

Pengaruh Penambahan Limbah *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan dan Penyerapan Air Batako

Luckiantoro Rangga Dwi Putra ^[1], Anang Kristianto ^{[1]*}

^[1] Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung, 40164, Indonesia

Email: anang.kristianto@eng.maranatha.edu*

*) Correspondent Author

Received: 27 February 2024; Revised: 02 December 2024; Accepted: 13 Januari 2025

How to cited this article:

Putra, L.R.D.P., Kristianto, A., (2025). Pengaruh Penambahan Limbah *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan dan Penyerapan Air Batako. Jurnal Teknik Sipil, 21(2), 259–276. <https://doi.org/10.28932/jts.v21i1.8453>

ABSTRAK

Penggunaan limbah *fly ash* (abu terbang) dalam campuran batako adalah salah satu cara dalam mengurangi limbah hasil pembakaran batu bara dari aktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Partikel *fly ash* yang kecil dapat mengurangi rongga pada batako sehingga mampu meningkatkan kuat tekan dan mengurangi penyerapan air. Penelitian ini memiliki tujuan untuk memanfaatkan abu terbang PT. Pesona Khatulistiwa Nusantara sebagai campuran batako ramah lingkungan yang diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan dan mengurangi penyerapan air. Analisis ini dilakukan berdasarkan pedoman SNI 03-0349-1989 dan validasi data dilakukan melalui uji eksperimental dengan membuat variasi benda uji batako. Setiap variabel memiliki perbedaan persentase komposisi abu terbang. Komposisi tersebut untuk di laboratorium menggunakan abu terbang basah sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 35%, 40% sedangkan untuk komposisi di lapangan kondisi abu terbang basah sebesar 0%, 10%, 20%, 25%, 30%, terdapat variabel tambahan abu terbang kering 20%. Perbedaan komposisi ini mengambil 4 terbaik dari hasil pengujian kuat tekan di laboratorium. Hasil pengujian batako di lapangan dengan komposisi 30% abu terbang basah memiliki kuat tekan tertinggi yaitu 21,04 MPa dengan penyerapan air sebesar 9,45%, batako tersebut memenuhi kategori I penyerapan air.

Kata kunci: Abu Terbang, Batako, Kuat Tekan

ABSTRACT. *The Effect of Adding Fly Ash Waste on the Compressive Strength and Water Absorption of Brick Bricks. The method of reduce waste from coal combustion from Steam Power Plant activities to add fly ash into the brick mixture. The small particles can reduce voids in the brick, thereby increasing compressive strength and reduce water absorption This research aims to utilize fly ash Pesona Khatulistiwa Nusantara LLC as an environmentally friendly brick mixture which is expected to increase compressive strength and reduce water absorption. This analysis was conducted based on SNI 03-0349-1989, data validation through experimental tests by making variations of brick test specimens. Each variable has a different percentage of fly ash composition, the composition in the laboratory uses wet fly ash is 0%, 10%, 20%, 30%, 35%, 40% and the composition on site using wet fly ash is 0%, 10%, 20%, 25%, 30%, there is an additional variable of 20% dry fly ash. This difference in composition takes the best 4 results from laboratory testing. The result of testing bricks with 30% fly ash addition on site had the highest compressive strength of 21.04 Mpa with an average water absorption of 9.45%, these bricks have been categorized as category I with water absorption.*

Keywords: *Fly Ash, Brick, Compressive Strength*

1. PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan menjadikan sebuah ancaman yang serius bagi manusia. Isu permasalahan lingkungan ini menimbulkan berbagai faktor kerusakan alam di berbagai kota yang masih belum mendapatkan penanganan yang memadai dari pemerintah. Hasil eksploitasi manusia dan kurangnya kesadaran masyarakat terhadap lingkungan ini menimbulkan beberapa faktor kerusakan alam seperti pencemaran. PT. Pesona Khatulistiwa Nusantara (PT. PKN), terletak di Kabupaten Bulungan Provinsi Kalimantan Utara, bergerak di bidang pertambangan batu bara dan mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebagai penambah pasokan listrik di Kabupaten Bulungan. Pemakaian batu bara yang tinggi terhadap PLTU menimbulkan dampak kerusakan terhadap lingkungan. Diperkirakan dalam setiap tahunnya terdapat lebih dari 500 juta ton *fly ash* atau abu terbang di seluruh dunia (Syafri Rahmadini et al., 2016). Limbah yang dihasilkan dari proses pada batu bara, dengan fasilitas *stoker boiler* dan tungku industri dalam pembuatan *steam* pada pembakaran temperatur yang rendah dapat menghasilkan limbah *fly ash* dan *bottom ash*, yang mana limbah tersebut merupakan limbah non B3. Meskipun sudah dikategorikan limbah non B3, penanganan yang dilakukan terhadap limbah batu bara ini memunculkan hal yang dianggap serius, karena pengelolaannya masih banyak yang dilakukan dengan cara *landfill*. Dampak yang diberikan dengan cara *landfill* ini sangat buruk terhadap lingkungan terutama bagi pencemaran air tanah.

Sisa hasil pembakaran batu bara dari *boiler* PLTU ini terdiri dari partikel amorf halus dan berbentuk *pozzolan* atau dapat disebut *fly ash*. Limbah ini umumnya hasil dari aktivitas industri pembangkit listrik yang kemudian akan memproduksi dua limbah yaitu *fly ash* dan *bottom ash*. Persentase residu ini sekitar 80% itu merupakan *fly ash* dan 20% berupa *bottom ash* (Rahmatul Aida et al., 2018). Partikel residu padatan berupa *fly ash* akan keluar melalui cerobong asap, sedangkan *bottom ash* akan terkumpul di dasar tungku pembakaran (Sukandarrumidi, 2009). Sebagian besar dari kandungan *fly ash* ini terdiri dari oksida-oksida silika (SiO_2) 50.60%, aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan belerang trioksida (SO_3) selain itu adapun dalam jumlah yang sedikit seperti potasium, sodium, titanium, dan sulfur. (Firman et al., 2020). Unsur-unsur partikel dalam *fly ash* ini akan terkumpul pada elektrostatis precipitator, biasanya ukurannya kecil yaitu 0,074 hingga 0,005 mm. Kandungan *fly ash* ini memiliki sifat kimia yang dapat dipengaruhi oleh berbagai jenis batu bara ketika dibakar maupun dalam teknik penyimpanannya yang dilakukannya hingga penanganan terhadap *fly ash*.

