

PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN *POLYMER FIBER* TERHADAP KUAT TEKAN DAN DAYA SERAP AIR PAVING BLOCK

Angga Putra Fietnanto^{1*}, Anang Kristianto²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Indonesia
e-mail: *12121041@maranatha.ac.id (corresponding author)

Abstrak

Salah satu alternatif perkerasan yang banyak digunakan adalah paving block. Paving block merupakan suatu komposisi beton semen Portland yang diberi zat aditif lainnya, yang dicetak dengan bentuk tertentu dan digunakan untuk permukaan jalan, trotoar, dan area parkir. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu merupakan metode eksperimental. Dimana metode ini memiliki tujuan menguji pengaruh variabel terhadap variabel lain atau menguji hubungan sebab-akibat antara variabel. Nilai kuat tekan tertinggi untuk metode perawatan karung goni didapat ada pada hari ke 28 pada variabel P4-10-F dengan nilai kuat tekannya sebesar 38,6 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi untuk metode tanpa perawatan didapat ada pada hari ke 56 pada variabel P4-10-F dengan nilai kuat tekannya sebesar 27,9 MPa. Fly ash yang merupakan bahan tambahan dalam pembuatan paving block dapat digunakan untuk komposisi 1:5 dan tidak cocok untuk komposisi 1:4. Polymer fiber merupakan bahan tambahan selain fly ash pada pembuatan paving block ini dapat digunakan karena sangat berguna untuk menaikkan kualitas dari paving block itu sendiri. Perawatan dengan karung goni memiliki nilai terbaik dibanding tanpa perawatan. Peningkatan nilai kuat tekan dengan tambahan polymer fiber ini meningkat sekitar 1-50%.

Kata kunci— Paving Block, Kuat Tekan, Fly Ash, Polymer Fiber, Daya Serap Air.

Abstract

One of the widely used pavement alternatives is paving blocks. Paving blocks are a composition of Portland cement concrete with other additives, molded into specific shapes and used for road surfaces, sidewalks, and parking areas. The method used in this research is experimental. This method aims to test the influence of one variable on another or to test the cause-and-effect relationship between variables. The highest compressive strength value for the gunny sack curing method was obtained on the 28th day for variable P4-10-F with a compressive strength value of 38.6 MPa. The highest compressive strength value for the no-curing method was obtained on the 56th day for variable P4-10-F with a compressive strength value of 27.9 MPa. Fly ash, an additive in the manufacture of paving blocks, can be used for a 1:5 composition and is not suitable for a 1:4 composition. Polymer fiber, an additional material besides fly ash in the manufacture of these paving blocks, can be used because it is very useful for increasing the quality of the paving blocks themselves. Curing with gunny sacks has the best value compared to no curing. The increase in compressive strength with the addition of polymer fiber increased by about 1-50%.

Keywords— Paving Block, Compressive Strength, Fly Ash, Polymer Fiber, Water Absorption Capacity.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur yang pesat di Indonesia mendorong kebutuhan akan material perkerasan jalan yang berkualitas dan tahan lama. Salah satu alternatif perkerasan yang banyak digunakan adalah *paving block*. *Paving block* merupakan suatu komposisi beton semen *Portland* yang diberi zat aditif lainnya, yang dicetak dengan bentuk tertentu dan digunakan untuk permukaan jalan, trotoar, dan area parkir. *Paving block* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan perkerasan konvensional, seperti pemasangan yang relatif mudah, biaya perawatan yang lebih murah, serta kemampuan untuk menahan beban yang cukup berat. Selain itu, *paving block* juga memiliki keunggulan estetika dengan berbagai pilihan warna dan pola yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

Meskipun memiliki beberapa keunggulan, *paving block* konvensional juga memiliki beberapa kelemahan, seperti rendahnya kuat tekan dan daya serap air yang tinggi. Kuat tekan yang rendah dapat menyebabkan *paving block* mudah retak atau hancur ketika menerima beban berat, sementara daya serap air yang tinggi dapat menyebabkan *paving block* menjadi licin dan berpotensi membahayakan pengguna jalan. Selain itu, *paving block* konvensional juga memiliki ketahanan yang kurang baik terhadap kondisi lingkungan seperti cuaca ekstrem dan paparan bahan kimia. Hal ini dapat menyebabkan *paving block* cepat aus dan memerlukan penggantian dalam waktu yang lebih singkat.

Untuk mengatasi permasalahan pada *paving block* konvensional, telah banyak dilakukan upaya untuk meningkatkan kualitas *paving block* dengan menggunakan bahan tambahan. Salah satu bahan tambahan yang berpotensi adalah *fly ash* dan *polymer fiber*. *Fly ash* merupakan hasil sampingan dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap. *Fly ash* memiliki sifat pozzolanik yang dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan *paving block* terhadap serangan kimia. Selain itu, *fly ash* juga dapat meningkatkan workability (kemudahan pengerjaan) dari campuran beton. Sementara itu, *polymer fiber* merupakan serat sintesis yang terbuat dari bahan polimer seperti *polypropylene* atau *polyethylene*. Penambahan *polymer fiber* dalam campuran beton dapat meningkatkan kuat tarik, kuat tekan, dan ketahanan terhadap retak.

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan untuk mengkaji pengaruh *fly ash* dan *polymer fiber* terhadap

sifat-sifat *paving block*. Namun, penelitian tersebut umumnya hanya berfokus pada salah satu bahan tambahan saja, baik *fly ash* (Purwono, A.M, Wicaksono, & Utomo, 2020) maupun *polymer fiber*. *Fiber* yang sering digunakan dalam penelitian yaitu *fiber* alam (Fauzi, Handayani, Trinugroho, & Nurchasanah, 2023). Penelitian mengenai *paving block* ini terus berkembang pesat seiring meningkatnya kebutuhan dengan material konstruksi yang ramah lingkungan, kualitas yang tinggi, dan biaya yang hemat.

