

Pemanfaatan Substitusi *Fly Ash* dan Bahan Kapur Alam untuk Peningkatan Mutu *Paving Block*

Abdul Rokhman^{1*}, Dhani Van Chairi²

^{1,2} (Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi PLN, Indonesia)

*e-mail : abdulrokhman@itpln.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan material limbah sebagai bahan pembuatan material bangunan merupakan solusi pengurangan bahan limbah yang ada di alam. Fly ash sebagai bahan limbah hasil buangan dari pembakaran batu bara mempunyai kandungan silika yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kuat tekan beton/mortar. Paving Block sebagai salah satu bahan bangunan yang terbuat dari komposisi mortar dapat ditingkatkan kuat tekannya dengan mensubstitusi Sebagian material semen dengan fly ash. Bahan agregat halus berupa pasir juga dapat disubstitusi dengan bahan limbah kapur alam. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan *paving block* dengan bahan substitusi limbah batu kapur sebagai substitusi agregat halus dan *fly ash* sebagai substitusi semen. Perbandingan bahan pembuatan *paving block* adalah 1 : 4. Untuk variasi bahan substitusi dipakai *fly ash* sebagai substitusi semen. Variasi *fly ash* 20% dan sedangkan limbah batu kapur dipakai variasi 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, 28 hari. Hasil penelitian kuat tekan pada umur 7 hari didapatkan nilai 12,24 MPa pada konsentrasi substitusi bahan kapur sebesar 20,7%. Untuk Umur 14 hari didapatkan nilai kuat tekan 15,27 MPa dengan konsentrasi optimum 20,1% pada konsentrasi bahan kapur alam, sedang pada kuat tekan umur 28 hari didapatkan nilai kuat tekan sebesar 17,11 MPa, dengan konsentrasi optimum bahan kapur alam sebesar 20,15%. Peningkatan kuat tekan dari campuran optimum terhadap campuran normal sebesar 28,93 %. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 *paving block* yang dihasilkan pada penelitian ini termasuk Mutu B.

Kata kunci: *Paving Block; Fly Ash; Kapur Alam*

Abstract

Utilization of waste materials as building materials is a solution to reduce waste materials that exist in nature. Fly ash as a waste product from coal combustion contains silica which can be used to increase the compressive strength of concrete/mortar. Paving Block as a building material made of mortar composition can be increased its compressive strength by substituting some cement material with fly ash. Fine aggregate material in the form of sand can also be substituted with natural limestone waste material. In this study, paving blocks were made using limestone as a substitute for fine aggregate and fly ash as a cement substitute. The ratio of materials for making paving blocks is 1 : 4. For variations of substitution materials, fly ash is used as a cement substitution. The variation of fly ash is 20% and while the limestone waste is used variations of 0%, 10%, 20%, 30% and 40%. The compressive strength test was carried out at the age of 7 days, 14 days, and 28 days. The results of the study of compressive strength at the age of 7 days obtained a value of 12.24 MPa at a natural limestone substitution concentration of 20.7%. For the age of 14 days the compressive strength value is 15.27 MPa with an optimum concentration of 20.1% at the concentration of natural limestone, while at the age of 28 days the compressive strength value is 17.11 MPa, with the optimum concentration of natural limestone material being 20.15%. The increase in compressive strength from the optimum mixture to the normal mixture was 28.93%. Based on SNI 03-0691-1996 the paving blocks produced in this study include Quality B.

