sampel	Volume (cm ³)	Berat dalam air (gram)	(Density) (gram/cm ³)	SGmix (eff)	Porositas (%)
1	Paving 1	512	631,5	1,233	143,86	0,991
2	Paving 2		625,4	1,221		0,992
3	Paving 3		622,1	1,215		0,992



Grafik 1.4 Pengujian Nilai Porositas *Paving Block*

Terlihat pada grafik 1.4, *paving block 2* dan *paving block 3* menghasilkan nilai porositas tertinggi sebesar 0,992 %, kemudian *paving block 1* dengan nilai terkecil yaitu 0,991 %. Selanjutnya, rata-rata porositas sebesar 0,992 MPa.

e. Hasil analisis

Hasil analisis menunjukkan bahwa *paving block 2* memiliki performa terbaik dalam hal kuat tekan, kadar penyerapan air, dan porositas. *Fly ash* sebagai pengisi (*filler*) berkontribusi signifikan dalam meningkatkan karakteristik fisik *paving block*, menjadikannya pilihan yang baik untuk digunakan dalam pembuatan material paving. Penelitian ini memberikan gambaran yang jelas tentang potensi penggunaan bahan baku alternatif dalam industri konstruksi, serta pentingnya pengujian laboratorium untuk memastikan kualitas material yang dihasilkan.

3.1. Gambar

DOKUMENTASI



Gambar 1.7 Uji Kuat Tekan *Paving Block 1*



Gambar 1.8 Uji Kuat Tekan *Paving Block 2*



Gambar 1.9 Uji Kuat Tekan *Paving Block* 3



Gambar 1.10 Berat Kering *Paving Block* 1



Gambar 1.11 Berat Kering *Paving Block* 2



Gambar 1.12 Berat Kering *Paving Block* 3



Gambar 1.13 Berat basah *Paving Block* 1 setelah di rendam 3 mm air



Gambar 1.14 Berat basah *Paving Block* 2 setelah di rendam 3 mm air



Gambar 1.15 Berat basah Paving Block 3 setelah di rendam 3mm air



Gambar 1.16 Berat *Paving Block* 1 setelah di rendam 24 jam



Gambar 1.17 Berat *Paving Block* 2 setelah di rendam 24 jam



Gambar 1.18 Berat *Paving Block* 3 setelah di rendam 24 jam



Gambar 1.19 Pengujian Berat Dalam Air



Gambar 1.20 Pengujian Penyerapan Air

3.2. Rumus Matematika

$$\sigma^1 b = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana :

- $\sigma^1 b$ = Kuat tekan paving block (MPa)
- P = Beban maks yang diberikan sampai *paving block* hancur (N)
- A = Luas penampang tekan paving block (mm^2)

$$\sigma^1 bp = \frac{\sigma^1 b}{Nbp} \quad (2)$$

Dimana :

- $\sigma^1 bp$ = Kuat tekan rata-rata *paving block* (Mpa)
- Nbp = Jumlah benda uji

$$Va = \frac{Wr - Wo}{\gamma_{air}} \quad (3)$$

$$Va = \frac{Wr - Wo}{\gamma_{air}}$$

$$Vpa = \frac{Va}{Vbp} \times 100\%$$

Dimana :

- Wr = Berat benda uji setelah direndam air 24 jam (gr)
- Wo = Berat benda uji kering (gr)
- γ_{air} = Berat jenis air (1 gram/cm^3)
- Vpa = Presentase volume penyerapan air oleh paving block (%)
- Vbp = Volume paving block (cm^3)
- Va = Volume air yang terserap oleh paving block (cm^3)

Kemudian peneyerapan air rata rata *paving block* dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Vpar = \frac{Vpa}{Nbp} \quad (4)$$

- Vpar = Volume penyerapan air rata rata (%)
- Nbp = Jumlah sample *paving block*

$$IRS = \frac{W.wet - Wo}{A} \quad (5)$$

Dimana :

IRS	=	Tingkat penyerapan awal pada <i>paving block</i> (kg/m^2 .menit)
W_{wet}	=	Berat benda uji setelah direndam air setinggi 3 mm selama 1 menit (kg)
W_o	=	Berat benda uji kering (kg)
A	=	Luasan area sample yang terendam (m^2)

$$D = \frac{\text{Berat di dalam air}}{\text{Volume}} \quad (6)$$

Dimana :