Penelitian menggunakan bahan alami masih sering diteliti karena ramah lingkungan serta biaya yang hemat. Tidak hanya itu ada juga penelitian dengan bahan limbah industri seperti plastik (Sudarno, Nicolaas, & Assa, 2021), karet ban (Iduwin, Putri, & Purnama, 2023), dan lainnya. Penelitian yang mengkombinasikan kedua bahan tambahan seperti *fly ash* dan *polymer fiber* hingga saat ini masih terbatas. Karena *fly ash* merupakan limbah industri dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batubara atau semacamnya sehingga hal ini dapat dimanfaatkan, serta *polymer fiber* sebagai meningkatkan mutu agar mendapat hasil yang lebih kuat. Karena hal tersebut sangat jarang ditemukan penelitian dengan keistimewaan menggabungkan kedua bahan tersebut yang di mana pada kesempatan kali ini saya melakukan penelitian tersebut.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian tentang pengaruh penggunaan *fly ash* dan *polymer fiber* secara bersamaan terhadap kuat tekan dan daya serap air *paving block* menjadi sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi dalam menghasilkan *paving block* dengan kualitas yang lebih baik, yaitu memiliki kuat tekan yang tinggi dan daya serap air yang rendah. Dengan tersedianya *paving block* berkualitas tinggi, diharapkan dapat meningkatkan keamanan dan kenyamanan pengguna jalan, serta memperpanjang umur *paving block* sehingga dapat menghemat biaya perawatan dan penggantian. Secara lebih luas, penelitian ini juga berkontribusi dalam mendukung pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan di Indonesia.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari dan menguji penggunaan material dalam pembuatan *paving block*.
2. Dengan berinovasi dari pengujian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya, dengan cara menambah material tambahan yaitu berupa serat.

3. Mengetahui hasil kuat tekan dari pengujian *paving block* dengan material tambahan *fly ash* dan serat.
4. Mengetahui pengaruh *fly ash* dan *polymer fiber* terhadap *paving block*.

A. Fly Ash

Abu terbang (*Fly Ash*) merupakan produk sampingan dari pembakaran batubara PLTU. ASTM C618 mendefinisikan *fly ash* sebagai residu halus yang dihasilkan dari pembakaran batubara bituminous atau subbituminous yang diangkut oleh gas buang dari zona pembakaran ke sistem pengumpulan partikel. Abu terbang memiliki sifat menyerap air lebih banyak daripada semen, hal ini dikarenakan abu terbang memiliki struktur amorf lebih tinggi daripada semen yang banyak didominasi oleh struktur kristal. Abu terbang memiliki sifat pozzolan yang berarti suatu bahan yang mengandung silika atau alumina silika yang sangat halus yang dapat bereaksi secara kimia dengan kapur dan air pada temperatur normal untuk membentuk bahan perekat meskipun tidak memiliki sifat perekat pada dirinya sendiri.

Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina, yang tidak mempunyai sifat semen, akan tetapi dalam bentuk halus dan dengan adanya air dapat menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air (Tjokrodinuljo, 1996). *Fly ash* memiliki unsur kimia berupa silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), ferro oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), serta mengandung unsur tambahan lain berupa magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon.

B. Polymer Fiber

Serat (*Fiber*) pada umumnya merupakan material tambahan yang penting, karena sangat berguna untuk memperbaiki atau menaikkan sifat mekanik beton. Sifat mekanik yang dimaksud yaitu kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur. Serat memiliki beberapa jenis, yaitu:

1. *Fiber Metal* yaitu berupa serat besi dan serat stainless steel.
2. *Fiber Polymeric* yaitu berupa polypropylene dan serat serat nilon.
3. *Fiber Mineral* yaitu berupa serat kaca atau *fiberglass*.
4. *Fiber Alam* yaitu berupa serat kelapa dan serat nanas.

Polymer fiber sendiri merupakan serat sintetis yang terbuat dari bahan polimer dan digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran beton. *Polymer fiber* memiliki sifat yang kebal terhadap serangan kimia dan dikarenakan permukaannya tidak basah hal ini dapat mencegah terjadinya penggumpalan serat selama pengadukan sehingga bagus untuk *mix design* seperti pembuatan *paving block* ini.

C. Paving Block

Paving block adalah jenis bahan bangunan yang dibuat dengan memadatkan campuran semen, pasir (Agregat Halus), air, dan bahan tambahan lainnya menjadi blok kecil yang saling terhubung. Menurut SNI 03-0691-1989, *paving block* merupakan suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu *paving block* itu sendiri. *Paving block* memiliki permukaan *semi permeable* atau *permeable* yang dapat memungkinkan air masuk ke dalam tanah. *Paving block* sendiri memiliki beberapa fungsi, yaitu:

1. Mempercantik lingkungan, hal ini dikarenakan *paving block* tersedia dalam berbagai warna, bentuk, dan tekstur.
2. Daya tahan permukaan meningkat, hal ini terjadi karena *paving block* memiliki daya tahan yang lama dan kuat dibandingkan dengan aspal ataupun beton, sehingga tidak mudah retak.
3. Mudah dalam perawatan, hal ini disebabkan *paving block* mudah diperbaiki jika terjadi kerusakan.
4. Ramah lingkungan, hal ini terjadi karena *paving block* dapat dibuat dari bahan-bahan daur ulang seperti abu terbang (*fly ash*).

Kuat tekan merupakan kemampuan benda uji untuk menahan beban tekan tanpa mengalami kerusakan. Dan dalam hal ini kita dapat mengetahui nilai kapasitas yang didapat pada sebuah benda uji tersebut. Mutu hasil kuat tekan *paving block* ditentukan pada hasil kuat tekan yang didapat dan di lihat pada SNI. Menurut SNI 03-0691-1996 mutu *paving block* diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Bata beton (*paving block*) mutu A: Digunakan untuk jalan.
2. Bata beton (*paving block*) mutu B: Digunakan untuk peralatan parkir.

3. Bata beton (*paving block*) mutu C: Digunakan untuk pejalan kaki.
4. Bata beton (*paving block*) mutu D: Digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

Paving block juga dapat diklasifikasikan ke dalam sifat-sifat fisika, sehingga dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

TABEL 1. Tabel Sifat-sifat Fisika

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks. (%)
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

(Sumber: SNI 03-0961-1996)

Faktor-faktor yang dapat memengaruhi kuat tekan *paving block*, yaitu:

1. Komposisi campuran, dimana pastinya komposisi antar semen, pasir, air, dan bahan tambahan lainnya akan sangat memengaruhi kuat tekan *paving block* itu sendiri.
2. Proses pembuatan, dimana tentunya dalam pembuatan *paving block* harus tepat, seperti pencampuran bahan yang homogen, kerapian dari pencetakannya, dan proses curing yang baik, itu semua akan meningkatkan kuat tekan *paving block*.
3. Usia *paving block*, pada umumnya kuat tekan dari *paving block* akan terus meningkan seiring dengan bertambahnya usia dari *paving block* itu sendiri. Hal ini dapat disebabkan karena terjadinya proses hidrasi semen yang berkelanjutan.