.Keywords: *Paving Block, Fly Ash, Limestone*

PENDAHULUAN

Paving block merupakan material precast yang dicetak di pabrik dan digunakan di lapangan sebagai bahan perkerasan jalan, perkerasan parker dan perkerasan taman. Bahan paving block ini tersusun seperti mortar. Salah satu bahan pembuatan *paving block* adalah semen dan pasir, yang merupakan bahan alam dan bahan olahan dari material alam yang ketersediaan bahan ini semakin lama semakin menipis sehingga menyebabkan harganya cenderung naik sedangkan pembangunan dan permintaan masyarakat semakin meningkat. Oleh karena itu perlu dicari alternatif pemanfaatan bahan lain tanpa menurunkan mutu dari *paving block* yang dihasilkan. Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan campuran pembuatan *paving block* bertujuan untuk memanfaatkan limbah hasil pembakaran batubara yang keberadaannya dapat mengganggu keseimbangan lingkungan. Pemanfaatan batuan kapur alam juga digunakan dalam rangka mengurangi limbah buangan kapur terutama di daerah yang menggunakan bahan kapur untuk bahan industri. *Fly Ash* adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat *pozzolanic* [1]. *Fly Ash* dapat digunakan sebagai bahan untuk pembuatan agregat buatan dalam campuran beton, bahan tambahan *paving block*, mortar, batako, beton ringan, dan sebagainya. Batu kapur terbentuk dari kulit kerang dan batu karang yang merupakan hasil pengendapan kerangka binatang-binatang lembek yang halus dan hidup di dasar laut. Pengendapan ini berlangsung terus hingga beribu-ribu tahun dan oleh karena pergeseran dan pengangkatan dari dasar laut akhirnya muncul ke permukaan laut [2]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibuat *paving block* dengan variasi komposisi semen, pasir, *fly ash* dan kapur, yang berbeda-beda untuk mengetahui komposisi substitusi optimum yang memiliki kekuatan tekan tertinggi dalam menahan beban. Tujuan dari penelitian ini yaitu ingin mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* untuk menggantikan sebagian bahan semen sebagai bahan perekat dan penggunaan bahan agregat kapur alam untuk menggantikan sebagian bahan pasir sebagai bahan agregat halus.

Penelitian Pengaruh Penambahan Limbah Batubara (*Fly Ash*) pada campuran beton. hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan penggunaan *fly ash* 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% berturut turut 23,28 MPa, 24,24 MPa, 27,13 MPa, 29,43 MPa, 28,66 MPa, 23,09 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi terjadi pada kadar *fly ash* 20% sebesar 29,43 MPa [3]. Pengujian *fly ash* sebagai bahan tambah untuk meningkatkan kuat tekan bata beton (*Paving Block*). Pengujian ini menggunakan perbandingan 1 semen : 6 pasir. Yang mana hasil *paving block* 56 hari menunjukkan hasil penggunaan *fly ash* 20%, 40%, 60% dan 80% meningkatkan hingga ke 37,166% (7,057 MPa), 18,248% (3,465 MPa), 8,110% (1,54 MPa) dan 14,193% (2,695 MPa) [4]. Penelitian pengaruh substitusi sebagai semen dengan *fly ash* dan kapur terhadap kuat tekan *paving block*. Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa penggunaan *Fly Ash* dan kapur sebagai bahan pengikat pengganti sebagian semen dengan variasi 0%, 6%, 12%, 18%, 24% menghasilkan kuat tekan berturut turut sebesar 198 kg/cm², 223 kg/cm², 207 kg/cm², 241 kg/cm², dan 185 kg/cm². Kadar optimum *fly ash* adalah 18% dengan nilai kuat tekan tertinggi 241 kg/cm² Penelitian Pengaruh Limbah Batu Kapur Kabupaten Lamongan Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Penyerapan Air *Paving Block*. Dengan variasi batu kapur 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dengan hasil kuat tekan 14,3 Mpa, 15,25 Mpa, 15,58 Mpa, 16,18 Mpa dan 17,03 Mpa. Dengan hasil kuat tekan tertinggi terletak pada variasi batu kapur 20% dengan nilai kuat tekan 17,03 Mpa [5]. Penelitian Uji kuat tekan *paving block* menggunakan campuran tanah dan kapur dengan alat pemadat modifikasi. Dengan variasi kadar campuran yang digunakan yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dengan waktu pemeraman selama 14 hari serta dengan perlakuan tanpa pembakaran dengan hasil uji tekan 23,96 kg/cm², 38,23 kg/cm², 53,52 kg/cm², 60,14 kg/cm², 58,10 kg/cm². Dengan kuat tekan tertinggi terletak pada variasi 15% dengan nilai kuat tekan 60,14 kg/cm² [6].

Standar mutu yang harus dipenuhi *paving block* untuk lantai menurut SNI 03-0691-1996 adalah sebagai berikut [1]:

1. Sifat tampak, bata beton harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak ataupun cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dirapihkan dengan kekuatan jari tangan.
2. Ukuran, bata beton harus mempunyai ukuran tebal minimum 60 mm dengan toleransi $\pm 8\%$.
3. *Paving block* untuk lantai apabila dilakukan pengujian dengan natrium sulfat tidak boleh cacar, dan kehilangan berat yang diperbolehkan maksimum 1%.
4. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh *paving block* yaitu pada tabel berikut ini:

Tabel 1 Persyaratan Sifat pada *Paving Block* [1]

Mutu	Kegunaan	Kuat tekan (Mpa)		Penyerapan air rata-rata maks%
		Rata-rata	Min	
A	Perkerasan jalan	40	35	3
B	Tempat parkir	20	17,0	6
C	Pejalan kaki	15	12,5	8
D	Taman	10	8,5	10