Fly ash yang diproduksi dari hasil pembakaran batu bara ini memiliki komposisi dan klasifikasinya tersendiri. Umumnya *fly ash* dikategorikan menjadi 3, yaitu kelas N, F dan C. Kategori tersebut umumnya memiliki komposisi uraian yang berbeda untuk setiap kelasnya. Komposisi dan klasifikasi *fly ash* tersebut di sajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi dan Unsur Kimia dalam *Fly Ash*

Uraian	Kelas			Semen
	C	F	N	
SiO ₂	51,90	50,90	58,20	22,60
Al ₂ O ₃	25,80	15,70	18,40	4,30
Fe ₂ O ₃	6,98	5,80	9,30	2,40
CaO	8,70	24,30	3,30	64,40
MgO	1,80	4,60	3,90	2,10
SO ₂	0,60	3,30	1,10	2,30
Na ₂ O dan K ₂ O	0,60	1,30	1,10	0,60

Sumber: Ratmayana, 2003

Pada dasarnya *fly ash* jenis F maupun jenis C memiliki karakteristik yang hampir sama, namun terdapat perbedaan komposisi yang terkandung pada *fly ash* jenis F maupun C, perbedaan tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ketentuan Klasifikasi Kelas Untuk *Fly Ash* C dan F

Uraian	Kelas	
	C	F
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ , min, %	50	70
SO ₃ , maks, %	5	5
Kadar air, maks, %	3	3
Hilang pijar, maks, %	6	6
CaO	≥10%	<10%

Sumber: ASTM C.618 (1996) Volume 04.02 *fly ash*

Sifat *pozzolan* yang terdapat dalam material *fly ash* sangat bermanfaat untuk bahan bangunan. *Pozzolan* merupakan suatu bahan yang terbuat dari kandungan material silika dan alumina. Material ini tidak memiliki sifat seperti semen, namun sifat ini akan terbentuk menjadi suatu massa padat tidak dapat larut dalam air dengan bantuan air (Tjokrodinuljo, 1996). Sifat tersebut yang membuat industri bahan bangunan banyak menggunakan sifat ini karena mampu meningkatkan ketahanan dalam produksi semen. *Fly ash* memiliki bentuk partikel yang bulat dan sangat kecil sehingga dapat mengurangi *void*, karena itu jika mencampurkan *fly ash* dengan jumlah yang banyak, maka dapat mengurangi jumlah air yang dibutuhkan (Naganathan Sivakumar et al., 2015). Hal tersebut karena ukuran *fly ash* yang kecil mampu mengisi ruang kecil atau *void*, semakin tertutup rongga maka mampu untuk meningkatkan mutu tekan yang tinggi dan mengurangi penyerapan air.

Fly ash termasuk ke dalam salah satu limbah aktivitas PLTU. Limbah *fly ash* ini akan menjadi pemicu masalah bagi pencemaran lingkungan jika tidak dimanfaatkan (Ardha, 2003). Salah satu alternatif untuk memanfaatkan *fly ash* yaitu dengan menambahkan limbah *fly ash* ini pada batako. Pemanfaatan *fly ash* pada campuran batako ini dapat dinilai sebagai alternatif untuk mengurangi limbah *fly ash* sehingga diharapkan dengan penambahan *fly ash* ini mampu meningkatkan sifat mekanik dan fisik pada batako. Penggunaan *fly ash* ini memiliki kontribusi dalam pengurangan dalam penggunaan semen pada pencampuran komposisi bata dan menjadikan batako dengan campuran *fly ash* ini sebagai batako yang ramah lingkungan.

Batako adalah jenis bata yang dibuat dengan beberapa campuran seperti bahan perekat hidrolis atau pasta, agregat halus, air dan tanpa menggunakan bahan tambahan lainnya. Ukuran lubang yang dimiliki pada batako ini biasanya lebih besar dari 25% ukuran bata dan umumnya pada isian lubangnya lebih besar dari 25% dari bata (PUBI, 1982). Umumnya batako ini memiliki syarat fisis sehingga dapat dibedakan menjadi empat tingkatan mutu seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Tingkatan Mutu Bata Beton

Syarat Fisis	Satuan	Tingkat mutu bata beton pejal				Tingkat mutu bata beton berlubang			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
Kuat tekan bruto* rata rata min.	kg/cm ²	100	70	40	25	70	50	35	20
Kuat tekan bruto masing masing benda uji min.	kg/cm ²	90	65	35	21	56	45	30	17
Penyerapan air rata rata, maks.	%	25	35	-	-	25	35	-	-

Sumber: SNI 03-0349-1989

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan *fly ash* yang dihasilkan dari PLTU milik PT. Pesona Khatulistiwa Nusantara sebagai campuran batako ramah lingkungan yang diharapkan mampu meningkatkan kuat tekan pada batako yang telah diberikan komposisi *fly ash* dan menurunkan penyerapan air pada batako, sehingga mampu memenuhi kategori tingkatan mutu bata beton dan membandingkan antara batako campuran *fly ash* dengan batako konvensional.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Pembuatan benda uji batako dilakukan di dua tempat yang berbeda yaitu di laboratorium dan di lapangan. Pengujian laboratorium dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha untuk mendapatkan 4 hasil terbaik pengujian kuat tekan dan penyerapan air, yang kemudian benda uji tersebut di buat kembali di lapangan. Pengujian di lapangan dilakukan di PT. Pesona Agri Khatulistiwa sebagai tempat produksi batako. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh ketentuan-ketentuan standar yang berlaku dan relevan.

2.1 Benda Uji

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan kuat tekan maksimal dan penyerapan air yang terjadi pada benda uji. Ukuran sampel batako yang digunakan di laboratorium adalah 5 cm x 5 cm x 5 cm, sedangkan ukuran yang digunakan di lapangan adalah 8 cm x 15 cm x 30 cm. Dalam penelitian ini terdapat variasi pada batako, untuk di laboratorium setiap variabelnya memiliki 6 buah benda uji (metode rendam air). Berbeda dengan di lapangan yaitu setiap variabel memiliki 24 buah benda uji (metode tanpa perawatan dan metode rendam air). Perbandingan semen dan pasir untuk batako konvensional adalah 1 semen : 6 pasir, semen akan berkurang seiring dengan penambahan komposisi *fly ash*. *Fly ash* yang digunakan ada 2 jenis yaitu *fly ash* basah dan *fly ash* kering. *Fly ash* basah berasal dari *fly ash* yang dibiarkan di tempat terbuka sehingga memungkinkan bahwa *fly ash* tersebut terkena hujan. *Fly ash* kering berasal dari *fly ash* basah yang sudah dikeringkan melalui proses pengeringan. Persentase *fly ash* basah di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 35% dan 40% seperti pada Tabel 4, sedangkan variabel yang ada di PT. Pesona Agri Khatulistiwa merupakan 4 variasi penambahan *fly ash* basah dengan hasil tertinggi pada pengujian laboratorium yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30%, namun didasari hasil dari *trial mix* terdapat penambahan variabel baru yaitu variabel *fly ash* basah sebesar 25% dan *fly ash* kering 25% seperti dalam Tabel 5.