Dalam pengujian kuat tekan, *paving block* diuji dengan menggunakan mesin tekan hidrolik. *Paving block* yang akan diuji, ditekan dengan beban yang semakin besar hingga *paving block* tersebut mengalami kerusakan. Nilai kuat tekan *paving block* dihitung berdasarkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh *paving block* itu sendiri sebelum mengalami kerusakan. Perhitungan kuat tekan ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$f_c' = \frac{F}{A} \tag{1}$$

Keterangan:

- Fc' : Kuat tekan benda uji (kg/cm²) atau dapat dikonversi ke (MPa atau N/mm²).
- F : Beban tekan maksimum (kg) atau (N).
- A : Luas bidang permukaan (mm²).

Daya serap air merupakan kemampuan *paving block* untuk menyerap air. Daya serap air pada *paving block* yang tergolong tinggi dapat menyebabkan *paving block* mudah mengembang dan menyusut, sehingga dapat menimbulkan retak dan pecah. Daya serap air diperhitungkan dalam satuan persen (%), nilai dari daya serap air *paving block* yang rendah menunjukkan bahwa *paving block* tidak mudah menyerap air. Faktor-faktor yang memengaruhi daya serap air *paving block*, yaitu:

1. Komposisi campuran, dari bahan campuran yang digunakan akan memengaruhi daya serap air. Contohnya seperti penggunaan bahan tambahan abu terbang (*fly ash*) yang dimana memiliki sifat menyerap air lebih banyak dari semen.
2. Proses pembuatan, tentunya dengan pencampuran bahan yang homogen, pencetakan yang rapi, dan proses curing yang baik, akan menurunkan daya serap air pada *paving block*.
3. Jenis material, pastinya jenis material ini juga memengaruhi daya serap air. Contohnya *paving block* beton pada umumnya memiliki daya serap air yang tergolong rendah daripada *paving block asphalt*.

Pada umumnya pengujian daya serap air, *paving block* akan diuji dengan cara merendam *paving block* dalam air selama 24 jam. Setelah itu, *paving block* akan dikeringkan dan ditimbang kembali. Daya serap air *paving block* dihitung berdasarkan selisih berat *paving block* sebelum dan sesudah direndam, kemudian dibagi dengan berat *paving block* sebelum direndam dan dikalikan dengan 100%. Atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{B - A}{A} \times 100\% \tag{2}$$

Keterangan:

- B : Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara atau berat benda uji basah.

A : Berat benda uji kering.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu merupakan metode eksperimental. Dimana metode ini memiliki tujuan menguji pengaruh variabel terhadap variabel lain atau menguji hubungan sebab-akibat antara variabel.

A. Komposisi Mortar Untuk Material Paving Block

Pada penelitian ini komposisi perlu diperhitungkan berat semen, pasir (agregat halus), *fly ash*, dan *polymer fiber*. Terdapat 2 spesimen utama dalam pembuatan benda uji yaitu P5 (1:5) dan P4 (1:4). Spesimen benda uji ini dibedakan menjadi 10 macam. Berikut rincian komposisi penggunaan material pembuatan benda uji:

TABEL 2. Komposisi dalam Pembuatan *Paving Block* di Laboratorium

Variabel	<i>Fly Ash</i> (%)	<i>Polymer Fiber</i> (%)	Pasir (gr)	Semen (gr)	<i>Fly Ash</i> (gr)	<i>Polymer Fiber</i> (gr)	Air (ml)
P5-00-00	0	0	1571	314	0	0	160
P5-10-00	10	0	1571	283	31	0	160
P5-10-F	10	1/40	1571	283	31	0,51	160
P5-20-00	20	0	1571	251	63	0	160
P5-20-F	20	1/40	1571	351	63	0,51	160
P4-00-00	0	0	1529	382	0	0	157
P4-10-00	10	0	1529	344	38	0	157
P4-10-F	10	1/40	1529	344	38	0,52	157
P4-20-00	20	0	1529	306	76	0	157
P4-20-F	20	1/40	1529	306	76	0,52	157

Setiap spesimen diatas memiliki 6 buah sampel. Ke enam sample tersebut mencakup metode perawatan karung goni dan tanpa perawatan. Seluruh sample berukuran 5 x 5 x 5 cm.

B. Mempersiapkan Alat dan Bahan Paving Block di Laboratorium

Pembuatan benda uji memerlukan persiapan dalam segi alat dan bahan yang akan digunakan, sehingga dibutuhkan juga perhitungan masing-masing beratnya yang akan digunakan. Terutama alat yang digunakan jika tidak ada di lab maka harus mempersiapkan alat tersebut. Alat-alat yang dibutuhkan selama pembuatan benda uji *paving block* di laboratorium ini yaitu cawan/*pan*, timbangan ketelitian 0,1 gram & 0,01

gram, sendok semen, cetakan bekisting 5x5x5 cm, pelat besi, alat pemadat, baskom, kuas, *mixer*, palu karet, dan kubus kayu berukuran sama dengan cetakan bekisting (5 x 5 x 5 cm).

Polymer fiber yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu *polypropylene micro fiber* kratos 12 mm. Kratos *micro fiber* merupakan perkuatan serat sintetik yang terbuat dari polimide 6.6 dan sesuai dengan standar EN 14889-2 kelas 1. *Micro fiber* ini akan memberikan hasil yang bagus dalam mencegah retak susut plastis dan susut jangka panjang beton dibandingkan dengan serat polypropylene dan basalt. Komposisi *polymer fiber* yang digunakan pada penelitian ini diambil referensi dari website kratos nya sendiri dan menemukan bahwa menggunakan 600 gr/m³ beton. Dimana berat jenis *paving block* dan beton berbeda, sehingga perlu diperhitungkan komposisi untuk *paving block* ini sendiri. Perhitungan komposisi *polymer fiber* untuk *paving block* sebagai berikut:

$$\frac{600 \text{ gr}}{m^3} \div \frac{2,4 \text{ gr}}{cm^3} = \frac{0,6 \text{ kg}}{2400 \text{ kg}} = 0,00025$$

$$0,00025 \times 100\% = 0,025\% \text{ (Dari Berat Mortar)}$$

Berat mortar yang dimaksud adalah total berat untuk membuat 1 benda uji tersebut (Berat agregat halus, semen, air, dan bahan tambahan lainnya).

C. Proses Pembuatan Mortar Untuk Material Paving Block

Prosedur dalam pembuatan *paving block* sebagai berikut:

1. Penimbangan terhadap bahan-bahan serta komposisinya sesuai perhitungan yang telah dihitung.
2. Pencampuran pada semua bahan yang telah disiapkan. Pertama-tama masukkan agregat halus ke dalam mixer. Kedua masukkan semen *portland* ke dalam mixer. Ketiga masukkan *fly ash* yang telah diselesaikan ke dalam mixer. Ke-empat masukkan *polymer fiber* ke dalam mixer. Aduk ke-empat bahan tersebut dengan mixer hingga merata. Selanjutnya, hentikan mixer dan masukkan bahan terakhir yaitu air ke dalam mixer. Setelahnya, lanjutkan proses pengadukan dengan mixer hingga seluruh material tercampur dengan baik dan tidak terdapat gumpalan.