Fly Ash

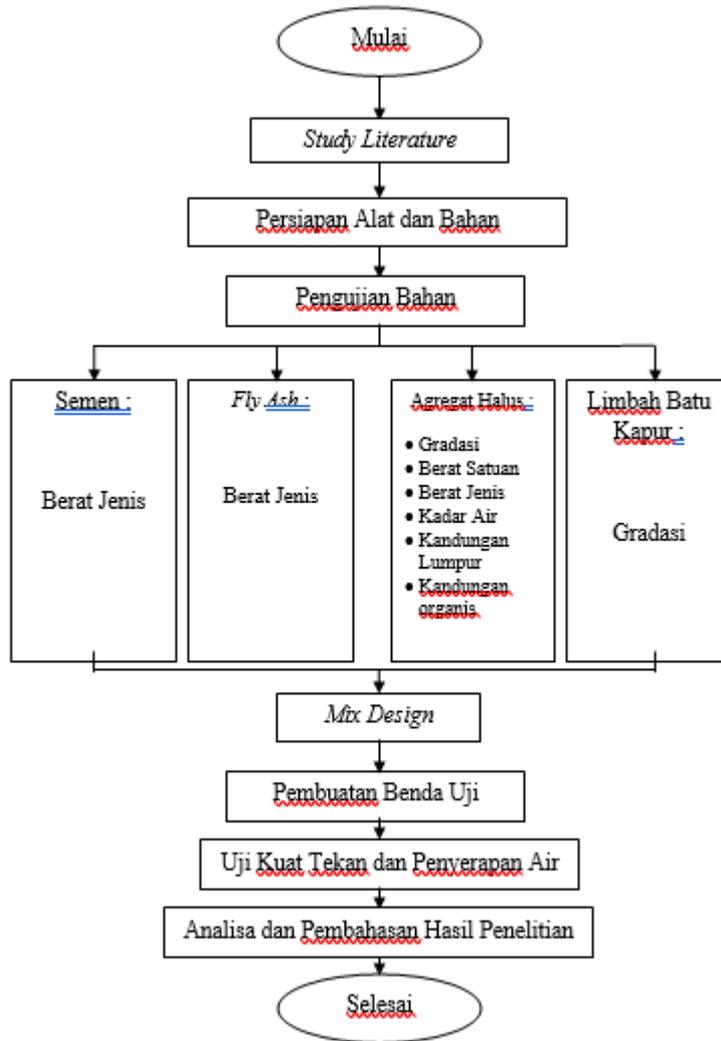
Fly ash cukup baik untuk digunakan sebagai bahan ikat karena bahan penyusun utamanya terdiri dari *Silika Dioksida* (SiO_2), *Aluminium* (Al_2O_3) dan *Ferrum Oksida* (Fe_2O_3) [7]. Oksida-oksida tersebut dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen ketika bereaksi dengan air. Ada beberapa jenis fly ash jenis N yang merupakan posolan alam mentah atau telah dikalsinasi memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas N, misalnya beberapa tanah *diatomae* (hasil lupukan); batu rijang opalan dan serpih; tufa dan abu vulkanik atau batu apung, dikalsinasi atau tidak, dan berbagai bahan yang memerlukan kalsinasi untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan, misalnya lempung dan serpih. Jenis kedua yaitu jenis F adalah abu terbang dari batu bara memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas F. Abu terbang kelas F mempunyai sifat *pozolanik*, biasanya dihasilkan dari pembakaran *antrasit* atau batu bara *bituminous*, tetapi dapat juga dihasilkan dari batu bara *subbituminous* dan *lignite*. Sedang jenis yang ketiga jenis C, adalah abu terbang dari batu bara memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas C. abu terbang kelas C memiliki sifat *pozolanik*, biasanya dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau batubara *subbituminous*, dan dapat juga dihasilkan dari *antrasit* atau batubara *bituminous*. Abu terbang kelas C mengandung kadar kalsium total, yang dinyatakan sebagai kalsium oksida (CaO) lebih tinggi dari 10%