Tabel 4. Komposisi Penyusun Batako Pengujian Laboratorium

Variabel	Perbandingan Volume Campuran	Kadar <i>Fly Ash</i>
B-16-0	1 : 6	0%
B-16-10	0.9 : 6 : 0.1	10%
B-16-20	0.8 : 6 : 0.2	20%
B-16-30	0.7 : 6 : 0.3	30%
B-16-35	0.65 : 6 : 0.35	35%
B-16-40	0.6 : 6 : 0.4	40%

Tabel 5. Komposisi Penyusun Batako Pengujian Lapangan

Variabel	Perbandingan Volume Campuran	Kadar <i>Fly Ash</i>
B-W-0	1 : 6	0%
B-W-10	0.9 : 6 : 0.1	10%
B-W-20	0.8 : 6 : 0.2	20%
B-D-20	0.8 : 6 : 0.2	20%
B-W-25	0.75 : 6 : 0.25	25%
B-W-30	0.6 : 6 : 0.3	30%

2.2 Pembuatan Benda Uji di Laboratorium

Proses pembuatan pada setiap benda uji yang dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha adalah dengan mempersiapkan terlebih dahulu seperti air,

pasir, dan *fly ash* basah (W) dengan komposisi yang telah ditentukan sebelumnya. Langkah selanjutnya adalah mengaduk campuran batako tersebut dengan menggunakan *mixer machine* seperti dalam Gambar 1a. Proses pencetakan batako ini menggunakan *tamper* dan pelat ditumbuk 3 lapisan dengan tumbukan per lapisannya sebanyak 25x seperti dalam Gambar 1b.



a)



b)

Gambar 1. Proses Pembuatan Benda Uji
a) Pengadukan Benda Uji, b) Pencetakan Batako

2.3 Pembuatan Benda Uji di Lapangan

Proses pembuatan pada setiap benda uji yang dilakukan di PT. Pesona Agri Khatulistiwa, adalah dengan mempersiapkan bahan-bahan untuk batako seperti air, pasir, semen, dan *fly ash* dari hasil perhitungan komposisi. Material *fly ash* di Lapangan ini memiliki 2 kondisi *fly ash* yaitu kering (D) dan basah (W). Proses pengadukan menggunakan *mixer machine* seperti dalam Gambar 2a. Pada proses pencetakan batako ini menggunakan alat pencetakan batako atau mesin *press* batako seperti dalam Gambar 2b



a)



b)

Gambar 2. Tahapan Dalam Pembuatan Benda Uji
a) Pengadukan Benda Uji, b) Pencetakan Batako

2.4 Pengujian Benda Uji

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan kuat tekan maksimal dan penyerapan air yang terjadi pada benda uji. Pada setiap benda uji harus diukur panjang, lebar, tingginya untuk menguji kuat tekan dan ditimbang beratnya untuk pengujian penyerapan air. Benda uji diletakan pada permukaan mesin uji tekan, kemudian nyalakan mesin uji tekan. Ketika benda uji tersebut telah hancur maka beban maksimum yang diterima benda uji dapat dibaca seperti Gambar 3. Pengujian kuat tekan di laboratorium dilakukan pada umur 7 hari, 28 hari, dan 56 hari; sedangkan di lapangan dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari. Pengujian pada penyerapan air dilakukan untuk mengecek kadar air yang terdapat di dalam batako.



a)



b)

Gambar 3. Pengujian Kuat Tekan
a) Pengujian Lapangan, b) Pengujian Laboratorium

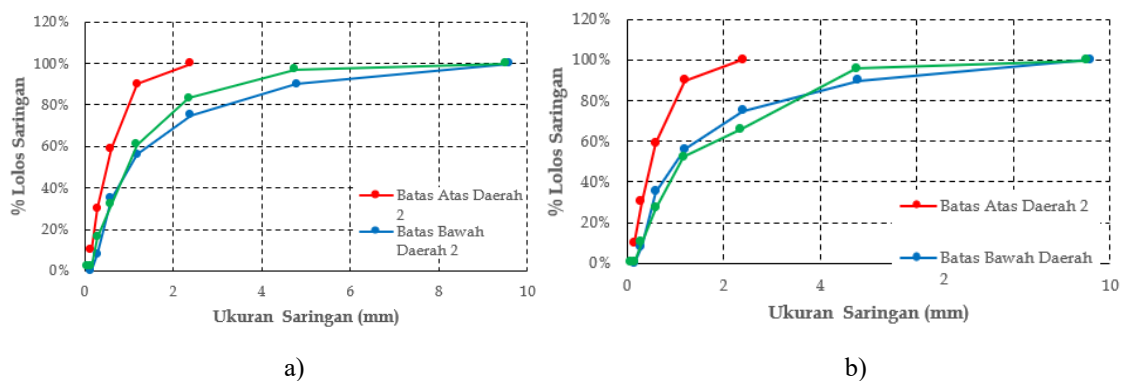
3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Sieve Analysis Pasir

Analisis ini dilakukan sesuai dengan pedoman SNI 03-1968-1990 terkait Modulus Halus Butir (MHB). Pengujian *sieve analysis* pada pasir alam yang berasal dari sungai yaitu pasir sirtu ini melibatkan dua tempat, yaitu di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha dan Laboratorium PT. Megah Energi Khatulistiwa. Analisis yang dilakukan ini menggunakan saringan dengan ukuran No. 4, 8, 16, 30, 50, dan 100. Proses pengayakan yang dilakukan di dua tempat ini memiliki perbedaan. Proses pengayakan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha ini menggunakan *sieve shaker* sedangkan untuk proses pengayakan di lapangan dilakukan dengan cara manual. Hasil dari kategori pasir sirtu ini dapat dilihat melalui grafik gradasi, untuk melihat pasir yang diuji ini masuk ke dalam kategori pasir kasar, sedang, agak halus, atau halus.