Gambar 1. Proses Pengadukan Bahan Pada Mixer

3. Menentukan waktu pengadukan agar setiap variabel mendapat perlakuan yang sama, sehingga hasil akan optimal.
4. Oleskan minyak atau oli pada bekisting yang akan digunakan.
5. Masukkan hasil adukan ke dalam bekisting sesuai dengan jumlah benda uji yang akan dibuat setiap variabel. Proses memasukkan adukan ke dalam bekisting dilakukan dengan pengisian 1/3 dari isi 1 benda uji. Setelahnya, dilakukan proses penumbukan sebanyak 5 kali setiap sisi bekisting dengan pelat besi yang tersedia. Setelahnya gunakan kubus kayu yang berbentuk sama dengan cetakan bekistingnya dengan cara menumbukkan sebanyak 25 kali menggunakan palu karet.



Gambar 2. Bekisting Mortar dan Hasil Adukan

6. Benda uji yang telah ditumbuk perlu di diamkan di suhu ruangan selama 24 jam agar benda uji jadi mengeras dan mengering.
7. Dilakukan proses perawatan (*curing*) selama waktu yang telah ditentukan yaitu 28 hari dan 56 hari. Proses perawatan ini dilakukan dengan 2 metode, pertama yaitu dengan menggunakan perawatan karung goni dan kedua dilakukan dengan tanpa perawatan. Proses karung goni

ini dilakukan dengan cara membungkus benda uji dengan karung goni lalu basahkan karung goni tersebut dan pastikan ditaruh di sebuah wadah sebagai tempat perawatannya. Tentu air pada wadah tersebut akan dikuras hingga menjadi sedikit ketika karung goni telah basah.



Gambar 3. Perawatan Karung Goni

D. Pengujian Daya Serap Air *Paving Block* pada Laboratorium

Pengujian daya serap air pada *paving block* berfungsi sebagai kemampuan terhadap benda uji dalam menyerap dan menampung air dalam struktur benda uji tersebut. Tentunya kepadatan dari sebuah benda uji akan mempengaruhi daya serap air tersebut. Prosedur pelaksanaan pengujian daya serap air sebagai berikut:

1. Sesuai dengan proses perawatan yang telah dilakukan yaitu dengan karung goni maka setelah proses perawatan tersebut diangkat dan di timbang agar mendapat berat basah dari benda uji tersebut.
2. Benda uji di biarkan pada suhu ruangan selama 3 hari. Hal ini dikarenakan benda uji masih basah pada 1-2 hari.
3. Timbang benda uji sebagai berat kering.

E. Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* pada Laboratorium

Pengujian kuat tekan *paving block* berfungsi sebagai mengetahui kualitas *paving block* itu sendiri dengan seberapa kuat benda uji menahan tekanan. Sama halnya seperti daya serap air kepadatan *paving block* akan mempengaruhi nilai kuat tekan itu sendiri. Prosedur pelaksanaan pengujian kuat tekan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan benda uji yang telah dirawat maupun tanpa perawatan sesuai waktu yang telah ditentukan.
2. Menghitung luas permukaan dari benda uji tersebut sebelum di uji tekan agar hasil lebih akurat.
3. Menggunakan alat tekan hidroaulis untuk proses pengujian tekan tersebut. Alat tekan hidroaulis pada laboratorium ini tidaklah digital, sehingga harus membaca jarum berada pada kuat tekan berapa.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Laboratorium

Pengujian kuat tekan *paving block* dilakukan sebanyak 2 kali yaitu 28 dan 56 hari. Dalam setiap variabel terdapat 3 sampel yang akan diuji dan dihitung kuat tekannya. Sesuai dengan prosedur pelaksanaan dan metode tekan menggunakan alat uji tekan hidroaulis dengan hasil pada tabel sebagai berikut:

TABEL 3. Data Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* dengan Metode Perawatan Karung Goni di Laboratorium

Variabel	UMUR & JUMLAH SAMPLE (PERAWATAN KARUNG GONI)			
	28 Hari		56 Hari	
	Kuat Tekan	Rata-rata	Kuat Tekan	Rata-rata
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
P5-00-00	10,9	10,8	11,7	13,1
	12,5		12,1	
	9,1		15,4	
P5-10-00	14,6	14,3	19,6	17,6
	15,8		17,4	
	12,5		15,8	
P5-10-F	16,0	15,9	19,6	20,7
	15,6		22,5	
	16,0		20,0	
P5-20-00	15,2	14,4	18,7	17,9
	15,8		17,5	
	12,2		17,4	
P5-20-F	18,2	20,0	19,1	19,0
	20,8		20,8	
	20,8		17,2	
P4-00-00	40,0	35,3	-	36,1
	30,0		36,9	
	36,0		36,0	
P4-10-00	34,2	32,3	25,2	32,7

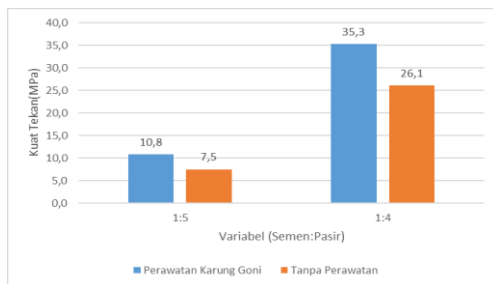
Variabel	UMUR & JUMLAH SAMPLE (PERAWATAN KARUNG GONI)			
	28 Hari		56 Hari	
	Kuat Tekan	Rata-rata	Kuat Tekan	Rata-rata
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
P4-10-F	35,8	38,6	36,9	37,0
	27,1		36,0	
	39,6		36,5	
P4-20-00	27,1	30,8	-	31,5
	32,1		31,7	
	33,3		31,2	
P4-20-F	31,2	31,2	33,3	32,1
	29,2		32,1	
	33,3		30,8	

TABEL 4. Data Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* dengan Metode Tanpa Perawatan di Laboratorium