Batu Kapur

Batu kapur adalah material yang berasal dari batuan sedimen berwarna putih halus, yang mengandung mineral kalsium. Tiga senyawa utama yang mewujudkan kapur adalah kalsium karbonat, kalsium oksida dan kalsium hidroksida. Kapur dapat bercampur dengan mineral magnesium yang bernama Dolomit. setelah berjuta juta tahun lapisan ini menjadi batuan melalui proses geologi. Kapur adalah bahan yang sangat bermanfaat dalam segala bentuk aktivitas manusia dengan harga yang relatif lebih murah. Pemanfaatan terbanyak dalam bidang bangunan. Kapur juga mempunyai sifat yang mudah mengeras sehingga banyak digunakan dalam industri konstruksi. Keuntungan menggunakan limbah batu kapur bahan ini mudah didapat dan bahan ini juga mengandung senyawa kimia CaCO_3 (kalsium karbonat) dimana kandungan ini bagus untuk bahan bangunan.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilakukan percobaan pembuatan material *Paving Block* dengan menggunakan material bahan penyusun *fly ash*, semen, batu kapur dan pasir. Beberapa pengujian yang dilakukan untuk agregat halus yaitu berat satuan, berat jenis, gradasi. Agregat halus yang dipakai adalah pasir dan batu kapur. Batu kapur yang digunakan pengujian berasal dari Gunung Tuban.. Untuk pengujian semen yang dilakukan antara lain berat jenis. Adapun *fly ash* yang dipakai berasal dari limbah pembakaran batu bara pada PLTU Lontar Banten. Untuk material *fly ash* dilakukan pengujian berat jenis. Setelah data pengujian agregat dilakukan dan diketahui hasilnya, maka dilakukan perhitungan *mix design* (rancang campuran). Adapun urutan penelitian (Diagram Alir) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

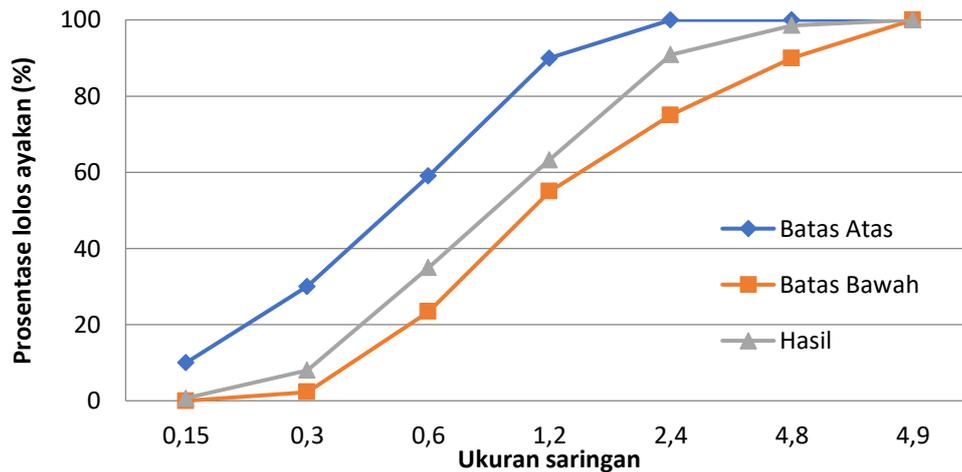
Pengujian Bahan

1. Agregat Halus

Agregat halus yang dipakai adalah pasir Bangka. Berikut ini hasil pengujian agregat halus.

Tabel 2 Gradasi Agregat Halus

Saringan ayakan (mm)	% Lolos Saringan / Ayakan					Agregat halus Pasir Bangka
	Zona I (Kasar)	Zona II (Agak Kasar)	Zona III (Agak Halus)	Zona IV (Halus)		
9,6	100	100	100	100		100
4,8	90-100	90-100	90-100	.95-100		98,6
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100		90,9
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100		63,3
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100		23,4
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50		2,3
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15		0,7



Gambar 2 Gradasi Agregat Halus

Berdasarkan dari hasil pengujian agregat halus Bangka yang dilakukan berdasarkan (ASTM C136,2012) masuk kedalam kategori II (Zona II) dengan nilai modulus kehalusan agregat halus didapatkan sebesar 3,148. Pada umumnya agregat halus memiliki modulus halus 1,5 – 3,8. Sehingga agregat halus Bangka dapat digunakan sebagai material pada campuran Paving Block.

