

## **Pemanfaatan Kombinasi Limbah *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Dalam Campuran Mortar Untuk *Paving Block***

**Yuri Khairizal\*, Ibrahim, Julian Fikri, Didi Yuda Wiranata,  
Tody Amanah, Mahmuda, Sumiati**

Politeknik Negeri Sriwijaya

\*Correspondence: yuri.khairizal@polsri.ac.id

**Abstrak.** Berbagai alternatif solusi untuk mengurangi limbah terus dicari dan dikembangkan. Hal ini termasuk *fly ash* dan *bottom ash* yang merupakan limbah hasil pembakaran batu bara, salah satunya dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sehingga kebutuhan akan listrik yang meningkat juga akan diikuti peningkatan jumlah limbah ini. Pemanfaatan limbah jenis ini dilakukan pada berbagai bidang ilmu, seperti pertanian, industri dan yang cukup banyak di bidang konstruksi. Sebagai salah satu bidang yang terus selalu berkembang seiring kebutuhan masyarakat untuk tinggal dan bergerak, pemanfaatan dalam bidang konstruksi akan berpotensi besar sebagai salah satu solusi pengurangan limbah ini. Pemanfaatan *fly ash* dan *bottom ash* pada campuran bahan konstruksi sebagai penambah mutu atau hanya sekadar pengurangan penggunaan material alam terus dilakukan. Penelitian ini akan fokus pada pemanfaatan limbah pada persentase yang besar pada skala produk konstruksi. Substitusi pada komposisi campuran mortar yang merupakan produk awal menunjukkan adanya pengaruh peningkatan mutu pada persentase yang relatif rendah pada variasi yang digunakan pada penelitian ini. Namun, substitusi limbah ini secara penuh sebagai pengganti material alam yaitu agregat halus masih termasuk dalam rentang yang cukup baik, terutama pada komposisi campuran mortar yang dengan target mutu yang relatif rendah atau pada rasio komposisi dengan lebih banyak material agregat dibandingkan semen atau pengikat.

**Kata Kunci:** abu terbang; abu dasar; limbah; mortar; bata beton.

**Abstract.** Various alternative solutions to reduce waste continue to be sought and developed. This includes *fly ash* and *bottom ash* which are waste products from burning coal, one of which is produced by Steam Power Plants (PLTU). So the increasing need for electricity will also be followed by an increase in the amount of waste. This type of waste is utilized in various fields of science, such as agriculture, industry and quite a lot in the construction sector. As a field that continues to develop along with people's need to live and move, utilization in the construction sector has great potential as a solution to reduce this waste. The use of *fly ash* and *bottom ash* in construction material mixtures as a quality enhancer or simply to reduce the use of natural materials continues to be carried out. This research will focus on the utilization of waste at a large percentage on a construction product scale. Substitution in the composition of the mortar mixture which is the initial product shows the effect of improving quality at a relatively low percentage in the variations used in this research. However, the full substitution of this waste as a substitute for natural materials, namely fine aggregate, is still in a fairly good range, especially in the composition of mortar mixtures with relatively low quality targets or in composition ratios with more aggregate material than cement or binder.

**Keywords:** *fly ash*; *bottom ash*; waste; mortar; paving block..

### **PENDAHULUAN**

Masalah limbah merupakan tantangan bagi hampir seluruh aspek dalam perkembangan suatu wilayah. Industri yang merupakan salah satu parameter perkembangan suatu wilayah termasuk dalam penyumbang limbah yang cukup besar pada lingkungan. Aspek lingkungan ini akan saling berkaitan dengan aspek-aspek lain, seperti masyarakat, ekonomi dan lainnya. Berbagai alternatif solusi masih terus dicari dan dimaksimalkan dengan harapan dapat menghilangkan permasalahan ini, atau setidaknya dapat mengurangi dampak dari permasalahan ini bagi lingkungan.

Salah satu yang erat kaitannya dengan industri dan juga fasilitas masyarakat pada umumnya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sebagai salah satu jenis penghasil tenaga listrik yang dapat dimanfaatkan luas bagi masyarakat, PLTU juga menjadi penyumbang limbah bagi lingkungan. Hal ini disebabkan karena hasil proses pembakaran batu bara yang terjadi akan menghasilkan limbah berupa abu sisa pembakaran, yang umumnya disebut abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*).