Berdasarkan hasil pengujian *sieve analysis* di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, hasil pemeriksaan Modulus Halus Butir (MBH) pada sirtu ini didapatkan 3,08 dan hasil tersebut sesuai dengan batas MHB yang diizinkan sebesar 1,5 hingga 3,8 sehingga terlihat gradasi agregat halus tersebut masuk ke dalam kategori daerah II atau pasir sedang. Hasil gradasi dari pengujian *sieve analysis* pada sirtu dapat dilihat pada Gambar 4a.

Pengujian *sieve analysis* ini dilakukan juga di lapangan (PT. Pesona Agri Khatulistiwa) menggunakan laboratorium PT. Megah Energi Khatulistiwa. Pemeriksaan MHB didapatkan sebesar 3,49 dan hasil *sieve analysis* tersebut masuk ke dalam kategori daerah gradasi II. Hasil pengujian *sieve analysis* pada sirtu disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar 4b.



Gambar 4. Grafik Gradasi Pasir, a) Laboratorium, b) Lapangan

3.2 Pengujian Kuat Tekan Batako Laboratorium

Penelitian kuat tekan ini menghitung beban maksimum yang dapat diterima oleh batako pada umur ke 7, 28, dan 56 hari. Data dari hasil pengujian kuat tekan ini dapat berupa tabel dan grafik agar mudah untuk mengamati hasil dari pengujian kuat tekan pada variasi batako yang diberikan penambahan *fly ash*. Pengujian hasil kuat tekan pada batako ini dilakukan sesuai dengan pedoman SNI-03-0349-1989. Pengujian kuat tekan ini diuji menggunakan mesin *compression test*.

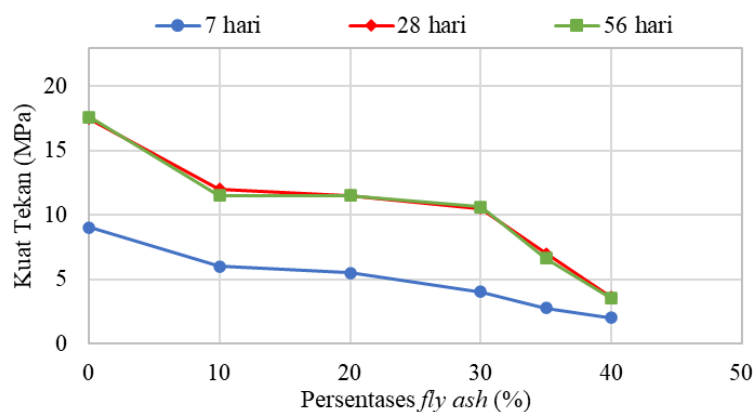
Dari hasil pengujian kuat tekan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Kristen Maranatha terlihat bahwa setiap penambahan *fly ash* dalam campurannya semakin menurun. Untuk kuat tekan tertinggi yaitu 17,6 MPa dengan variasi tidak terdapat penambahan *fly ash* dan kuat tekan terendah yaitu sebesar 3,5 MPa dengan variasi penambahan *fly ash* sebesar 40%. Terlihat bahwa batako pada hari ke 56 kuat tekan yang dihasilkan bertambah namun sedikit, hal ini dikarenakan pada hari ke 28 batako sudah mencapai 99% kekuatan betonnya. Menurut hasil tersebut pada variasi penambahan *fly ash* 10% hari ke 28 merupakan puncak dari kuat tekan yaitu 12 MPa, namun pada hari ke 56 kuat tekan tersebut menurun menjadi 11 Mpa hal ini dapat diakibatkan beberapa faktor.

Variasi penambahan *fly ash* 0% hingga 30% ini memenuhi tingkat mutu I, namun untuk variasi penambahan *fly ash* 35 % dan 40 % ini telah memenuhi Tingkat mutu II menurut pedoman SNI 03-0349-1989. Hasil dari pengujian kuat tekan pada batako dapat ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Kuat Tekan Batako Pengujian Laboratorium

No	Variabel	Kuat Tekan (MPa)								
		Hari Ke-7			Hari Ke-28			Hari Ke-56		
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	\bar{x}	Benda Uji 1	Benda Uji 2	\bar{x}	Benda Uji 1	Benda Uji 2	\bar{x}
1	B-16-0	12	6	9	17	18	17,5	186,2	17	17,6
2	B-16-10	8	4	6	14	10	12	9	13	11
3	B-16-20	5	6	5,5	12	11	11,5	10	13	11,5
4	B-16-30	4	4	4	12	9	10,5	10	11,2	10,6
5	B-16-35	2,5	3	2,75	6	8	7	6	7,2	6,6
6	B-16-40	2	2	2	4	3,2	3,6	3	4	3,5

Dari hasil analisis pada pengujian kuat tekan ini menurut penelitian lainnya, ada beberapa kasus kondisi batako ketika ditambahkan *fly ash* ini kuat tekan yang dihasilkan cenderung menurun, hal ini dapat disebabkan agregat yang ditambahkan ini tidak mampu merekat sehingga dalam perekatannya lebih rendah daripada semen (Setiawan et al., 2017). Menurut penelitian lain, salah satu alasan batako ini mengalami penurunan kuat tekan dapat disebabkan kemampuan agregat tambahan yang kurang untuk merekatkan lebih rendah dari pada semen, akan tetapi dengan menambahkan *fly ash* ini agregat harus mampu merekatkan lebih banyak dari semen, sehingga kemampuan untuk merekatkan semen dapat berkurang hal ini dapat dipicu beberapa proses seperti proses hidrasi air dan semen (Nurzal et al., 2019). Hasil dari pengujian pada Tabel 6 ini ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Kuat Tekan Batako Pengujian Laboratorium

3.3 Pengujian Kuat Tekan Batako di Lapangan

Pengujian Lapangan diuji pada umur ke 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari, namun pengujian Lapangan ini memiliki keterlambatan dalam pengujian kuat tekan karena pihak pengujian di Lapangan dan kondisi cuaca yang tidak memungkinkan untuk benda uji dibawa ke tempat pengujian. Akan tetapi, kuat tekan yang dihasilkan umumnya tidak memiliki perbedaan yang jauh. Pengujian hasil kuat tekan pada batako ini dilakukan sesuai dengan pedoman SNI-03-0349-1989. Pengujian kuat tekan ini diuji menggunakan mesin *compression test*.

