

Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kapasitas Kuat Tekan *Paving Block*

Muh Ridha Abd Rahim

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Parepare, Parepare, Indonesia

Email : ridhozyan10@gmail.com

Mustakim Mustakim

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Parepare, Parepare, Indonesia

Email : mtq2mk@gmail.com

Misbahuddin Misbahuddin

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Parepare, Parepare, Indonesia

Email : umpar.misbah@gmail.com

Korespondensi penulis : ridhozyan10@gmail.com

Abstract. PLTU produces coal-burning residues in the form of fly ash waste, which is constantly increasing. Fly ash is an industrial waste that is hazardous to the environment and human health but can be exploited because it has the characteristics of pozzolan. We conducted research on the use of fly ash as a cement substitute in the making of paving blocks. The aim of the research was to find out the strong pressure paving block method in British Standard 6717 with SNI 03-0691-1996 against the use of fly ash and how much of the fly ash is used against the strength of the optimum pressure. The research used an experimental method, with a comparison of 1 cement with 4 sand and variations in the use of air ash at 0%, 10%, 20%, and 30%. Tests were conducted when paving the block through the process of curing for 28 days. This study resulted in a strong average pressure paving block (PB) using the British Standard fly ash method 6717, with PB beam variations of 10%, 20%, and 30% in succession of 14.23 MPa, 13.49 MPa, and 11.14 MPa. While the SNI method 03-0691 1996 is PB cube variation at 10%, 20%, and 30%, respectively, of 12.27 MPa, 10.63 MPa, and 8.67 MPa. The strong result of pushing PB beams using the optimum fly ash is found at a 10% variation of 14.23 MPa and a 10% cubic variation PB of 12.27 MPa.

Keywords: Paving Block, Fly Ash, Compressive Strength.

Abstrak. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebagai salah satu penyedia energi listrik. PLTU menghasilkan sisa pembakaran batubara berupa limbah fly ash yang terus meningkat. fly ash merupakan limbah industri yang berbahaya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, namun dapat dimanfaatkan karna memiliki karakteristik pozzolan, maka dilakukan penelitian tentang pemanfaatan fly ash sebagai substitusi semen pada pembuatan paving block. Tujuan penelitian untuk mengetahui kuat tekan paving block metode British Standard 6717 dengan SNI 03-0691-1996 terhadap penggunaan fly ash dan berapa proporsi penggunaan fly ash terhadap kuat tekan optimum. Penelitian menggunakan metode eksperimen, dengan perbandingan 1 semen: 4 pasir, variasi penggunaan fly ash 0%, 10%, 20% dan 30%. Pengujian dilakukan saat paving block melalui proses curing selama 28 hari. Penelitian ini menghasilkan kuat tekan rata-rata paving block (PB) menggunakan fly ash metode British Standard 6717, PB balok variasi 10%, 20%, 30% secara berturut-turut sebesar 14,23 MPa, 13,49 MPa, dan 11,14 MPa. Sedangkan metode SNI 03-0691 1996 yaitu, PB kubus variasi 10%, 20%, 30% secara berturut-turut sebesar 12,27 MPa 10,63 MPa, dan 8,67 MPa. Hasil kuat tekan PB balok menggunakan fly ash yang optimum terdapat pada variasi 10% sebesar 14,23 MPa dan PB kubus variasi 10% sebesar 12,27 MPa.

Kata kunci: paving block, fly ash, kuat tekan.

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru sebagai salah satu aset pembangkit Perusahaan Listrik Negara (PLN), PLTU Barru merupakan tulang punggung penyedia tenaga listrik nasional yang tersebar di seluruh Indonesia, berada di wilayah provinsi Sulawesi Selatan, mensuplai kebutuhan listrik pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat. Dalam pengoperasiannya, PLTU Barru menghasilkan sisa hasil pembakaran batubara berupa limbah *Fly Ash* dan *Bottom Ash*.

Komposisi pembakaran batubara menghasilkan 80-90% *Fly Ash* dan *Bottom Ash* 10-20%. Pemanfaatan *fly ash* sangat luas misalnya dalam bidang konstruksi, tambang, sub-base jalan, pertanian, cat, komposit pengganti kayu dan sebagai adsorben berbiaya rendah untuk menghilangkan senyawa organik (Dwinta, A., 2023).