D	=	Kepadatan (<i>Density</i> = D)
-----	---	---------------------------------

$$(P)\% = \left(1 - \frac{D}{SG_{mix}}\right) \times 100\% \quad (7)$$

4. Kesimpulan

Pada pengujian kuat tekan, *paving block* 2 memiliki nilai tertinggi sebesar 33,6 MPa, diikuti oleh *paving block* 1 dengan 30,469 MPa, dan *paving block* 3 dengan 25,781 MPa. Semua nilai ini memenuhi ketentuan SNI 03-0691-1996 dan termasuk dalam kategori mutu B. Kelebihan dari hasil ini adalah semua paving block memiliki kekuatan yang cukup untuk digunakan sesuai dengan standar. Namun *paving block* 3 menunjukkan kekuatan yang lebih rendah sehingga mungkin memerlukan perbaikan dalam komposisi campuran atau proses produksinya. Pengujian kadar penyerapan air menunjukkan bahwa *paving block* 2 memiliki nilai tertinggi sebesar 0,0703 (Vpa), sedangkan *paving block* 1 dan *paving block* 3 masing-masing memiliki nilai 0,0648 (Vpa) dan 0,0645 (Vpa). Nilai penyerapan air yang lebih tinggi pada *paving block* 2 menunjukkan bahwa meskipun memiliki kuat tekan yang baik, daya tahannya terhadap air perlu diperhatikan lebih lanjut. Nilai Indeks Retak Serapan (IRS) menunjukkan bahwa *paving block* 3 memiliki nilai tertinggi sebesar 0,03125 kg/cm^2 , sementara *paving block* 1 dan *paving block* 2 memiliki nilai yang sama yaitu 0,00781 kg/cm^2 . Nilai IRS yang tinggi pada *paving block* 3 menunjukkan ketahanan terhadap retak yang baik, namun *paving block* 1 dan 2 perlu ditingkatkan dalam hal ini. Pengujian porositas menunjukkan bahwa *paving block* 2 dan *paving block* 3 memiliki nilai tertinggi sebesar 0,992%, sedangkan *paving block* 1 memiliki nilai 0,991%. Nilai porositas yang tinggi menunjukkan kemampuan serapan air yang baik, namun bisa juga menunjukkan potensi kelemahan struktural jika tidak diimbangi dengan kekuatan material yang cukup. Untuk meningkatkan kualitas paving block, beberapa langkah perbaikan perlu diambil. Pertama, untuk *paving block* 3, disarankan melakukan analisis lebih lanjut pada komposisi campuran dan proses produksinya guna meningkatkan kekuatan tekan dan daya tahannya. Selanjutnya, meskipun *paving block* 2 menunjukkan kekuatan yang baik, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan daya tahan terhadap air, mengingat kadar

penyerapan airnya yang lebih tinggi. Selain itu, *paving block* 1 dan 2 juga perlu dikembangkan untuk meningkatkan nilai Indeks Retak Serapan (IRS), sehingga ketahanan terhadap retak dapat ditingkatkan. Terakhir, pemantauan berkelanjutan terhadap porositas *paving block*, terutama untuk *paving block* 2 dan 3, sangat penting guna memastikan bahwa kekuatan material tetap terjaga seiring dengan kemampuan serapan air yang baik

Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan artikel "Uji Karakteristik Paving Block dengan Campuran Filler Fly Ash" ini hingga selesai. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari semua pihak, cukup sulit bagi penulis artikel ini. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada ibu Putu Cinthya Pratiwi Kardita, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang ikut mendukung dan membantu kelancaran penulis dalam melaksanakan penulisan artikel ini sehingga penulisan artikel dapat diselesaikan. Penulis menyadari dalam penulisan artikel ini masih terdapat kekurangan, untuk itu diharapkan kritik dan saran yang membangun untuk dapat menyempurnakan penulisan artikel ini. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan semoga penulisan artikel ini dapat membantu bagi semua pihak yang membutuhkan.

Daftar Rujukan

- BSNi. (1996). Bata Beton (Paving block). 03-0691.
- Endah Safitri, D. (2009, Januari). Kajian Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Fly Ash) Pada Produksi Paving Block. IX.
- Klarens, K. (n.d.). PEMANFAATAN BOTTOM ASH DAN FLY ASH TIPE C SEBAGAI BAHAN PENGGANTI DALAM PEMBUATAN PAVING BLOCK.
- Koraia, M. D. (2018, September). Pengaruh Penambahan Fly Ash dalam Campuran Beton sebagai Substitusi Semen Ditinjau dari Umur dan Kuat Tekan.
- Muhammad Ichsan, S. (2020, Juli 2). PENENTUAN PERSENTASE KOMPOSISI DARI FRAKSI AGREGAT UNTUK GRADASI CAMPURAN AC-WC (ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE) DENGAN APLIKASI MICROSOFT EXCEL.
- Nur Aini Widya Samawi, Y. A. (2024). ANALISIS MUTU BETON BERBAHAN FABA (FLY ASH BOTTOM ASH) SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS DENGAN MENGACU PROPORSI CAMPURAN PADA ANALISA HARGA SATUAN PEKERJA. IV.
- Nurzal, J. M. (2013, Oktober). Pengaruh Komposisi Fly Ash terhadap Daya Serap Air pada Pembuatan Paving Block.
- Panjaitan, F. (2022, Agustus 22). Analisis Kuat Tekan dan Serapan Air Material Paving Block Akibat Variasi Komposisi Fly Ash.
- pr1meEo. (2023, Juni 12). Material Pembuatan Paving Block: Mengenal Bahan-bahan yang Berkualitas. *Paving Block*.
- Rifai, M. H. (2023, Mei 18). Semen: Komposisi, Jenis, Fungsi & Proses Produksinya. *Pengecoran*.
- Roni Adi Wijaya, S. W. (2021, Maret 26). Fly Ash Limbah Pembakaran Batubara sebagai Zat Mineral Tambahan (Additive) untuk Perbaikan Kualitas dan Kuat Tekan Semen.
- Rudy Wibisono, A. R. (2016, Desember 31). PENGARUH PENGGUNAAN TERAK dan FLY ASH SEBAGAI BAHAN TAMBAH TERHADAP KUAT TEKAN PAVING BLOCK SEBAGAI SUPLEMEN BAHAN AJAR MATERI MATA KULIAH TEKNOLOGI BETON PTB FKIP UNS.
- Sri Wiwoho Mudjanarko, N. R. (2018, Nopember). Panduan Pembuatan PAVING Eksperimen (Dilengkapi Artikel Publikasi Paving).
- Ulum, M. (2014). Karakteristik Fisik dan Kimia Fly Ash dari Perusahaan Ready Mix Beton dan Limbah Pabrik terhadap Sifat Mekanik Pasta dan Mortar.