Tabel 3. Pengujian Agregat Halus

No	Keterangan	Hasil	Satuan
1	Berat bejana kosong (B1)	5,872	kg
2	Berat bejana +agregat halus (B2)	21,258	kg
3	Berat agregat halus (B3 = B2 - B1)	15,386	kg
4	Volume bejana baja (V)	0,0107	m ³
5	Berat Satuan agregat halus	1437,94	kg/m ³

$$\gamma = \frac{B3}{V}$$

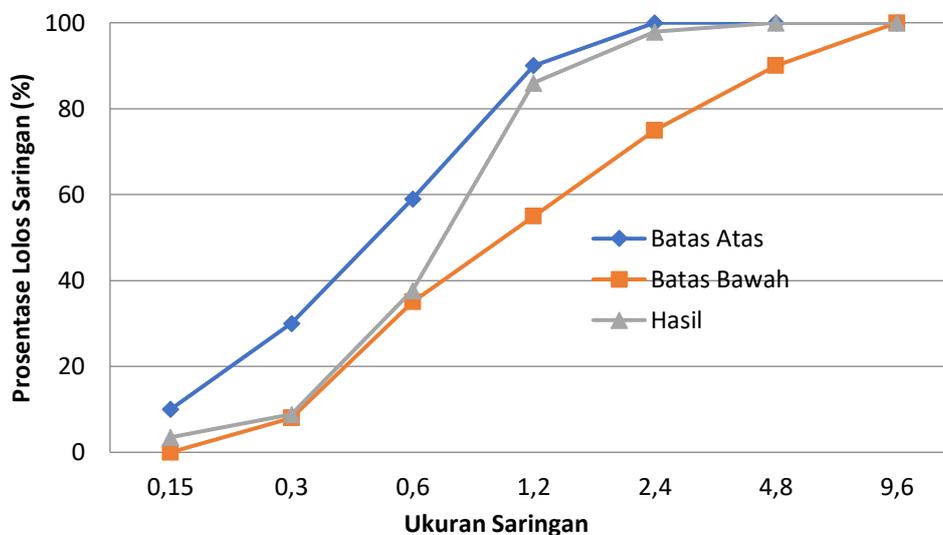
Dari hasil pengujian berat satuan agregat halus yang dilakukan berdasarkan(SNI 03-4804-1998) didapatkan sebesar 1437,94 Kg/m³

2. Batuan Kapur Alam

Dari hasil pengujian gradasi agregat batuan kapur, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Gradasi Agregat Batu Kapur

saringan	% Lolos Saringan / Ayakan				
ayakan (mm)	Zona I (Kasar)	Zona II (Agak Kasar)	Zona III (Agak Halus)	Zona IV (Halus)	Agregat Halus Batu Kapur
9,6	100	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100	100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100	97,9
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100	86
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100	37,7
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50	8,8
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15	3,5



Gambar 3. Gradasi Agregat Kapur Alam

Tabel 5. Pengujian Berat Satuan Agregat Kapur Alam

No	Keterangan	Hasil	Satuan
1	Berat bejana kosong (B1)	5,872	kg
2	Berat bejana +agregat halus (B2)	19,713	kg
3	Berat agregat halus (B3 = B2 - B1)	13,841	kg
4	Volume bejana baja (V)	0,0107	m ³
5	Berat Satuan agregat halus (γ) $\gamma = \frac{B3}{V}$	1293,55	kg/m ³

3. *Fly Ash*

Pengujian berat jenis fly ash dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 6. Pengujian Berat Jenis Fly Ash

No.	Pemeriksaan	Hasil	Satuan
1	Berat <i>fly ash</i> (W)	60	gr
2	Volume minyak tanah (V1)	0,7	ml
3	Volume minyak tanah + <i>fly ash</i> (V2)	23,4	ml
4	Berat jenis <i>fly ash</i>	2,64	gr/ml

Dalam pembuatan mix design, dilakukan pencampuran dengan 5 variasi dan ditambah variasi normal. Untuk variasi V0 yaitu variasi normal dengan komposisi perbandingan semen dan agregat halus dengan perbandingan 1 : 4. Variasi 1 dengan melakukan penggantian semen sebesar 20% digantikan dengan fly ash. Untuk variasi V2, V3, V4 dan V5 dengan melakukan penggantian agregat halus sebesar 10%, 20%, 30%, 40%.