Fly Ash merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolanik (SNI 03-6414-2002).

Pozzolan adalah bahan yang bersifat mengikat, mengandung silika dan aluminium yang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida, sehingga dapat dijadikan sebagai campuran beton, *paving block* dan batako. Berdasarkan peraturan pemerintah No.22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, *fly ash* dan *bottom ash* termasuk limbah Non B3 terdaftar. Dengan dikategorikannya *fly ash* sebagai limbah Non B3 terdaftar. *Fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai material pada sektor infrastruktur (Tampubolon, J. 2023).

Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis lainnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton tersebut (SNI 03-0691-1996). *Paving block* memiliki nilai estetika yang bagus, karena selain memiliki bentuk segiempat ataupun segibanyak dapat pula berwarna seperti aslinya ataupun diberikan zat pewarna dalam komposisi pembuatan. *Paving block* ini sendiri berfungsi untuk lantai yang banyak digunakan di luar bangunan serta tidak boleh retak-retak dan cacat.

Menentukan mutu *paving block* harus memenuhi persyaratan SNI 03-0691-1996, berikut tabel sifat-sifat fisika bata beton.

Tabel 1. Sifat-sifat fisika bata beton sumber: SNI 03-0691-1996.

Mutu	Kegunaan	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air Rata-rata Maks.
		Rerata	Min.	Rerata	Min.	(%)
A	Perkerasan Jalan	40	35	0,090	0,103	3
B	Tempat Parkir Mobil	20	17	0,130	0,149	6
C	Pejalan Kaki	15	12,5	0,160	0,184	8
D	Taman kota	10	8,5	0,219	0,251	10

Persyaratan ketebalan *paving block* pada umumnya adalah, 6 cm digunakan untuk beban lalu lintas ringan misalnya: sepeda motor, pejalan kaki, 8 cm digunakan untuk beban lalu lintas sedang atau berat dan padat misalnya: mobil, pick up, truk, dan bus. 10 cm digunakan untuk beban lalu lintas super berat misalnya: tronton dan loader.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah fly ash, seperti penelitian Harystama, A, dkk. (2020) Pengaruh Penambahan Abu Terbang (*Fly Ash*) Terhadap Kuat Tekan *Paving Block*. Hasil penelitian ini menunjukkan data sebagai berikut: a) kuat tekan rata-rata variasi *fly ash* 5% dengan kuat tekan 7,22 MPa. b) kuat tekan rata-rata variasi *fly ash* 10% dengan kuat tekan 8,1 MPa. c) kuat tekan rata-rata variasi *fly ash* 15% dengan kuat tekan 8,42 MPa. d) kuat tekan rata-rata variasi *fly ash* 20% dengan kuat tekan 9,34 MPa.

Seiring dengan meningkatnya penggunaan *paving block* di masyarakat, material semen dan pasir juga semakin banyak digunakan. Semen merupakan salah satu bahan yang mencemari udara dan penyumbang karbon yang cukup besar, sehingga perlu dicari solusi pengurangan penggunaan material semen tanpa mengurangi kualitas *paving block*. Sementara limbah *fly ash* juga meningkat pada setiap tahun. *fly ash* ini kemudian menjadi solusi yang tepat sebagai salah satu bahan alternatif pengganti semen. Oleh karena itu maka dilakukan suatu penelitian tentang pemanfaatan limbah *fly ash* PLTU Barru sebagai substitusi semen pada pembuatan *paving block*.

Adapun tujuan penelitian ini yaitu, untuk mengetahui nilai kuat tekan *paving block* menurut British Standard 6717 dengan nilai kuat tekan *paving block* menurut SNI 03-0691 1996 terhadap penggunaan *fly ash* pada *paving block* dan untuk mengetahui berapa proporsi penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan optimum *paving block*.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu, metode penelitian kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independen (treatment/perlakuan) terhadap variabel dependen (hasil) dalam kondisi yang terkendalikan. Penelitian eksperimen dilakukan di laboratorium.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu cetok, ember, timbangan duduk, gerinda, mesin press hidrolik dan mesin compression test. Sedangkan bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan *paving block* yaitu pasir, semen pcc 40 kg, air, dan *fly ash*.