A. Metode Tanpa Perawatan

Hasil Kuat tekan tertinggi pada hari ke 61 yaitu sebesar 21,04 MPa dengan komposisi *fly ash* sebesar 30 % dan terkecil yaitu 10,73 MPa komposisi *fly ash* sebesar 25%. Untuk variasi *fly ash* kering (D) ini puncaknya berada di hari ke 29 yang memiliki kuat tekan sebesar 15,12 MPa, hasil ini menurun pada pengujian hari ke-61 menjadi 10,73 Mpa. Hasil kuat tekan ditampilkan dalam bentuk tabel seperti dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Kuat Tekan Tanpa Perawatan Pengujian Lapangan

Kode	Kuat Tekan Hari ke-8			Kuat Tekan Hari ke-18			Kuat Tekan Hari ke-29			Kuat Tekan Hari ke-61		
	kN	MPa	\bar{x}	kN	MPa	\bar{x}	kN	MPa	\bar{x}	kN	MPa	\bar{x}
B-W-0	369	14,71		365	14,75		349	14,10		369	14,91	
	279	11,12	14,09	303	12,24	13,94	511	20,65	16,46	447	18,06	16,85
	412	16,43		367	14,83		362	14,63		435	17,58	
B-W-10	235	9,37		436	17,62		421	17,01		411	16,61	
	225	8,97	8,86	244	9,86	16,00	473	19,11	18,52	457	18,46	16,84
	207	8,25		508	20,53		481	19,43		382	15,43	
B-W-20	250	9,97		399	16,12		395	15,96		474	19,15	
	222	8,85	9,69	318	12,85	14,02	449	18,14	17,02	507	20,48	19,60
	257	10,25		324	13,09		420	16,97		474	19,15	
B-D-20	169	6,74		209	8,44		397	16,04		242	9,78	
	218	8,69	8,32	274	11,07	9,79	218	8,81	14,26	297	12,00	10,37
	239	9,53		244	9,86		444	17,94		231	9,33	
B-W-25	260	10,37		273	11,03		313	12,65		252	10,18	
	305	12,16	11,35	312	12,61	12,08	453	18,30	15,12	277	11,19	10,73
	289	11,52		312	12,61		357	14,42		268	10,83	
B-W-30	244	9,73		314	12,69		525	21,21		534	21,58	
	298	11,88	10,43	343	13,86	11,87	404	16,32	18,64	569	22,99	21,04
	243	9,69		224	9,05		455	18,38		459	18,55	

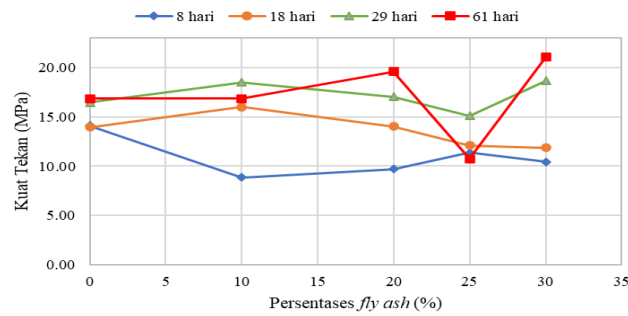
Penambahan *fly ash* semua variabel pada hari ke-61 ini memenuhi mutu I sesuai dengan SNI 03-349-1989. Variasi penambahan *fly ash* 10% ini terlihat bahwa puncaknya pada hari ke 29, namun pada hari ke 61 cenderung turun hal ini dapat disebabkan perbedaan perlakuan pada saat pencetakan. Pada kasus penambahan *fly ash* sebesar 25% ini cenderung turun ini bisa jadi disebabkan oleh masih terdapat gumpalan *fly ash* yang tidak tercampur secara homogen seperti Gambar 6.

Hal tersebut sangat mempengaruhi terhadap kuat tekan yang diterima oleh batako karena komposisi yang telah ditentukan pada variasi penambahan *fly ash* sebesar 25% ini setiap batakonya memiliki kuat tekan yang berbeda, ada yang terdapat kuat tekannya tinggi ada juga yang kuat tekannya sangat rendah. Kondisi tersebut tidak hanya ada di penambahan *fly ash* sebesar 25% saja tetapi beberapa batako masih terdapat gumpalan *fly ash* seperti Gambar 6. Gumpalan ini yang kemudian dapat memicu penurunan yang terjadi pada hasil kuat tekan suatu batako, *fly ash* yang seharusnya dapat mengisi *void* pada batako, menjadikan *fly ash* tersebut menggumpal sehingga kuat tekan yang dihasilkan pun dapat menurun karena tingkat kepadatannya berkurang. Dalam Pembuatan batako ini, tingkat kepadatan batako sangat mempengaruhi kuat tekan maksimum Karena itu, dalam pembuatan batako diusahakan campuran tersebut dibuat sepadat mungkin, untuk merekatkan campurannya dapat menggunakan semen yang dibantu dengan air (Armendariz Gadri, 2015).



Gambar 6. Gumpalan *Fly Ash* pada Batako

Menurut penelitian lainnya terkait batako dengan variasi penambahan *fly ash* dan menggunakan perbandingan 1:6. Dari hasil pengamatan kuat tekan yang tertinggi merupakan batako dengan penambahan *fly ash* sebesar 30% (Pangestuti, 2011). Hasil tersebut sama jika dibandingkan dengan penelitian ini, yaitu yang tertinggi merupakan batako dengan *fly ash* sebesar 30%. Hal ini pada penggunaan abu terbang yang ideal untuk bahan bangunan umumnya adalah 20% dan 30% (Ratmayana Urip, 2003). Hal ini pun dibuktikan juga melalui eksperimen dengan penggunaan *fly ash* 0% hingga 70%, hasil ini penelitian tersebut menunjukkan bahwa tingkat ideal atau terbaik dengan komposisi *fly ash* sebesar 30%, namun setelah penggunaan *fly ash* lebih dari 30% kuat tekan yang dihasilkan menjadi turun (Posi et al., 2019). Semakin banyak menambahkan komposisi *fly ash* ini maka akan semakin tertutup rongga yang terdapat pada batako. Akan tetapi jika terlalu banyak hal ini dapat mengurangi kuat tekan (Joshi & Prakash, 2018). Hasil dari analisa menurut Tabel 7 disajikan dalam bentuk grafik seperti dalam Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Kuat Tekan Tanpa Perawatan Pengujian Lapangan