Tabel 7. Komposisi Campuran *Paving block*

No	Variasi Campuran <i>Paving block</i>	Komposisi Campuran			
		Limbah Batu Kapur	<i>Fly Ash</i>	Agregat halus	Semen
1	V1	0	0	4	1
2	V2	0	0,2	4	0,8
3	V3	0,4	0,2	3,6	0,8
4	V4	0,8	0,2	3,2	0,8
5	V5	1,2	0,2	2,8	0,8
6	V6	1,6	0,2	2,4	0,8

Untuk jumlah campuran masing-masing bahan pada setiap variasi pengujian dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Komposisi Campuran Semua Variasi

Benda Uji	Material	7 Hari	14 Hari	28 Hari	Total
V1	Pasir	4,14 kg	4,14 kg	8,28 kg	16,56 kg
	Semen	2,02 kg	2,02 kg	4,404 kg	8,808 kg
V2	Pasir	4,14 kg	4,14 kg	8,28 kg	16,56 kg
	Semen	1,761 kg	1,761 kg	3,522 kg	7,044 kg
	<i>Fly Ash</i>	0,3801 kg	0,3801 kg	0,7602 kg	1,5204 kg
V3	Pasir	3,762 kg	3,762 kg	7,452 kg	14,904 kg
	Semen	1,761 kg	1,761 kg	3,522 kg	7,044 kg
	Kapur	0,372 kg	0,372 kg	0,744 kg	1,488 kg
	<i>Fly Ash</i>	0,3801 kg	0,3801 kg	0,7602 kg	1,5204 kg
V4	Pasir	3,312 kg	3,312 kg	6,624 kg	13,248 kg
	Semen	1,761 kg	1,761 kg	3,522 kg	7,044 kg
	Kapur	0,7449 kg	0,7449 kg	1,4898 kg	2,9796 kg
	<i>Fly Ash</i>	0,3801 kg	0,3801 kg	0,7602 kg	1,5204 kg
V5	Pasir	2,898 kg	2,898 kg	5,796 kg	11,592 kg
	Semen	1,761 kg	1,761 kg	3,522 kg	7,044 kg
	Kapur	1,1175 kg	1,1175 kg	2,235 kg	4,47 kg

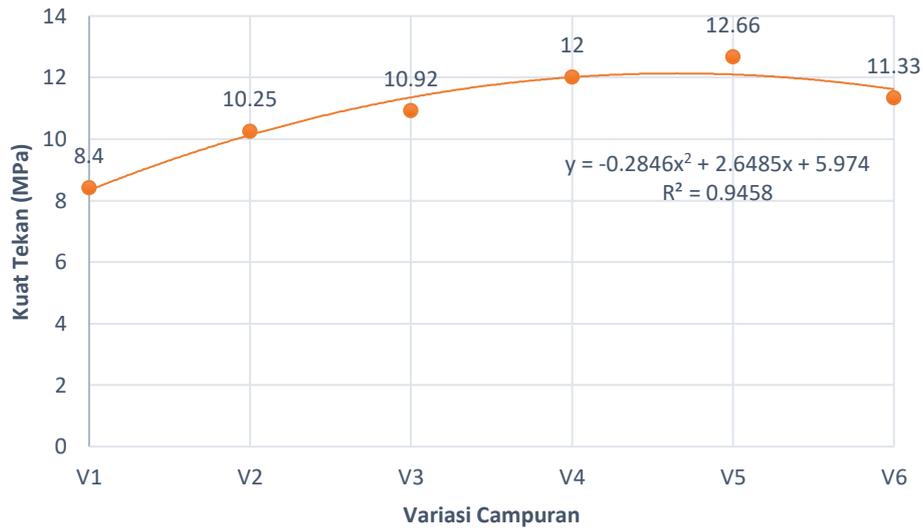
	<i>Fly Ash</i>	0,3801 kg	0,3801 kg	0,7602 kg	1,5204 kg
V6	Pasir	2,484 kg	2,484 kg	4,968 kg	9,936 kg
	Semen	1,761 kg	1,761 kg	3,522 kg	7,044 kg
	Kapur	1,4901 kg	1,4901 kg	2,9802 kg	5,9604 kg
	<i>Fly Ash</i>	0,3801 kg	0,3801 kg	0,7602 kg	1,5204 kg

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian di laboratorium didapatkan nilai kuat tekan untuk masing-masing variasi dan umur pengujian sebagai berikut (Tabel 9).