Fly ash yang digunakan di ambil dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru yang terletak di Dusun Bawasalo, Lampoko, Kecamatan Balusu, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan.

Tabel 1. Komposisi Fly Ash PLTU Barru (Sumber: Bakri, E. P., dkk, 2019)

Origin Fly Ash	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ %	CaO %	Setting Time	28 hari	Class	Application
				MPa		
Barru	65,05	20,2	1:10		C	AVERAGE



Gambar 1. Abu batubara (*fly ash*) PLTU Barru

Komposisi Campuran

Jumlah benda uji yang dibuat sesuai dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 03-0691-1996) [1]. Sampel benda uji pada penelitian ini sebanyak 52 sampel dengan model balok (21 x 10 x 8 cm) sebanyak 12 sampel dan model kubus (8 x 8 x 8 cm) sebanyak 24 sampel.

Penelitian ini menggunakan perbandingan 1 semen: 4 pasir, dengan 4 varian sampel yaitu, varian PF0 1 semen: 4 Pasir, varian penggunaan *fly ash* (FA) sebagai substitusi semen dengan uraian varian sampel PF10 (90%Pc: 10%FA) : 4 Ps, varian sampel PF20 (80%Pc : 20%

FA) : 4 Ps, dan varian sampel PF30 (70%Pc : 30% FA) : 4 Ps. Berikut tabel komposisi campuran *paving block*.

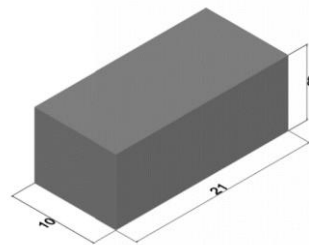
Tabel 2. Komposisi campuran *paving block*.

Kode	Uraian	Pengujian Kuat Tekan	
		SNI 03-0691-1996. (<i>Paving Block</i> Kubus)	British Standard 6717 (<i>Paving Block</i> Balok)
PF0	1 Pc : 4 Ps	10	3
PF10	(90%Pc:10% FA) : 4 Ps	10	3
PF20	(80%Pc:20% FA) : 4 Ps	10	3
PF30	(70%Pc:30% FA) : 4 Ps	10	3
Total		40	12

Keterangan: Pc = Semen, Ps = pasir dan FA = *Fly ash*

Metode British Standard 6717-1:1993

Standard pengujian yang merujuk pada *British Standard 6717-1:1993* merupakan sistem pengujian dengan memakai contoh dengan wujud awalnya dan didesak untuk menghitung kekuatannya. Pengujian ini umumnya untuk *paving block* tipe bata atau *truepave*. Mutu *paving block* dapat dinilai berdasarkan uji kuat tekan.



Gambar 2. *Paving block* balok ukuran 21 × 10 × 8 cm

Berikut rumus kuat tekan *paving block* berdasarkan BS 6717 sebagai berikut:

$$f_c = \frac{P_c}{A} \times f_k \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

f_c = Kuat tekan (MPa)

P_c = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang bahan (mm²)

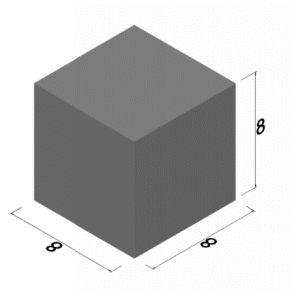
f_k = faktor koreksi

Tabel 3. Nilai faktor koreksi f_k (Sumber. British Standard 6717-1:1993)

Tebal (mm)	Paving block datar	Paving block chamfer
60 atau 65	1	1.06
80	1.12	1.18
10	1.18	1.24

Metode SNI 03-0691-1996

Standard pengujian yang merujuk pada Standard Nasional Indonesia (SNI) 03-0691-1996 merupakan sistem pengujian yang sampel tesnya terpotongkan sampai semua seginya mempunyai panjang yang serupa seperti bentuk kubus.



Gambar 3. Paving block kubus ukuran $8 \times 8 \times 8$ cm

Berikut rumus kuat tekan *paving block* menurut (SNI 03-0691-1996).