B. Metode Perawatan Rendam Air

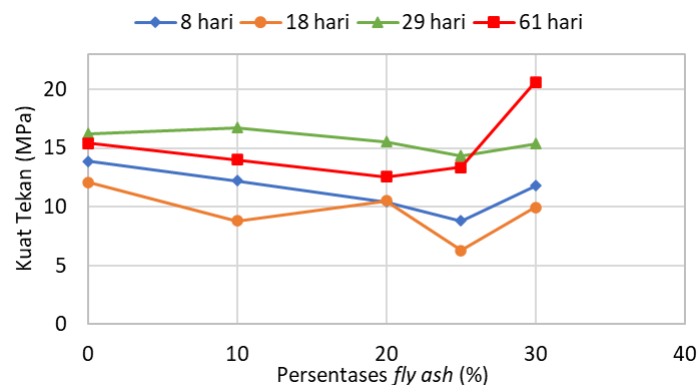
Berdasarkan dari hasil pengujian kuat tekan dengan perawatan rendam air di lapangan ini kuat tekan tertinggi yaitu penambahan *fly ash* basah (W) sebesar 30% kuat tekan yang dihasilkannya sebesar 20,61 MPa dan terendahnya yaitu penambahan *fly ash* basah (W) sebesar 12,55 MPa. Untuk penambahan *fly ash* kering (D) terlihat naik turun namun sempat berada di tingkat mutu I pada hari ke-29 tetapi pada hari-61 kuat tekan yang dihasilkan turun. Hasil dari pengujian kuat tekan dengan perawatan rendam air ini disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Kuat Tekan Perawatan Rendam Air Pengujian Lapangan

Kode	Kuat Tekan Hari ke-8		\bar{x}	Kuat Tekan Hari ke-18		\bar{x}	Kuat Tekan Hari ke-29		\bar{x}	Kuat Tekan Hari ke-61		\bar{x}
	kN	MPa		kN	MPa		kN	MPa		kN	MPa	
B-W-0	314	12,52		350	14,14		346	13,98		374	15,11	
	342	13,64	13,98	214	8,65	12,08	410	16,57	16,22	360	14,55	15,42
	396	15,79		333	13,45		448	18,10		411	16,61	
	297	11,84		225	9,09		388	15,68		465	18,79	
B-W-10	310	12,36	12,23	158	6,38	8,82	380	15,35	16,73	217	8,77	14,01
	313	12,48		272	10,99		474	19,15		358	14,46	
	253	10,09		276	11,15		302	12,20		292	11,80	
B-W-20	305	12,16	10,43	231	9,33	10,52	416	16,81	15,57	253	10,22	12,55
	227	9,05		274	11,07		438	17,70		387	15,64	
	250	9,97		144	5,82		310	12,53		225	9,09	
B-D-20	113	4,51	7,60	205	8,28	6,29	213	8,61	11,87	147	5,94	7,35
	209	8,33		118	4,77		358	14,46		174	7,03	
	229	9,13		269	10,87		331	13,37		380	15,35	
B-W-25	220	8,77	8,80	225	9,09	9,95	356	14,38	14,36	383	15,47	13,37
	213	8,49		245	9,90		379	15,31		230	9,29	
	278	11,08		353	14,26		476	19,23		509	20,57	
B-W-30	344	13,72	11,80	195	7,88	9,63	328	13,25	15,38	509	20,57	20,61
	266	10,61		167	6,75		338	13,66		512	20,69	

Dari analisis pada Tabel 8 terlihat bahwa pada hari ke-61 ini cenderung menurun, akan tetapi untuk penambahan *fly ash* sebesar 30% ini terlihat naik pada hari ke-61 dari 15,38 MPa menjadi 20,61 MPa. Hal tersebut sama seperti pada batako tanpa perawatan, penambahan *fly ash* sebesar 30% merupakan batako yang paling unggul. Menurut Tabel 8 tersebut terlihat bahwa penambahan *fly ash* basah (W) pada batako masuk ke dalam kategori tingkat mutu I, hal ini sesuai menurut pedoman SNI 03-0349-1989. Ketika suatu campuran batako ditambahkan komposisi *fly ash*, kuat tekannya akan meningkat pada umur 90 hari, hal ini dikarenakan pengikatannya cukup lambat (Tjokrodinuljo, 1996). Kuat tekan pada batako konvensional ini lebih tinggi dibandingkan dengan batako yang telah di campur oleh *fly ash*, pada penggantian komposisi menggunakan *fly ash* di bawah 30% memberikan penurunan kuat tekan 20% hingga 50% (Pareek et al., 2015).

Penelitian lainnya yang telah dilakukan, kuat tekan yang unggul dihasilkan pada batako dengan campuran *fly ash* yaitu dengan penambahan *fly ash* sebesar 30% (Pangestuti, 2011). Namun, penurunan kuat tekan ini dapat dipengaruhi beberapa hal seperti ketika campuran di aduk menggunakan *mixer machine* campuran seperti semen, pasir, dan *fly ash* ini tidak homogen atau *fly ash* masih dalam keadaan menggumpal, sehingga setiap pori-pori yang terdapat batako ini belum tentu terisi dengan *fly ash*, hal ini dikarenakan *fly ash* masih dalam keadaan menggumpal dan juga batako ini masih dalam keadaan basah (terkena air hujan) sehingga ketika pengujian berlangsung, batako masih dalam keadaan basah. Adapun hasil dari pengujian pada Tabel 8 kemudian ini ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 8.