Salah satu cara untuk mengurangi abu sisa pembakaran ini adalah dengan melakukan pemanfaatan limbah ini untuk ditambahkan atau disubstitusikan kepada material lain sebagai alternatif material pengganti. Pemanfaatan limbah *fly ash* dan *bottom ash* ini telah dilakukan pada berbagai aspek penerapan ilmu. Pemanfaatan limbah *fly ash* sebagai koagulan telah coba diteliti oleh Abidin & Leksono (2021). Industri hulu konstruksi seperti industri semen juga memanfaatkan bahan limbah batu bara ini sebagai bahan tambah pada produksi dari produk semen itu sendiri.

Pemanfaatan limbah abu ini pada berbagai aspek produk konstruksi juga terus dilakukan. Firda & Yulianti (2023) dan Sumiati, dkk (2022), memanfaatkan *fly ash* sebagai bahan untuk stabilisasi tanah dan perkuatan *sub-grade* pada konstruksi jalan. Togubu, dkk (2019) memanfaatkan *bottom ash* sebagai material substitusi pasir pada pembuatan *paving block* hingga 50%. Sedangkan, Wiranata dkk (2022) melakukan penelitian pada skala laboratorium dengan penerapan evaluasi lapangan dengan menggunakan material *fly ash* dan *bottom ash* hingga 100% pada lapisan dasar perkerasan. Pemanfaatan dalam kadar yang besar ini tentu akan memberikan kontribusi yang besar juga dalam pengurangan limbah yang ada di lingkungan.

Dalam skala pemanfaatan yang umum digunakan di masyarakat seperti *paving block* dan sejenis, hal ini akan dapat memberikan manfaat yang cukup baik. Pemanfaatan limbah *fly ash* dan *bottom ash* dengan proporsi yang cukup besar akan berpotensi mengurangi hasil limbah yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan kombinasi limbah *fly ash* dan *bottom ash* pada campuran mortar. Selain itu, nilai hasil dari pengujian juga akan dilakukan penentuan klasifikasi penggunaan pada produk konstruksi berupa bata beton (*paving block*) yang merupakan salah satu produk lanjutan dari pembuatan campuran mortar.

## METODE

Penelitian menggunakan metode berbasis eksperimental. Prosedur pelaksanaan eksperimen ini dimulai dari pengujian karakteristik material, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, pengujian benda uji dan klasifikasi mutu bata beton (*paving block*).

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat halus lokal yang berasal dari Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. Jenis agregat halus yang digunakan adalah termasuk jenis pasir alam. Pemeriksaan karakteristik material agregat halus yang dilakukan antara lain adalah analisis saringan, kadar air, berat jenis agregat halus, kadar lumpur, berat volume dan kandungan organik. Pengujian karakteristik material mengacu pada SNI yang berlaku dalam pengujian karakteristik material dasar campuran mortar. Beberapa standar pengujian material agregat halus dan limbah yang digunakan antara lain SNI 03-4428-1997 untuk pemeriksaan kadar lumpur agregat, SNI 03-4804-1998 tentang berat isi dan SNI 1970-2008 untuk pengujian berat jenis.

Limbah *fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU Bukit Asam. Semen sebagai material pengikat menggunakan semen tipe Portland Composite Cement (PCC). Komposisi perencanaan campuran menggunakan metode pada SNI 6882 2014. Adapun spesifikasi properti yang tercantum dalam standar tersebut sesuai dengan tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1. Persyaratan Spesifikasi Properti Mortar**

Mortar	Tipe	Kuat Tekan Rata-rata	Retensi Air,	Kadar Udara,
		Umur 28 Hari, min	min	maks
		MPa	%	%
Semen Mortar	M	17,2	75	12
	S	12,4	75	12
	N	5,2	75	14
	O	2,4	75	14

Sumber: SNI 6882 2014

Berdasarkan tabel di atas, maka ditargetkan spesifikasi dengan jenis semen mortar untuk target kekuatan rata-rata pada umur 28 hari sebesar 12,4 MPa. Spesifikasi ini termasuk dalam spesifikasi semen mortar pada tipe S. Target perencanaan campuran ini yang akan digunakan sebagai spesifikasi semen mortar normal yang digunakan, sebagai acuan perbandingan pada mortar dengan pemanfaatan limbah kombinasi *fly ash* dan *bottom ash*. Target spesifikasi mortar ini diambil untuk mengimbangi

target mutu terendah dari target produk konstruksi *paving block* dengan mutu D yang membutuhkan nilai kuat tekan rata-rata minimal sebesar 10 kN.