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

f_c = Kuat tekan (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang bahan (mm^2)

Kuat tekan adalah kemampuan menahan gaya tekan/satuan luas. Benda uji yang siap diuji ditekan hingga hancur menggunakan alat press yang kecepatannya dapat diatur. Kecepatan Penekanan dapat di atur selama 1 atau 2 menit, mulai awal penekanan beban hingga penghancuran benda uji. Arah tekanan pada benda uji disesuaikan dengan arah tekanan beban saat digunakan. Kuat tekan rata-rata sampel *paving block* dihitung sebagai kuat tekan total dibagi jumlah sampel uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN**Pengujian Agregat Halus****Tabel 4. Rekapitulasi hasil pengujian agregat**

NO	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KET.
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 5%	4.6%	4.84%	4.72%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	No. 3	No. 3	3	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	4.21%	3.99%	4.10%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1.47	1.56	1.52	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1.80	1.78	1.79	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	1.01%	1.42%	1.21%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. Nyata	1,6 - 3,3 %	2.60	2.62	2.61 %	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3 %	2.51	2.53	2.52 %	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3 %	2.53	2.56	2.55 %	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80 %	3.51	3.51	3.51 %	Memenuhi

Berdasarkan tabel 3, hasil pengujian rekapitulasi agregat halus menggunakan standar ASTM sebagai berikut:

Pengujian kadar lumpur agregat halus diatas didapatkan hasil 4,72%, yang nilainya lebih kecil dari 5%, sehingga agregat halus dapat dijadikan bahan campuran mortar.

Pengujian kadar organik agregat halus diatas didapatkan hasil kadar organik di no.3, yang nilainya tidak kurang dari no.3, sehingga agregat halus dapat dijadikan sebagai bahan campuran mortar.

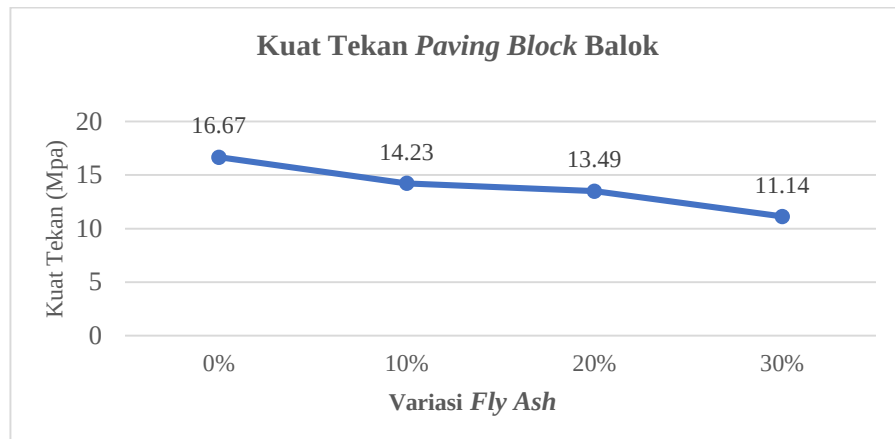
Pengujian kadar air diatas didapatkan hasil 4,10%, yang nilainya lebih kecil dari 5% sehingga agregat halus dapat digunakan pada campuran mortar.

Pengujian berat volume rongga agregat halus lepas didapatkan hasil 1,52 kg/liter, sedangkan pada pengujian berat volume padat didapatkan hasil 1,79 kg/liter, yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,4 – 1,9 kg/liter, sehingga aregat halus dapat dijadikan bahan campuran mortar.

Pengujian penyerapan air agregat kasar diatas didapatkan hasil 1,21%, yang nilainya masuk dalam interval maksimum 2%, sehingga dapat dijadikan bahan campuran mortar.