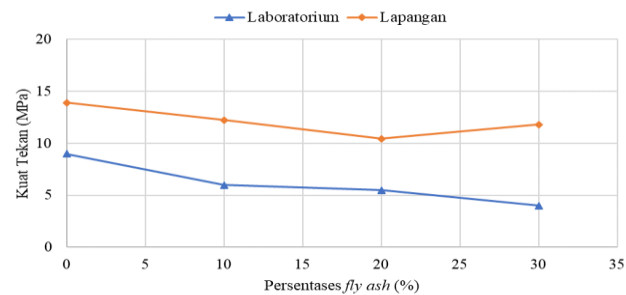


Gambar 8. Kuat Tekan Perawatan Rendam Air Pengujian Lapangan

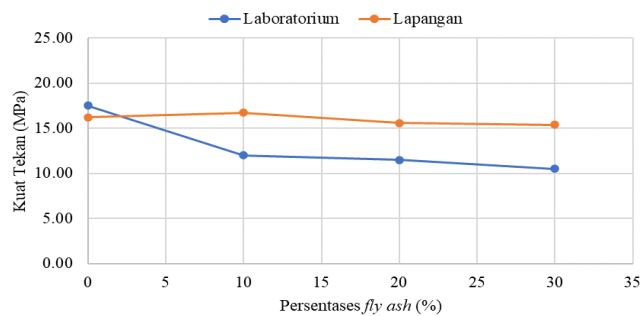
3.4 Perbandingan Kuat Tekan

Dari analisis sebelumnya, kemudian dibuat perbandingan kuat tekan pada umur ke-7 hari, 28 hari, 56 hari antara Pengujian Laboratorium dan Pengujian Lapangan dengan metode rendam, nilai tertinggi yang dihasilkan pada pengujian di lapangan yaitu variasi *fly ash* dengan komposisi sebesar 30% dengan kuat tekan maksimum yang dihasilkannya sebesar 20,61 Mpa, namun untuk terendahnya dengan komposisi *fly ash* sebesar 20% yaitu 12,55 MPa. Hasil tersebut berbeda dengan pengujian yang dilakukan di Laboratorium, nilai tertinggi yang dihasilkannya yaitu kadar

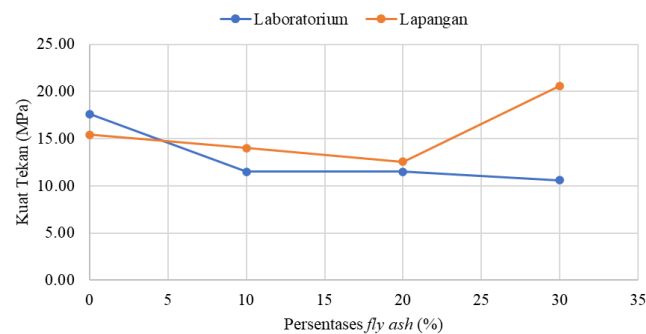
fly ash 0% kuat tekan maksimum yang dihasilkannya sebesar 17,6 Mpa, akan tetapi untuk terendahnya yaitu dengan kadar *fly ash* sebesar 30% sebesar 10,6 MPa. Perbedaan ini dapat disebabkan karena proses pembuatan yang dilakukan pada laboratorium dan di lapangan berbeda. proses pencetakan yang dilakukan di laboratorium ini secara manual tidak menggunakan mesin, namun proses yang dilakukan pada lapangan ini menggunakan bantuan mesin pencetak batako. Hasil dari perbandingan kuat tekan antara laboratorium dan lapangan pada umur ke-7 hari, 28 hari dan 56 hari ini ditunjukkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 9.



a)



b)



c)

Gambar 9. Perbandingan Kuat Tekan Laboratorium dan Lapangan, a) Perbandingan Kuat Tekan 7 Hari, b) Perbandingan Kuat Tekan 28 Hari, c) Perbandingan Kuat Tekan 56 Hari

3.5 Pengujian Penyerapan Air di Lapangan

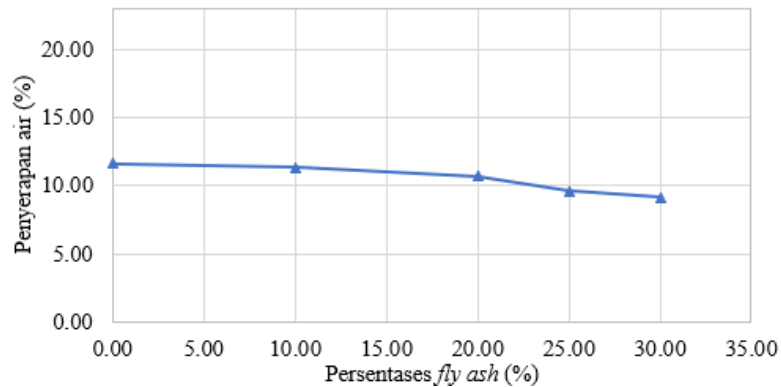
Tujuan menguji penyerapan air ini bermaksud untuk mengukur persentase penyerapan air yang dapat diserap oleh batako setelah batako tersebut direndam di dalam air. Pengujian penyerapan air pada batako mengikuti sesuai dengan pedoman SNI 03-0349-1989, yang mana pada tingkat mutu I ini dengan maksimum penyerapan air sebesar 25%, sedangkan batako dengan Tingkat mutu II memiliki penyerapan air maksimum sebesar 35%.

Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa penyerapan air pada batako ini terlihat sudah memenuhi standar pedoman SNI 03-0349-1989 yaitu 25% batas yang diizinkan untuk batako tingkat mutu I. Tingkat penyerapan tertinggi yaitu penambahan *fly ash* basah (W) sebesar 0% dengan penyerapan air sebesar 12,79% dan terendahnya yaitu 10,57% dengan penambahan *fly ash* basah (W) sebesar 30%. Untuk penambahan *fly ash* kering (D) sangat tinggi yaitu 13,93%, hasil tersebut lebih besar daripada penambahan *fly ash* basah dan batako konvensional (tidak terdapat *fly ash*). Rongga yang terdapat pada batako ini mempengaruhi penyerapan air, semakin tertutup rongga tersebut maka semakin kecil penyerapan airnya. Umur batako juga menyebabkan penyerapan air ini menurun karena nilai densitasnya semakin membesar (Nurzal et al., 2018). Hasil dari pengujian penyerapan air ini dapat dilihat dalam Tabel 9.