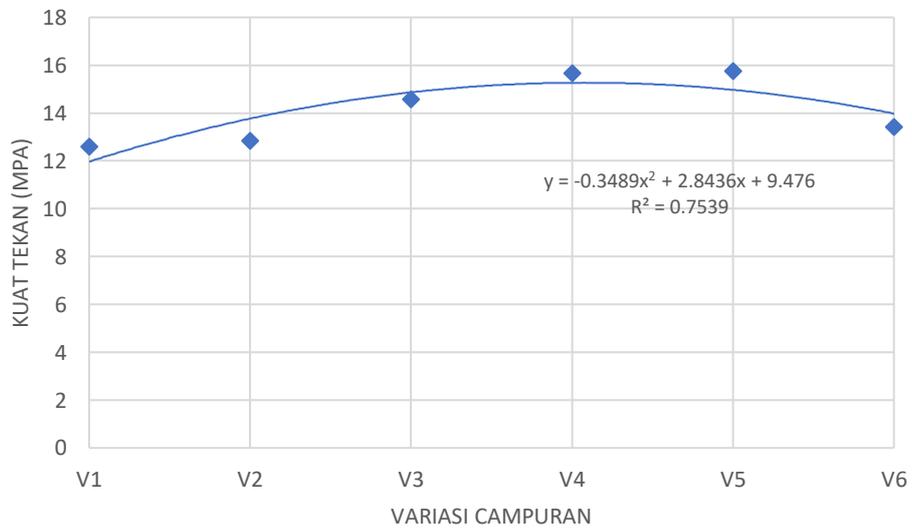
Tabel 9. Hasil Pengujian Kuat tekan Paving Block untuk Semua Variasi

Variasi	Hari	Luas Permukaan (cm ²)	Kuat Tekan Rata - rata (Kg/cm ²)	Kuat Tekan Rata - rata (Mpa)
V1	7	200	84	8,4
	14	200	125,8	12,58
	28	200	140	14
V2	7	200	102,5	10,25
	14	200	128,3	12,83
	28	200	144,1	14,41
V3	7	200	109,2	10,92
	14	200	145,8	14,58
	28	200	160	16
V4	7	200	120	12
	14	200	156,6	15,66
	28	200	170,8	17,08
V5	7	200	126,6	12,66
	14	200	157,5	15,75
	28	200	186,6	18,66
V6	7	200	113,3	11,33
	14	200	134,2	13,42
	28	200	147,5	14,75



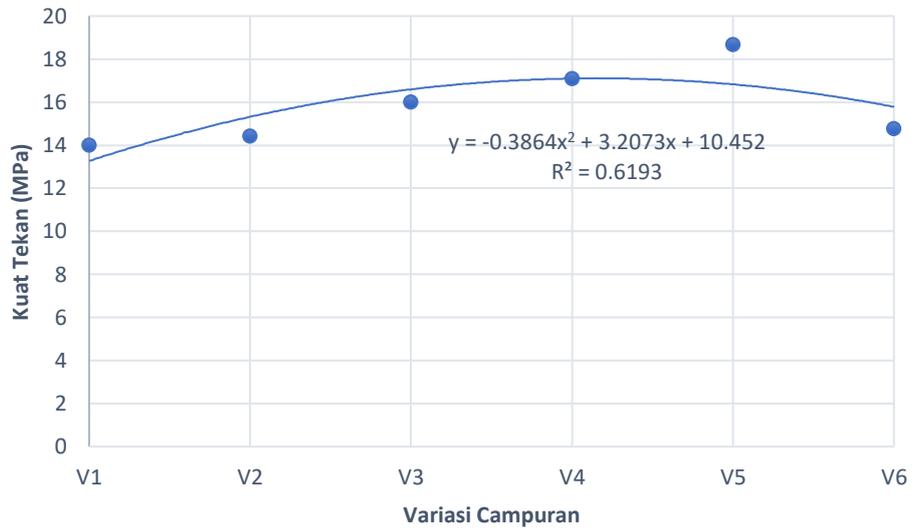
Gambar 4 Kuat Tekan Paving Block Umur 7 Hari

Dari persamaan grafik pada Gambar 4 didapatkan $y = -0,28x^2 + 2,6485x + 5,974$. Dari persamaan tersebut akan didapatkan nilai maksimum kuat tekan umur 7 hari sebesar 12,24 MPa pada substitusi agregat kapur sebesar 27,29% terhadap agregat halus.



Gambar 5 Kuat Tekan Paving Block Umur 14 Hari

Dari persamaan grafik pada Gambar 5 didapatkan $y = -0,3489x^2 + 2,8436x + 9,476$. Dari persamaan tersebut akan didapatkan nilai maksimum kuat tekan umur 14 hari sebesar 15,27 MPa pada substitusi agregat kapur sebesar 20,7% terhadap agregat halus.