Benda uji dibuat dalam bentuk kubus dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm. Jumlah benda uji tiap variasi adalah 3 benda uji. Variasi benda uji dibuat pada beberapa rasio campuran semen dan agregat halus, yaitu 1:2, 1:3 dan 1:4. Tiap rasio campuran ini akan dilakukan substitusi pada material agregat halus. Persentase substitusi agregat halus menggunakan kombinasi fly ash dan bottom ash sebanyak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Persentase substitusi sebesar 0% merupakan mortar normal, sedangkan persentase substitusi sebanyak 100% ialah mortar tanpa agregat halus. Benda uji akan dilakukan pengujian pada hari ke 28 hari untuk mengetahui potensi kuat tekan maksimum dari masing-masing variasi benda uji tersebut. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari akan menjadi acuan target kuat tekan yang diklasifikasikan pada tipe mortar dan *paving block* sesuai SNI yang berlaku. Perawatan benda uji dilakukan pada media air sesuai dengan umur rencana pengujian yang akan dilakukan.

Pengujian benda uji dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dengan skema pembebanan aksial pada permukaan penampang benda uji. Nilai kuat tekan merupakan nilai perbandingan antara beban aksial yang tercatat pada alat uji tekan terhadap luasan bidang tekan. Metode pengujian ini berdasarkan SNI 03 0691 1996.

$$\text{Kuat Tekan} = P/L \quad (1)$$

Keterangan:

P = Beban tekan, N

L = Luas bidang tekan, mm<sup>2</sup>

Bata beton (*paving block*) yang merupakan salah satu produk konstruksi lanjutan dari mortar memiliki beberapa klasifikasi mutu sesuai dengan mutu kuat tekan. Klasifikasi ini merupakan acuan dalam kelayakan penggunaan dari produk *paving block* di lapangan. Berikut ini merupakan tabel klasifikasi mutu *paving block* berdasarkan kuat tekan menurut SNI 03 0691 1996.

**Tabel 2. Klasifikasi Mutu *Paving Block* Berdasarkan Kuat Tekan**

Mutu	Kuat Tekan	
	Rata-rata MPa	Min. MPa
A	40	35
B	20	17
C	15	12.5
D	10	8.5

Sumber: SNI 03 0691 1996

Berdasarkan Tabel 2 di atas, didapatkan juga informasi penggunaan masing-masing klasifikasi *paving block* berdasarkan kategori mutu yang tertera, yaitu:

1. *Paving block* dengan mutu A digunakan untuk jalan;
2. *Paving block* dengan mutu B digunakan untuk peralatan parkir;
3. *Paving block* dengan mutu C digunakan untuk pejalan kaki;
4. *Paving block* dengan mutu D digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

Data hasil pengujian akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik, untuk memberikan informasi yang menyeluruh dari hasil pengujian dalam penelitian ini. Persentase perbandingan hasil pengujian berdasarkan variasi campuran juga akan dilakukan sebagai penjelasan lebih rinci dari keseluruhan hasil pengujian kuat tekan beton yang telah dilakukan.

## HASIL

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium, didapat data perencanaan campuran benda uji sesuai dengan variasi benda uji yang direncanakan dan data nilai hasil pengujian

kuat tekan pada benda uji. Komposisi perencanaan campuran mortar didapatkan dari metode perhitungan berdasarkan pada SNI 6882 2014 yang diuraikan pada tabel 3 berikut ini.