Tabel 9. Penyerapan Air Batako di Lapangan

No	Variabel	Benda Uji 1 %	Benda Uji 2 %	Benda Uji 3 %	Benda Uji 4 %	\bar{x}
1	B-W-0	13,24	13,77	11,94	12,21	12,79
2	B-W-10	11,36	13,08	13,78	13,28	12,87
3	B-W-20	11,11	12,68	12,21	12,36	12,09
4	B-D-20	15,38	15,67	10,14	14,52	13,93
5	B-W-25	8,82	12,14	10,95	11,55	10,87
6	B-W-30	8,70	11,36	11,29	10,95	10,57

Berdasarkan Tabel 9 terlihat bahwa setiap penambahan *fly ash* mempengaruhi penyerapan air pada batako, hasil tersebut membuktikan bahwa setiap penambahan *fly ash* ini persentase penyerapan air pada batako akan semakin berkurang. Semakin bertambahnya *fly ash* dalam komposisi campuran pada beton atau mortar, maka penyerapan air yang terjadi akan semakin berkurang (Sofwan Hadi, 2000). Hal tersebut juga sesuai dengan penelitian lainnya, semakin banyaknya kandungan *fly ash* dalam campuran batako sehingga dapat mengurangi porositas, penyerapan air yang terjadi pada batako ini akan semakin berkurang (Nurzal et al., 2019). Hasil dari analisa ini kemudian ditunjukkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Persentase Penyerapan Air

4. SIMPULAN

Dari hasil pengujian menggunakan metode eksperimental laboratorium ini, memperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Hasil Pengujian Lapangan didapatkan kuat tekan batako tertinggi yaitu dengan campuran *fly ash* sebesar 30% yaitu 21,04 Mpa, sedangkan besaran kuat tekan yang dihasilkan oleh batako konvensional atau tanpa campuran *fly ash* yaitu 16,85 MPa. Hal ini membuktikan bahwa Batako dengan campuran *fly ash* dapat meningkatkan kuat tekan batako.
2. Hasil pengujian di PT. Pesona Agri Khatulistiwa mutu batako tanpa perawatan ini lebih unggul dibanding perawatan rendam air.
3. Tingkat mutu yang dihasilkan oleh batako di lapangan semua variabel masuk ke dalam kategori Tingkat mutu I.
4. Penyerapan air batako di lapangan sudah memenuhi dari persyaratan SNI 03-0349-1989 adalah dengan maksimal penyerapan air sebesar 25%.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Kristen Maranatha, PT. Pesona Agri Khatulistiwa, PT. Pesona Khatulistiwa Nusantara, PT. Megah Energi Khatulistiwa, PT. Sumber Alam Sekurau, beserta Dosen Pembimbing dan Pengawas yang telah membantu dalam penelitian ini. Artikel ini adalah bagian dari luaran penelitian MBKM dengan skema penelitian pada tahun 2023.

6. DAFTAR PUSTAKA

Ardha, N. (2003). *Pemanfaatan Abu Terbang PLTU-Suralaya Untuk Castable Refractory*. Litbang Pengolahan Mineral.

- Armendariz Gadri. (2015). Analisa Kuat Tekan Batako Dengan Limbah Cangkang Telur Sebagai Bahan Tambah. [Universitas Muhammadiyah Purwokerto]. <https://repository.ump.ac.id:80/id/eprint/626>
- Joshi, R., & Prakash, V. (2018). An Experimental Study on Fly Ash based Interlocking Hollow Concrete Blocks for Walls. In *International Journal of Technical Innovation in Modern Engineering & Science (IJTIMES) Impact* (Vol. 4, Issue 5). <https://www.researchgate.net/publication/342977919>
- Klarens, K., Indranata, M., & Hardjito, D. (2016). Pemanfaatan Bottom Ash dan Fly Ash Tipe C Sebagai Bahan Pengganti Dalam Pembuatan Paving Block. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 5(2), 1–8.
- Naganathan Sivakumar, Mohamed Almamon Yousef Omer, & Mustapha Kamal Nasharuddin. (2015). Performance of bricks made using fly ash and bottom ash. *Construction And Building Materials*, 96, 576–580.
- Nurzal, Perdana, M., Gunawan, A. P., Ikhsan, H., & Ranjes, R. (2019). Optimization of Flyash Composition and Drying Time in Water Absorption and Compressive Strength Concrete Brick. *Journal of Physics: Conference Series*, 1364(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1364/1/012069>
- Nurzal, Perdana, M., & Putera, H. P. (2018). The effect of fly ash composition and drying time concrete brick in density test. *MATEC Web of Conferences*, 215. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821501029>
- Pangestuti, E. K. (2011). Penambahan limbah abu batu bara pada batako ditinjau terhadap kuat tekan dan serapan air. www.majarikanayakan.com
- Pareek, R. K., Bansal, R., Singh, V., & Kant Pareek, R. (2015). Effect on Compressive Strength with Partial Replacement of Fly Ash. *International Journal on Emerging Technologies*, 6(1), 1–6. <https://www.researchgate.net/publication/339973513>
- Posi, P., Kasemsiri, P., Lertnimoolchai, S., & Chindaprasirt, P. (2019). Effect of fly ash fineness on compressive, flexural and shear strengths of high strength-high volume fly ash jointing mortar. *International Journal of GEOMATE*, 16(54), 36–41. <https://doi.org/10.21660/2019.54.4662>
- Rahmatul Aida, E., Yanti Lisha, S., Yurike Puty, dan, Lingkungan, T., & Tinggi Teknologi Industri Padang, S. (2018). Pemanfaatan limbah abu terbang batubara (fly ash) di pltu ombilin sebagai bahan koagulan. 1(3). <https://id.scribd.com>
- Ratmayana Urip. (2003). Teknologi Semen dan Beton: Fly Ash, Mengapa Seharusnya Dipakai pada Beton. *Gresik: PT. Semen Gresik Indonesia dan PT. Varia Usaha Beton*. PT Semen Gresik Indonesia dan PT. Varia Usaha Beton.

- Setiawan, A. A., Busyairi, M., Wijayanti, D. W., Studi, P., & Lingkungan, T. (2017). Pemanfaatan fly ash pltu sebagai agregrat dalam pembuatan batako.
- Sofwan Hadi. (2000). Pengaruh Ukuran Butiran dan Komposisi Abu Terbang PLTU Surabaya Sebagai Pengisi dan Pozolan.
- Sukandarrumidi. (2009). Batubara dan Pemanfaatannya (Cetakan 2). Gadjah Mada University Press.
- Syafri Rahmadini, Nazara Fixtor Risman, & Nasution Hasmalina. (2016). Analisa pH, TSS dan Warna Dalam Proses Pengolahan Air Limbah Pulp Dan Kertas Menggunakan Koagulan Fly Ash . *1th Celscitech*, 1, 17–20.
https://digilib.mercubuana.ac.id/manager/t!@file_artikel_abstrak/Isi_Artikel_642559579678.pdf
- Tjokrodinuljo. (1996). Teknologi Beton. Nafiri.