Variabel	UMUR & JUMLAH SAMPLE (TANPA PERAWATAN)			
	28 Hari		56 Hari	
	Kuat Tekan	Rata-rata	Kuat Tekan	Rata-rata
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
P5-00-00	8,3	7,5	6,1	7,1
	6,2		8,3	
	7,9		6,8	
P5-10-00	11,3	11,3	10,8	10,5
	10,9		8,8	
	11,7		12,0	
P5-10-F	16,7	15,2	12,5	15,0
	13,0		17,2	
	15,8		15,2	
P5-20-00	16,0	13,3	12,4	12,5
	12,0		12,8	
	12,0		12,4	
P5-20-F	14,6	16,2	16,1	16,5
	17,4		16,7	
	16,7		16,7	
P4-00-00	26,0	26,1	27,2	27,6
	27,1		-	
	25,2		28,0	
P4-10-00	23,7	23,2	25,0	23,5
	24,2		21,7	
	21,7		23,7	
P4-10-F	26,2	26,2	28,3	27,9
	27,1		27,1	
	25,4		28,2	
P4-20-00	17,9	19,1	-	20,2
	20,0		20,8	

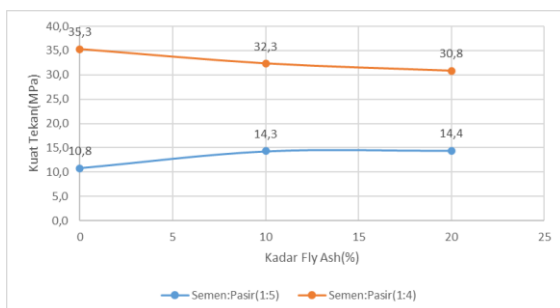
Variabel	UMUR & JUMLAH SAMPLE (TANPA PERAWATAN)			
	28 Hari		56 Hari	
	Kuat Tekan	Rata-rata	Kuat Tekan	Rata-rata
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
P4-20-F	19,5		19,5	
	21,7	23,1	23,2	22,2
	25,8		23,3	
21,7	20,0			

Pada tabel 3 dan 4 memiliki 10 spesimen yang akan di bahas. Spesimen pertama yaitu P5-00-00, P5 merupakan kode semen:pasir (1:5), yang tengah merupakan kode untuk kandungan *fly ash*, dan paling belakang merupakan kode untuk *fiber*. Untuk dibahas lebih dalam berikut akan ditampilkan beberapa grafik sebagai pembandingan antar variabel:



Gambar 4. Grafik Pengaruh Kadar Semen Pada Kuat Tekan 28 Hari

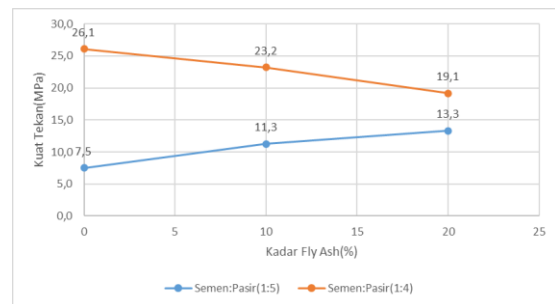
Pada gambar 4 variabel P5-00-00 (1:5) memiliki nilai kuat tekan terbesarnya ada pada metode perawatan karung goni yaitu sebesar 10,8 MPa. Nilai ini sesuai standar SNI termasuk ke dalam mutu D. Untuk variabel P4-00-00 atau 1:4 memiliki nilai kuat tekan terbesarnya ada pada metode karung goni yaitu sebesar 35,3 MPa. Nilai tersebut sudah sesuai standar dan termasuk ke dalam mutu A.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Dalam Penggunaan Fly Ash Dengan Metode Perawatan Karung Goni 28 Hari

Pada gambar 5 variabel P5 mengalami kenaikan secara beruntun. Mulai dari kandungan *fly ash* 0%, 10%, dan 20% secara bertahap memiliki nilai kuat tekan sebesar 10,8 MPa, 14,3 Mpa, dan 14,4 MPa. Nilai tersebut memenuhi standar SNI dengan mutu D, C, dan C. Hasil yang sama ditunjukkan penelitian lain, kandungan *fly ash* 0% hingga 20% memiliki kenaikan nilai kuat tekannya (Ariyani, & Laia, 2013)

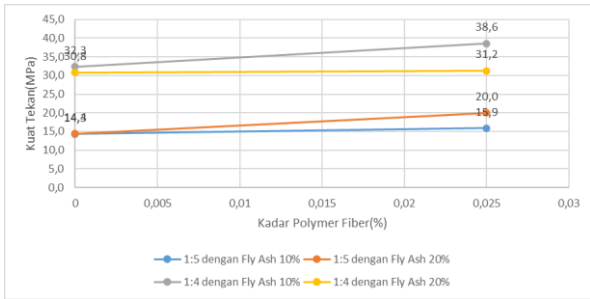
Pada variabel P4 mengalami penurunan secara berurutan hingga kadar *fly ash* 20%. Kadar *fly ash* 0%, 10%, dan 20% masing-masing memiliki nilai kuat tekan sebesar 35,3 MPa, 32,3 MPa, 30,8 MPa. Nilai tersebut sudah memenuhi standar SNI dengan mutu A, B, dan B. Grafik hasil uji kuat tekan 1:4, rata-rata untuk *paving block* balok dan kubus mengalami penurunan dari kadar *fly ash* 0% hingga 30% (Rahim, Mustakim, & Misbahuddin, 2024).



Gambar 6. Grafik Pengaruh Dalam Penggunaan Fly Ash Dengan Metode Tanpa Perawatan 28 Hari

Pada gambar 6 variabel P5 terlihat peningkatan yang beruntun hingga kadar *fly ash* 20%. Mulai dari kadar 0%, 10%, dan 20% masing-masing memiliki nilai kuat tekan sebesar 7,5 MPa, 11,3 Mpa, dan 13,3 MPa. Nilai untuk kadar *fly ash* 0% pada P5 tidak memenuhi standar SNI. Untuk nilai pada kadar *fly ash* 10% dan 20% memenuhi standar SNI dan termasuk ke dalam mutu D dan C.

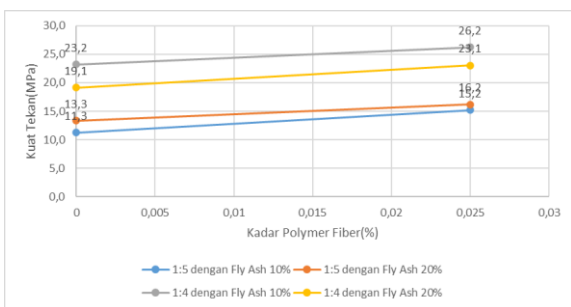
Pada variabel P4 mengalami penurunan hingga kadar *fly ash* 20%. Kadar *fly ash* 0%, 10%, dan 20% masing-masing memiliki nilai kuat tekan sebesar 26,1 MPa, 23,2 MPa, dan 19,1 MPa. Nilai kuat tekan tersebut sudah sesuai standar SNI dan ke 3 variabel tersebut termasuk ke dalam mutu B.