**Tabel 3. Komposisi Perencanaan Campuran Mortar Normal**

Komposisi Material		Mortar		
		1:2	1:3	1:4
Semen	gr	587	391	293
Agregat Halus	gr	1220	1220	1220
<i>Fly Ash</i>	gr	0	0	0
<i>Bottom Ash</i>	gr	0	0	0

Sumber: Data Olahan (2023)

**Tabel 4. Komposisi Perencanaan Campuran Mortar 100% Fly Ash Bottom Ash**

Komposisi Material		Mortar		
		1:2	1:3	1:4
Semen	gr	586	391	293
Agregat Halus	gr	0	0	0
<i>Fly Ash</i>	gr	421	421	421
<i>Bottom Ash</i>	gr	400	400	400

Sumber: Data Olahan (2023)

Komposisi perencanaan campuran benda uji mortar normal menggunakan agregat halus tanpa substitusi dan komposisi variasi lainnya secara bertingkat sebesar 25 % akan dilakukan substitusi dengan kombinasi *fly ash* dan *bottom ash*. Pembuatan benda uji akan disesuaikan dengan volume kebutuhan material benda uji berdasarkan kebutuhan jumlah benda uji per variasinya. Pelaksanaan pembuatan benda uji dilakukan dalam sekali *batch* per variasi benda uji.

Setelah proses perawatan benda uji selama 28 hari, maka dilakukan pengujian kuat tekan mortar dengan alat uji kuat tekan. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan benda uji pada umur 28 hari, didapatkan rata-rata hasil nilai pengujian yang ditampilkan pada Tabel 5 sebagai berikut.

**Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan**

Mortar	Kuat Tekan Mortar (kN)				
	Persentase Substitusi <i>Fly Ash Bottom Ash</i>				
	0%	25%	50%	75%	100%
1:2	35,26	39,47	27,08	26,33	24,64
1:3	28,72	30,41	26,06	25,07	23,54
1:4	26,07	28,08	24,45	23,79	22,87

Sumber: Data Olahan (2023)

Secara umum, nilai kuat tekan yang dihasilkan dari pengujian kuat tekan pada penelitian ini adalah berkisar antara 22 kN hingga 39 kN. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada mortar dengan variasi substitusi sebesar 25% limbah *fly ash* dan *bottom ash*, sedangkan nilai kuat tekan rata-rata terendah terdapat pada variasi substitusi sebesar 100 % atau menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* secara penuh dalam mengganti material agregat halus.

**Tabel 6. Pengaruh Persentase Substitusi Terhadap Hasil Kuat Tekan**

Mortar	Persentase Pengaruh Substitusi Terhadap Kuat Tekan			
	Persentase Substitusi <i>Fly Ash Bottom Ash</i>			
	25%	50%	75%	100%
1:2	12%	-23%	-25%	-30%
1:3	5%	-8%	-10%	-15%
1:4	6%	-5%	-6%	-9%

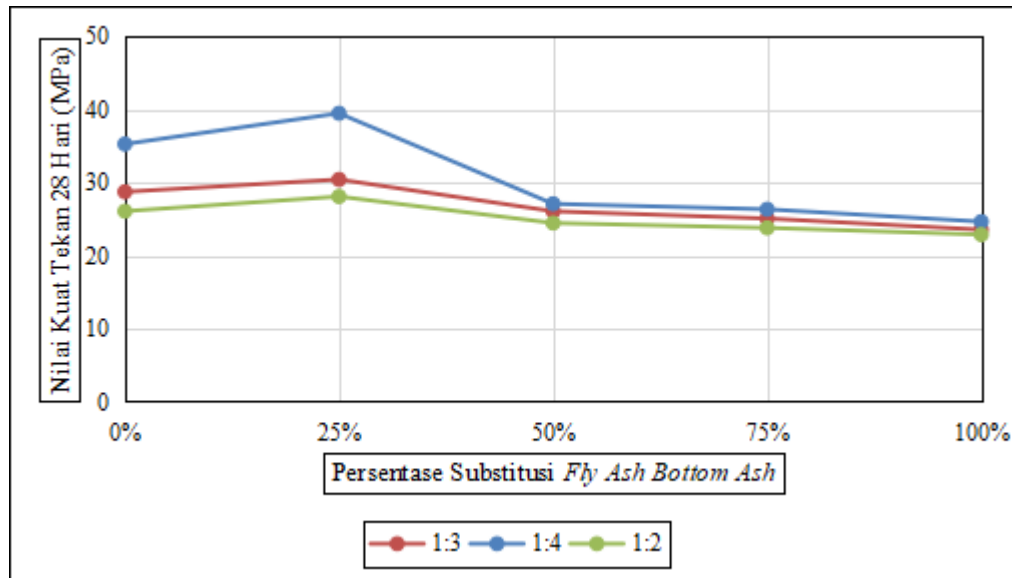
Sumber: Data Olahan (2023)

Pada variasi mortar 1:2, nilai kuat tekan tertinggi adalah 35,26 kN dan terendah sebesar 24,64 kN. Terjadi peningkatan sekitar 3 kN atau 12 % pada penggunaan substitusi sebesar 25%.