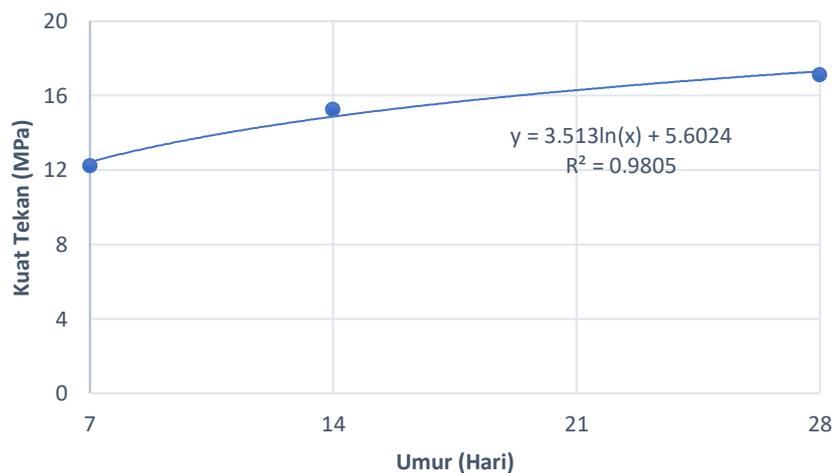


Gambar 6 Kuat Tekan Paving Block Umur 28 Hari

Dari persamaan grafik pada Gambar 6 didapatkan $y = -0,3864x^2 + 3,2073x + 10,452$. Dari persamaan tersebut nilai maksimum kuat tekan umur 7 hari sebesar 17,11 MPa pada variasi substitusi agregat kapur sebesar 21,5% terhadap agregat halus. Angka variasi substitusi sebesar 21,5% ini merupakan variasi optimum untuk substitusi agregat batu kapur alam pada agregat halus.

Tabel 10. Kuat Tekan Maksimum untuk Setiap Umur Paving Block

Umur (hari)	7	14	28
Kuat Tekan (MPa)	12,24	15,27	17,11



Gambar 7 Hubungan Kuat Tekan vs Umur

Dari Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa kuat tekan Paving Block akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya umur Paving Block. Hal ini juga dikarenakan penambahan fly ash yang akan mempengaruhi kuat penambahan kuat tekan pada waktu yang lebih lama. Peningkatan kuat tekan pada umur 28 hari antara campuran pada variasi normal sebesar 13,27 MPa dan pada variasi optimum 21,5% memberikan hasil kuat tekan sebesar 17,11 MPa atau ada kenaikan kuat tekan sebesar 28,93%.

Dari sisi kekuatan *Paving Block* Umur 28 hari yaitu sebesar 17,11 MPa, maka dapat diambil kesimpulan bahwa pada substitusi agregat kapur sebesar 21,5% (umur 28 hari) akan mendapatkan nilai mutu *Paving Block* kelas B.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi *fly ash* sebesar 20 % berat semen, maka substitusi agregat halus dari batu kapur dapat meningkatkan kuat tekan sampai pada kadar optimum 21,5% yaitu sebesar 17,11 MPa. Pada nilai kuat tekan ini mutu kelas *paving block* termasuk dalam kelas B.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indonesia and B.S.N, “Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Bata beton (Paving block),” 1996.
- [2] S. R. I. Mulyaningsih, *Geologi*, vol. 3. 2018.
- [3] M. Sultan, I. Imran, and M. Faujan, “PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PEMBAKARAN BATUBARA (FLY ASH) Ex PLTU RUM PADA CAMPURAN BETON,” *TERAS J.*, vol. 9, p. 83, Sep. 2019, doi: 10.29103/tj.v9i2.186.
- [4] Sudiby dkk, “ABU TERBANG (FLY ASH) SEBAGAI BAHAN TAMBAH UNTUK MENINGKATKAN KUAT TEKAN BATA BETON (PAVING BLOCK) Fly Ash Upon Which Add To Improve Strength Depress Brick Concrete (Paving Block) Yanuar Haryanto , Gathot Heri Sudiby, dan Fatkhurrozak,” vol. 4, no. 2, 2008.
- [5] M. A. Mughni, “Download Your.”
- [6] D. Larasati, Iswan, and Setyanto, “Uji Kuat Tekan Paving Block Menggunakan Campuran Tanah dan Kapur dengan Alat Pematik Modifikasi,” *J. Rekayasa Sipil Dan Desain*, vol. 4, no. 1, pp. 11–22, 2016.
- [7] A. O. Irlan, “Tinjauan Karakteristik Bahan Penyusun Beton Berpori dengan Penggunaan Flyash dan Superplasticizer untuk Perkerasan Jalan Ramah Lingkungan,” *Kilat*, vol. 9, no. 2, pp. 244–256, 2020, [Online]. Available: <https://stt-pln.e-journal.id/kilat/article/view/954>.