Gambar 7. Grafik Pengaruh Dalam Penggunaan *Polymer Fiber* Dengan Metode Perawatan Karung Goni 28 Hari

Di lihat pada gambar 7 variabel P5-10 atau 1:5 dengan kadar *fly ash* 10% memiliki peningkatan sebesar 11,19% ketika ditambahkan *polymer fiber* sebesar 1/40% atau 0,025%. Nilai kuat tekan dengan kandungan *polymer fiber* nya sebesar 15,9 MPa. Nilai tersebut sudah masuk standar SNI dengan mutu C. Untuk variabel P5-20 atau 1:5 dengan kadar *fly ash* 20% memiliki peningkatan sebesar 38,89%. Nilai kuat tekannya dengan kandungan *polymer fiber* sebesar 20,0 MPa. Nilai tersebut sudah masuk standar SNI dengan mutu B.

Pada variabel P4-10 atau 1:4 dengan kadar *fly ash* 10% memiliki peningkatan sebesar 19,50% ketika ditambahkan *polymer fiber* sebesar 1/40% atau 0,025%. Nilai kuat tekannya yaitu sebesar 38,6 MPa. Nilai tersebut sudah masuk standar SNI dengan mutu A. Untuk variabel P4-20 atau 1:4 dengan kadar *fly ash* 20% memiliki peningkatan sebesar 1,30% di mana memiliki nilai sebesar 31,2 MPa di mana sudah sesuai standar termasuk dalam mutu B.

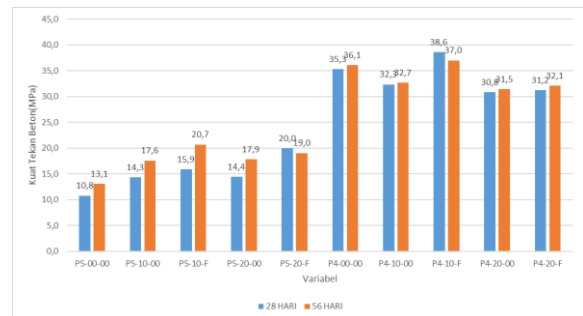


Gambar 8. Grafik Pengaruh Dalam Penggunaan *Polymer Fiber* Dengan Metode Tanpa Perawatan 28 Hari

Pada gambar 8 merupakan grafik dengan kandungan *polymer fiber* terdapat pada benda uji yang memiliki kandungan *fly ash* saja. Pada variabel P5-10 atau 1:5 dengan kadar *fly ash* 10% memiliki peningkatan sebesar 34,51% ketika ditambahkan

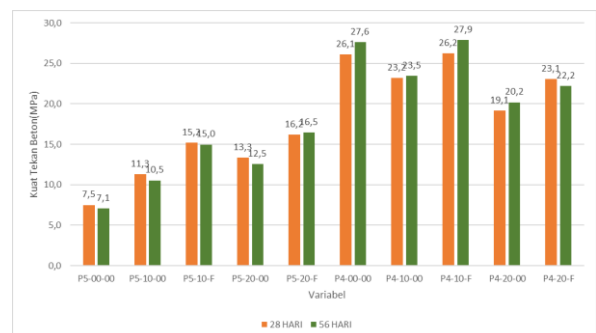
polymer fiber sebesar 1/40% atau 0,025%. Nilai kuat tekannya sebesar 15,2 MPa. Nilai tersebut sudah masuk standar SNI dengan mutu C. Pada variabel P5-20 atau 1:5 dengan kadar *fly ash* 20% memiliki peningkatan sebesar 21,80%. Nilai kuat tekannya sebesar 16,2 MPa. Nilai tersebut sudah masuk standar SNI dengan mutu C.

Pada variabel P4-10 atau 1:4 dengan kadar *fly ash* 10% memiliki peningkatan sebesar 12,93% ketika ditambahkan *polymer fiber* sebesar 1/40% atau 0,025%. Nilai kuat tekannya sebesar 26,2 MPa. Nilai tersebut sudah sesuai dengan standar SNI dengan mutu B. Pada variabel P4-20 atau 1:4 dengan kadar *fly ash* 20% memiliki peningkatan sebesar 21,52%. Nilai kuat tekannya sebesar 23,1 MPa. Nilai kuat tersebut sudah sesuai standar termasuk dalam mutu B.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan 28 & 56 Hari Dengan Perawatan Karung Goni

Pada gambar 9 variabel P5 memiliki kenaikan nilai kuat tekan pada hari ke 56. Pada variabel P4 adanya peningkatan dan penurunan nilai kuat tekan pada hari ke 56. Namun penurunan tersebut tidaklah jauh. Dari gambar 11, grafik tersebut menunjukkan nilai tertinggi yang didapat ada pada variabel P4-10-F. Nilai kuat tekannya sebesar 38,6 MPa. Nilai tersebut sudah memenuhi standar SNI dan masuk ke dalam mutu A.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan 28 & 56 Hari Tanpa Perawatan

Pada gambar 10 di atas pada hari ke 56 memiliki data bervariasi ada yang menaik maupun menurun. Penurunan tersebut tidaklah jauh dan kenaikan tersebut juga tidaklah jauh. Dari grafik tersebut terlihat nilai kuat tekan tertingginya ada pada variabel P4-10-F. Nilai kuat tekannya sebesar 27,9 MPa. Nilai tersebut sudah memenuhi standar SNI termasuk mutu B.

B. Hasil Pengujian Daya Serap Air Paving Block Laboratorium

Pada pengujian daya serap air dilakukan dengan pengeringan pada suhu ruangan selama 2 hari sebelum pengujian kuat tekan, hal ini dikarenakan pada jika dilakukan pengeringan pada suhu ruangan selama 1 hari, benda uji masih terlihat cukup basah sehingga hal ini dapat mengurangi kuat tekan dari benda uji itu sendiri. Berikut hasil pengujian daya serap air selama 28 hari:

TABEL 5. Data Pengujian Daya Serap Air 28 Hari

Variabel	Daya Serap Air	
	28 Hari	
	Kadar Resapan	Rata-rata
	(%)	(%)
P5-00-00	5,22%	5,44%
	6,04%	
	5,07%	
P5-10-00	4,96%	4,92%
	5,62%	
	4,17%	
P5-10-F	2,94%	3,03%
	3,02%	
	3,14%	
P5-20-00	4,01%	4,00%
	5,50%	
	3,58%	
P5-20-F	2,48%	3,02%
	2,96%	
	3,62%	
P4-00-00	2,37%	1,99%
	1,99%	
	1,62%	
P4-10-00	2,33%	2,25%
	2,01%	
	2,41%	
P4-10-F	2,11%	2,01%
	1,77%	