Selanjutnya, nilai kuat tekan langsung menurun pada substitusi sebesar 50 % hingga 100 %. Penurunan kuat tekan paling besar terjadi pada persentase substitusi fly ash dan bottom ash sebesar 100 % atau penggunaan secara penuh fly ash dan bottom ash.

Pola peningkatan dan penurunan nilai kuat tekan pada campuran mortar 1:3 dan 1:4 relatif sama dengan pola peningkatan dan penurunan pada campuran mortar 1:2. Namun, penurunan terbesar nilai kuat tekan mortar terjadi pada campuran mortar 1:2 dengan variasi substitusi sebesar 100 %.

Selisih nilai kuat tekan antara variasi substitusi yang paling rendah adalah pada campuran mortar 1:4. Peningkatan dan penurunan yang terjadi masih berkisar 10 % terhadap kuat tekan mortar normal. Nilai peningkatan maksimal sebesar 6 % atau lebih kurang 2 kN dan penurunan maksimal sebesar 9 % atau sekitar 4 kN. Berikut ini ditampilkan grafik dari hasil pengujian kuat tekan mortar yang telah dilakukan.



Gambar 1. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan

Sumber: Data Olahan (2023)

Berdasarkan gambar 1, pola hasil kuat tekan pada masing-masing komposisi rasio campuran mortar dan variasi substitusinya relatif sama. Peningkatan pada persentase kecil pada variasi substitusi agregat halus dengan limbah dan terjadi penurunan pada penggantian agregat halus sekitar setengah bagiannya hingga penggantian agregat halus secara penuh dengan limbah.

### Pembahasan

Pemanfaatan limbah fly ash dan bottom ash pada komposisi substitusi seperempat dari jumlah agregat halus yang diperlukan, tidak hanya memberikan manfaat penggunaan limbah sebagai salah satu cara yang berpotensi mengurangi keberadaan limbah, namun juga memberikan manfaat berupa peningkatan mutu kuat tekan dari campuran mortar itu sendiri. Namun jika untuk memaksimalkan pemanfaatan limbah, penggunaan secara penuh sebagai pengganti agregat halus merupakan pilihan yang cukup baik, terutama pada komposisi penggunaan agregat halus yang cukup banyak. Namun di sisi lain, komposisi rasio semen dan agregat halus sebesar 1:4 juga memberikan nilai mutu kuat tekan yang tergolong cukup rendah dibandingkan rasio yang lebih kecil.

Tabel 7. Klasifikasi Mutu Paving Block

Mortar	Klasifikasi Mutu Paving Block			
	Persentase Substitusi Fly Ash Bottom Ash			
	0%	Mutu	100%	Mutu
1:2	35,26 kN	B	24,64 kN	B
1:3	28,72 kN	B	23,54 kN	B
1:4	26,07 kN	B	22,87 kN	B

Sumber: Data Olahan (2023)

Klasifikasi mutu *paving block* dilakukan dari hasil pengujian kuat tekan mortar kubus pada umur mortar 28 hari sesuai dengan SNI 03 0691 1996. Secara keseluruhan, nilai kuat tekan dari mortar termasuk ke dalam mutu *paving block* tipe B. Hal ini dikarenakan nilai kuat tekan secara keseluruhan berada pada rentang nilai 20 kN hingga 39 kN. Sehingga, dengan menggunakan kombinasi rasio campuran dengan pemanfaatan limbah *fly ash* dan *bottom ash* secara penuh juga termasuk dalam kategori mutu *paving block* yang bisa dimanfaatkan untuk peralatan parkir, fasilitas pejalan kaki, taman dan penggunaan yang lebih sederhana. Jika ingin ditingkatkan menjadi kategori mutu *paving block* yang lebih tinggi, maka kemungkinan diperlukan penggunaan rasio campuran mortar dengan target mutu yang lebih tinggi, yaitu perencanaan mutu di atas campuran mortar 1:2.