Pengujian berat jenis diatas didapatkan hasil 2,61%. Berat jenis kering didapatkan nilai sebesar 2,52%. Dan untuk berat jenis kering permukaan didapatkan hasil pengujian sebesar

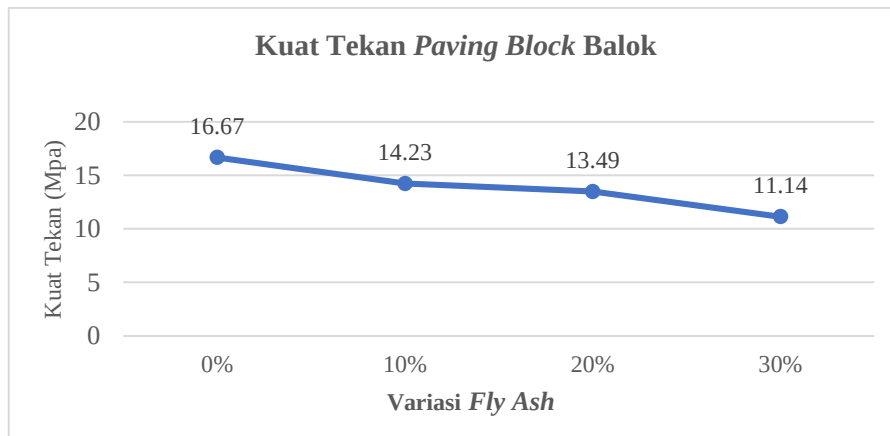
2,90%, yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6% - 3,3%, sehingga agregat halus dapat dijadikan bahan campuran mortar.



Gambar 4. Grafik hasil uji kuat tekan *paving block* balok.

Berdasarkan gambar 2, dapat dilihat bahwa grafik menunjukkan hasil uji kuat tekan rata-rata *paving block* balok variasi 10% FA mengalami penurunan dari variasi 0% FA sebesar 14,61%, untuk variasi 20% FA mengalami penurunan dari variasi 0% FA sebesar 19,10%, dan variasi 30% FA mengalami penurunan dari variasi 0% FA sebesar 33,15%.

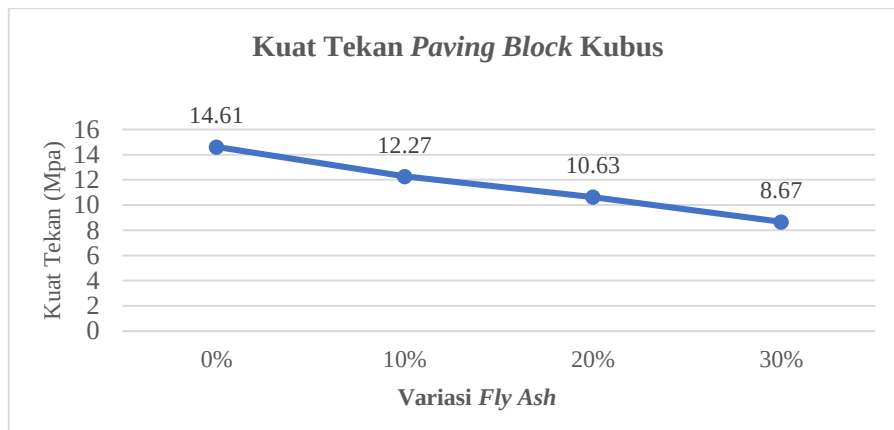
Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Balok



Gambar 5. Grafik hasil uji kuat tekan *paving block* balok.

Berdasarkan gambar 2, dapat dilihat bahwa grafik menunjukkan hasil uji kuat tekan rata-rata *paving block* balok variasi 10% FA mengalami penurunan dari variasi 0% FA sebesar 14,61%, untuk variasi 20% FA mengalami penurunan dari variasi 0% FA sebesar 19,10%, dan variasi 30% FA mengalami penurunan dari variasi 0% FA sebesar 33,15%.