Variabel	Daya Serap Air	
	28 Hari	
	Kadar Resapan	Rata-rata
	(%)	(%)
P4-20-00	2,16%	3,11%
	3,51%	
	3,11%	
P4-20-F	2,69%	3,38%
	3,45%	
	3,16%	
	3,55%	

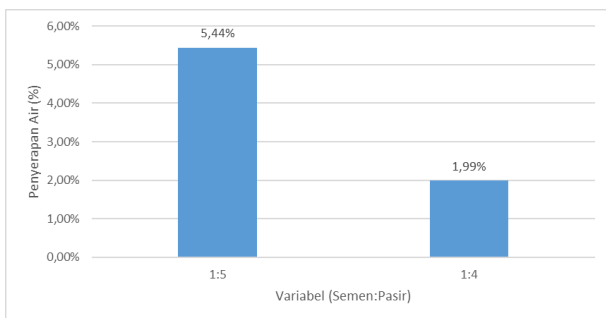
Pada tabel 5 pada hari ke 28 memiliki kuat tekan tertinggi ada pada variabel P4-10-F di mana memiliki nilai sebesar 38,6 MPa dan dari tabel 5 variabel tersebut memiliki daya serap air sebesar 2,01% di mana berdasarkan SNI variabel tersebut masuk dalam mutu A, karena syarat mutu A untuk daya serap maksimum bernilai 3%.

TABEL 6. Data Pengujian Daya Serap Air 56 Hari

Variabel	Daya Serap Air	
	28 Hari	
	Kadar Resapan	Rata-rata
	(%)	(%)
P5-00-00	4,92%	4,45%
	4,06%	
	4,36%	
P5-10-00	3,36%	3,50%
	3,49%	
	3,64%	
P5-10-F	2,72%	2,90%
	2,65%	
	3,33%	
P5-20-00	3,89%	3,75%
	4,02%	
	3,35%	
P5-20-F	3,01%	2,98%
	2,61%	
	3,32%	
P4-00-00	3,11%	2,77%
	2,58%	
	2,62%	
P4-10-00	3,01%	2,96%
	2,67%	
	3,19%	
P4-10-F	2,80%	2,86%
	2,71%	

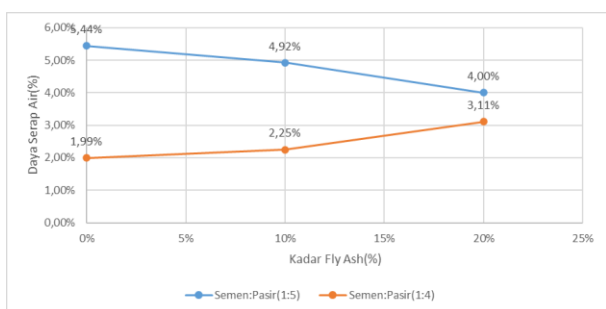
Variabel	Daya Serap Air	
	28 Hari	
	Kadar Resapan	Rata-rata
	(%)	(%)
P4-20-00	3,07%	4,09%
	3,77%	
	4,33%	
P4-20-F	4,17%	3,49%
	3,18%	
	3,58%	
	3,72%	

Dari tabel 6 pada hari ke 56 nilai kuat tekan tertingginya yaitu pada variabel P4-10-F sebesar 37,0 MPa dan pada tabel 6 variabel tersebut memiliki daya serap air sebesar 2,86%. Nilai daya serap air dan kuat tekan tersebut sudah masuk standar SNI termasuk ke dalam mutu A.



Gambar 11. Grafik Pengaruh Kadar Semen Terhadap Daya Serap Air 28 Hari

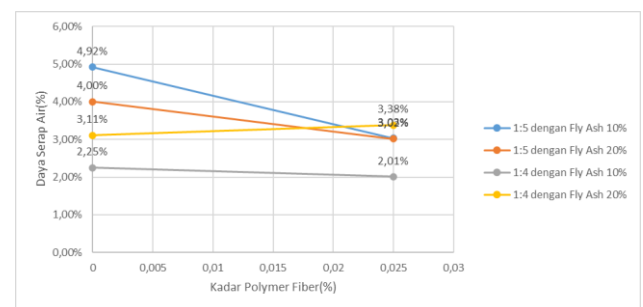
Pada gambar 11 di atas merupakan hasil grafik pengaruh kadar semen terhadap daya serap air. Hasil menunjukkan nilai yang lebih baik ada pada P4-00-00 atau 1:4. Nilai daya serap air nya sebesar 1,99%. Nilai tersebut sudah masuk dalam standar SNI dengan mutu A.



Gambar 12. Grafik Pengaruh Dalam Penggunaan Fly Ash Terhadap Daya Serap Air 28 Hari

Gambar 12 di atas menunjukkan hasil grafik daya serap air dalam penggunaan *fly ash*. Pada variabel P5 atau 1:5 memiliki nilai daya serap air yang menurun secara beruntun. Kadar *fly ash* 0%, 10%, dan 20% pada variabel P5 masing-masing memiliki nilai sebesar 5,44%, 4,92%, dan 4,00%. Ke tiga hasil tersebut masuk dalam standar SNI dengan mutu B. Pada penelitian lain memiliki hasil yang sama (Nurzal & Mahmud, 2013).

Pada variabel P4 atau 1:4 memiliki nilai daya serap air yang meningkat secara bertahap. Kadar *fly ash* 0%, 10%, dan 20% pada variabel P4 menunjukkan hasil nilai sebesar 1,99%, 2,25%, dan 3,11%. Nilai tersebut sudah sesuai dengan standar SNI. Untuk kadar *fly ash* 0% dan 10% memiliki mutu A dan kadar *fly ash* 20% memiliki mutu B. Menurut Erwin Rommel, Dini Kurniawati, dan Arman Putra Pradibta 2014, *fly ash* mampu menyerap air lebih banyak dibandingkan *Portland Cement*, dikarenakan *fly ash* memiliki struktur amorf lebih tinggi dari semen yang banyak didominasi oleh struktur kristal.