## SIMPULAN

Perencanaan rasio mortar yang digunakan pada penelitian ini adalah pada rentang 1:2 hingga 1:4. Rasio komposisi ini merupakan rasio perbandingan antara semen dan agregat halus. Substitusi limbah *fly ash* dan *bottom ash* dilakukan terhadap persentase kebutuhan agregat halus dalam komposisi campuran mortar. Acuan klasifikasi mutu yang digunakan dalam produk konstruksi adalah klasifikasi mutu produk *paving block*.

Substitusi *fly ash* dan *bottom ash* yang cukup kecil dapat meningkatkan mutu kuat tekan, sedangkan dengan substitusi lebih dari seperempat jumlah agregat halus akan menurunkan mutu kuat tekan. Peningkatan mutu terbesar terjadi hingga 12 % dan penurunan mutu terbesar sebesar 30%. Perubahan mutu kuat tekan akibat substitusi limbah cukup rendah terjadi pada perencanaan komposisi mutu yang rendah. Sedangkan, pengaruh perubahan nilai kuat tekan yang cukup tinggi terjadi pada perencanaan komposisi mutu yang lebih tinggi.

Pemanfaatan substitusi material dari kombinasi *fly ash* dan *bottom ash* dapat memenuhi spesifikasi untuk dapat digunakan dalam pembuatan *paving block* yang telah sesuai dengan standardisasi yang berlaku di Indonesia dalam SNI 03 0691 1996. *Paving block* dengan pemanfaatan substitusi kombinasi *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus pada penelitian ini dapat termasuk dalam kategori mutu B. Kategori mutu ini merupakan produk konstruksi yang dapat dimanfaatkan untuk peralatan parkir, infrastruktur pejalan kaki, taman dan penggunaan lain. Namun, produk *paving block* dengan substitusi *fly ash* dan *bottom ash* pada penelitian ini belum dapat digunakan pada fungsi yang lebih tinggi seperti halnya penggunaan dalam infrastruktur jalan, dimana boleh digunakan jika produk *paving block* masuk dalam kategori mutu A atau dengan nilai rata-rata kuat tekan di atas 30 kN.

Dilihat dari pola hasil penelitian, potensi pemanfaatan substitusi *fly ash* dan *bottom ash* yang lebih besar bisa didapatkan pada penggunaan komposisi rasio campuran mortar yang lebih tinggi. Namun, potensi penurunan mutu kuat tekan ini mungkin akan didapatkan, sebagai efek dari peningkatan komposisi rasio campuran mortar yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, A., & Leksono, E.B. 2021. Pemanfaatan Limbah *Fly Ash* Batu bara Sebagai Koagulan Dengan Konsep Reverse Logistics. *Jurnal ITECH*, 7(1), p39-44.
- Firda, A., & Yulianti, D. 2022. Penggunaan Limbah *Fly Ash* Dan Epoxy Resin Sebagai bahan Stabilisasi Tanah Terhadap Daya Dukung Tanah Di Jalan Irigasi Palembang. *Jurnal Deformasi*, 7(1), 10-20.
- Sumiati, dkk. 2022. Efektivitas Penggunaan Difa SS Pada *Soil-Bottom Ash* Dan *Soil Cement* Dalam Meminimalkan Kerusakan Sub-Grade Jalan. *Teras Jurnal*, 12(1), 257-266.
- Togubu, J., dkk. 2019. Klas Mutu *Paving Block* Yang Menggunakan *Bottom Ash* Limbah Batu Bara Sebagai bahan Pengganti Sebagian Agregat Pasir. *Jurnal of Science and Engineering*, 24-32.
- SNI 03-0691.1996. Bata Beton (*Paving Block*). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-4428-1997. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1970-2008 Cara Uji Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 6882-2014. Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Unit Pasangan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

**Yuri Khairizal et al.**, *Pemanfaatan Kombinasi Limbah Fly Ash dan Bottom Ash Dalam Campuran Mortar Untuk Paving Block*

Wiranata, D.Y., dkk. 2022. *Use of coal Ash Cement Stabilized Material as Pavement Base Material: Laboratory Characterization And Field Evaluation*. *Science Direct: Construction and Building Materials*, 344.