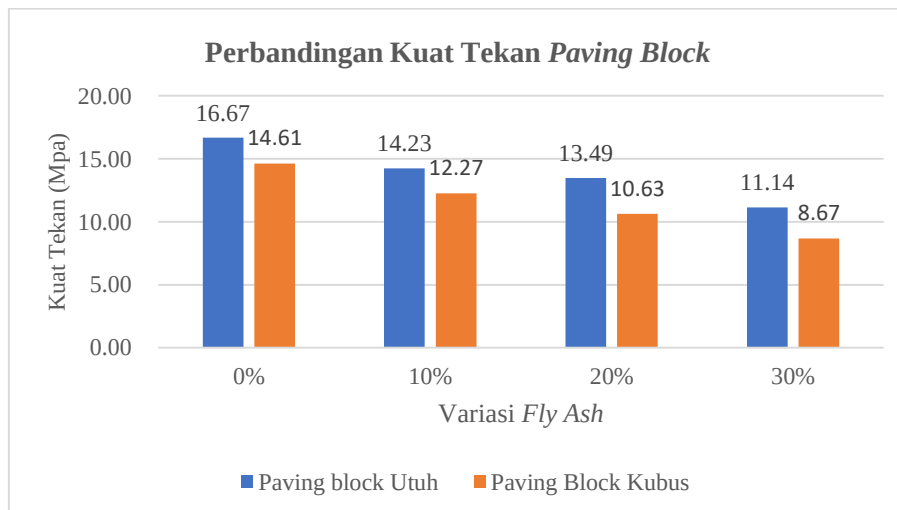
Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Kubus



Gambar 5. Grafik hasil uji kuat tekan *paving block* kubus.

Berdasarkan gambar 3, dapat dilihat bahwa grafik menunjukkan hasil uji kuat tekan rata-rata *paving block* kubus variasi 10% FA mengalami penurunan dari variasi 0% FA sebesar 14,61%, untuk variasi 20% FA mengalami penurunan dari variasi 0% FA sebesar 19,10%, dan variasi 30% FA mengalami penurunan dari variasi 0% FA sebesar 33,15%.

Pembahasan



Gambar 6. Grafik hasil kuat tekan *paving block* balok dan *paving block* kubus.

Berdasarkan gambar 4, dapat dilihat bahwa hasil uji kuat tekan rata-rata *paving block* balok dan *paving block* kubus yaitu, *paving block* balok variasi 0% FA sebesar 16,67 MPa dan *paving block* kubus variasi 0% FA sebesar 14,61 MPa, dengan hasil perbandingan selisih sebesar 2,06 MPa. Untuk *paving block* balok variasi 10% FA sebesar 14,23 MPa dan *paving block* kubus variasi 10% FA sebesar 12,27 MPa, dengan hasil perbandingan selisih sebesar

1,97 MPa. Untuk *paving block* balok variasi 20% FA sebesar 13,49 MPa dan *paving block* kubus variasi 20% FA sebesar 10,63MPa, dengan hasil perbandingan selisih sebesar 2,86 MPa. Untuk *paving block* balok variasi 30% FA sebesar 11,14 MPa dan *paving block* kubus variasi 30% FA sebesar 8,67 MPa, dengan hasil perbandingan selisih sebesar 2,47 MPa. Dari hasil analisis diatas, hasil perbandingan selisih kuat tekan rata-rata *paving block* balok lebih besar daripada *paving block* kubus pada setiap persentasi variasi *fly ash*.

Berdasarkan gambar 4, diketahui hasil uji kuat tekan yang optimum pada *paving block* balok dan *paving block* kubus yaitu, *paving block* balok normal atau variasi 0% FA sebesar 16,67 MPa (Mutu B) dan *paving block* kubus variasi 0% FA sebesar 14,61 MPa (Mutu C). *Paving block* normal menghasilkan kuat tekan lebih tinggi daripada penggunaan *fly ash* pada *paving block*, hal itu terjadi karena semen memiliki daya rekat yang kuat terhadap agregat dibanding abu batubara (*fly ash*).

Penggunaan *fly ash* pada *paving block* yang menghasilkan nilai optimum yaitu, *paving block* balok variasi 10% FA sebesar 14,23 MPa (Mutu C), dan *paving block* kubus variasi 10% FA sebesar 12,27 MPa (Mutu C). *Paving block* variasi 10% FA menghasilkan kuat tekan cukup baik. Hal ini terjadi karena kandungan silika dari abu batubara berikatan dengan kalsium hidroksida yang dilepaskan oleh semen pada saat bereaksi dengan air sehingga menghasilkan kuat tekan yang cukup baik.