Gambar 13. Grafik Pengaruh Dalam Penggunaan Polymer Fiber Terhadap Daya Serap Air 28 Hari

Pada gambar 13 di atas menunjukkan hasil grafik pengaruh dalam penggunaan *polymer fiber*. Pada variabel P5-10 atau 1:5 dengan *fly ash* 10% menunjukkan hasil daya serap air menurun. Hal serupa terjadi pada variabel P5-20 dan P4-10, hal ini dapat dikarenakan karakteristik nya yang tipis sehingga dapat membuat pori-pori pada *paving block* lebih kecil. Namun hal yang berbeda terjadi pada P4-20, hasil menunjukkan peningkatan dari daya serap airnya. Hal ini dapat terjadi karena kekurangan dari *polymer fiber* itu sendiri. Kekurangannya seperti *polymer fiber* yang muncul pada luar permukaan *paving block* sehingga terbukanya celah kecil untuk air masuk ke dalam.

IV KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian yaitu *fly ash* yang merupakan bahan tambahan dalam

pembuatan *paving block* dapat digunakan untuk komposisi 1:5 dan tidak cocok untuk komposisi 1:4.

Polymer fiber yang merupakan bahan tambahan selain *fly ash* pada pembuatan *paving block* ini dapat digunakan karena sangat berguna untuk menaikkan kualitas dari *paving block* itu sendiri.

Nilai kuat tekan terbesar pada penelitian ini terdapat pada variabel P4-10-F dengan perawatan karung goni selama 28 hari. Nilai kuat tekan tersebut sebesar 38,6 MPa. Nilai tersebut sudah masuk standar SNI dengan mutu A. Daya serap air pada variabel tersebut sebesar 2,01% dan sudah masuk standar SNI masuk dalam mutu A.

Daya serap air pada *paving block* sangat mempengaruhi kuat tekan dari *paving block* itu sendiri. Rata-rata dengan kadar air berlebih dapat mengurangi kuat tekan *paving block* itu sendiri.

Dari kedua metode yaitu dengan perawatan karung goni dan tanpa perawatan, nilai terbaik yang didapat untuk *paving block* dalam penelitian ini yaitu menggunakan perawatan karung goni.

Peningkatan nilai kuat tekan pada penelitian ini dengan variabel *fly ash* tanpa *polymer fiber* ke *fly ash* dengan *polymer fiber* memiliki peningkatan sekitar 1-50%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan kali ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing program studi Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha yang selalu membimbing hingga jadinya jurnal ini. Serta *partner* yang sudah berjuang bersama-sama dan memberikan dukungannya.

REFERENSI

- Andoyo. (2006). *PENGARUH PENGGUNAAN ABU TERBANG (FLY ASH) TERHADAP KUAT TEKAN DAN SERAPAN AIR PADA MORTAR*. Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Aprianna, S. (2010). *STUDI KUAT TEKAN BETON SIAP PAKAI YANG MENGGUNAKAN FLY ASH BERDASARKAN BENDA UJI PROYEK DAN BOR INTI*. Depok: Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indonesia.
- Ariyani, N., & Laia, P. (2013). Pengaruh Pemakaian Fly Ash dan Superplasticizer Pada Kuat Tekan Beton. *Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 2/th XVIII/2013*.

- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 7974:2013. *Spesifikasi air pencampur yang digunakan dalam produksi beton semen hidraulis (ASTM C1602-06, IDT)*.
- BISLEY. (2021, Maret 19). *What Are the Advantages of Fibre Reinforced Concrete*. Retrieved from bisley-biz.translate: https://bisley-biz.translate.google.com/news/what-are-the-advantages-of-fibre-reinforced-concrete/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=tc
- Fauzi, A., Handayani, N. K., Trinugroho, S., & Nurchasanah, Y. (2023). Analisis Kuat Tekan Dan Daya Serap Paving Block Menggunakan Pasir Sungai Samin Pada Variasi Panjang Ijuk. *Vol.4, No.1, Januari 2023, Hal. 23~28, 23-28*.
- Gunawan, P., Wibowo, & Suryawan, N. (2014). Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene Pada Beton Ringan Dengan Teknologi Foam Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Modulus Elastisitas. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil Vol. 2 No. 2/ Juli 2014, 2, 206-213*.
- Iduwin, T., Putri, P. S., & Purnama, D. D. (2023). Penggunaan Limbah Karet Ban Terhadap Kuat Tekan Dan Penyerapan Paving Block. *Vol. 12, No. 1, Mei 2023, P-ISSN:2356-1491, E-ISSN: 2655-8211*.
- KraTos MICRO FIBERS. (2022, Maret). *Kratos Micro 12 mm*. Retrieved from kratosreinforcement.com/wp-content/uploads/2022/03/KraTos_Micro_12-MM_IND.pdf
- Nurzal, & Mahmud, J. (2013). Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Daya Serap Air Pada Pembuatan Paving Block. *Jurnal Teknik Mesin Vol.3, No.2, 3, 41-48*.
- Purwono, N. A., A.M, R. S., Wicaksono, A. C., & Utomo, W. W. (2020). Analisa Pengaruh Penambahan dan Substitusi Agregat Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton Non-Pasir. *Jurnal REKAYASA (2020) Vol. 10, No. 01. (56-71), 10, 56-71*.
- Rahim, M. A., Mustakim, M., & Misbahuddin, M. (2024, April). Pengaruh Penggunaan Fly Ash Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kapasitas Kuat Tekan Paving Block. *Vol.2, No.2 April 2024, 2, 145-156*.
- Rommel, E., Kurniawati, D., & Pradibta, A. P. (2014, Agustus). Perbaikan Sifat Fisik dan Reaktifitas

- Fly Ash Sebagai Cementitious Pada Beton. *Volume 12, Nomor 2*, 111-118.
- Setiawan, A. (2023, oktober 4). *10 Jenis Paving Blok yang Perlu Kamu Tahu!* Retrieved from detik: <https://www.detik.com/properti/tips-dan-panduan/d-6964272/10-jenis-paving-blok-yang-perlu-kamu-tahu>
- Sudarno, Nicolaas, S., & Assa, V. (2021). Pemanfaatan Limbah Plastik Untuk Pembuatan Paving block. *JTST*, 3 (2), 2021, 101-110, 101-110.
- Suraneni, P., Burris, L., Shearer, C. R., & Hooton, R. D. (n.d.). No. 118-M15. *ASTM C618 Fly Ash Specification: Comparison with Other Specification, Shortcomings, and Solutions*.
- Tjokrodinuljo, K. (2005). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gajah Mada.
- Wardani, S. P. (2008). *PEMANFAATAN LIMBAH BATUBARA (FLY ASH) UNTUK STABILISASI TANAH MAUPUN KEPERLUAN TEKNIK SIPIL LAINNYA DALAM MENGURANGI PENCEMARAN LINGKUNGAN*.
- Zidhan, M. N. (2023). *PENGARUH BAHAN TAMBAH FLY ASH DAN SUBSTITUSI*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.