Penggunaan *fly ash* pada *paving block* balok dan *paving block* kubus variasi 20% dan 30% mengalami penurunan kuat tekan. Hasil kuat tekan *paving block* balok variasi 20% FA sebesar 13,49 MPa (Mutu C) dan *paving block* kubus variasi 20% sebesar 10,63 MPa (Mutu D). Hasil kuat tekan *paving block* balok variasi 30% FA sebesar 11,14 MPa (Mutu D) dan *paving block* kubus variasi 30% FA sebesar 8,67 MPa (Mutu D). Semakin banyak penggunaan *fly ash* akan mengurangi kuat tekan *paving block*, hal ini karena semen yang berfungsi sebagai perekat jumlahnya semakin sedikit dan jumlah silika yang bertambah, sehingga banyak silika yang tidak bereaksi dengan kalsium hidroksida. Silika *fly ash* banyak yang tidak bereaksi, sehingga menyebabkan daya ikat antar agregat menjadi kurang.

Berdasarkan data-data yang telah di analisis, maka penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen pada *paving block* balok dan *paving block* kubus variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% *fly ash* menghasilkan nilai kuat tekan sesuai SNI 03-0691-1996.

KESIMPULAN

Berdasarkan metode *British Standard 6717* nilai faktor koreksi 1.18 dengan tebal 0,88 mm dari hasil pengujian kuat tekan rata-rata *paving block* balok menggunakan *fly ash* pada 3 variasi yaitu, variasi 10% sebesar 14,23 Mpa, variasi 20% sebesar 13,49 Mpa, dan variasi 30% sebesar 11,14 Mpa. Sedangkan menurut SNI 03-0691 1996 yaitu, *paving block* kubus variasi 10% sebesar 12,27 Mpa, variasi 20% sebesar 10,63 Mpa, dan variasi 30% sebesar 8,67 Mpa. Jadi hasil kuat tekan metode BS 6717 lebih kuat daripada SNI 03-0691 1996. Hasil kuat tekan *paving block* menggunakan *fly ash* yang optimum terdapat pada *paving block* balok variasi 10% sebesar 14,23 Mpa dan *paving block* kubus variasi 10% sebesar 12,27 Mpa.

DAFTAR PUSTAKA

- SNI 03-0691-1996. Standar bata beton (*paving block*). Dewan Standarisasi Nasional (DSN). Jakarta.
- British Standar. (2003). *Precast Concret Paving Block – Specification For Paving Blocks*. BS 6717 1:1986. BSI Publications. Landon.
- ASTM. (1995). *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia: ASTM.
- Tjokrodimuljo, K. (2007), *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Anggi Harystama, dkk (2020). Pengaruh Penambahan Abu Terbang (*Fly Ash*) Terhadap Kuat Tekan *Paving Block*. *CIVeng*. 1(1): 11-16.
- Sandri Linna Sengkey, dkk (2022). Pengaruh Substitusi Semen Portland terhadap Kinerja *Paving Blok* Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash* Tipe F. Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi (PTUV). Diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Manado: Manado.
- Dwinta, A., 2023. Kajian Efektivitas Dan Efisiensi Pemanfaatan Limbah Batu Bara Dalam Pembuatan *Paving Block* Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, 9(2).
- Tampubolon, J. 2023. PERAN STANDAR DALAM MENDUKUNG PEMANFAATAN LIMBAH *Fly Ash* Bottom Ash (FABA). *STANDAR: Better Standard Better Living*, 2(5), 17-21.
- Setiawati, M. (2018). *Fly Ash* Sebagai Bahan Penggati Semen Pada Beton. Prosing Semnastek.
- Asrisnawanti, A. (2023). Potensi Penggunaan Campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash* dengan Tanah Sebagai liner Material Penahan logam Berat. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Standar Nasional Indonesia. (1990). Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. SNI 03-1968-1990. Jakarta. Badan Standar Nasional.

- Standar Nasional Indonesia. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. SNI 1970:2008. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (1998). Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat. SNI 03-4804-1998. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2015). Semen Portland. SNI 2049:2015. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (1990). Metode Pengujian Kuat Tekan Beton SNI 03-1947-1990. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (1996). Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan 200 (0,0075 mm). Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2012). Metode Uji Bahan Lebih Halus Dari Saringan No. 200 Dalam Agregat Mineral Dengan Pencucian. SNI 03-4142-1996. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.