

## Analisis Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur Beton dengan Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) Sebagai Substitusi Parsial Semen

Salma Alwi<sup>1)</sup>, Budi Nugroho<sup>2)</sup> Salsabilla Putri Arafah<sup>3)</sup>,

E-Mail : [salmaalwi@polnes.ac.id](mailto:salmaalwi@polnes.ac.id)<sup>1)</sup>; [budinugroho@polnes.ac.id](mailto:budinugroho@polnes.ac.id)<sup>2)</sup>; [salsabillaputriarafah@gmail.com](mailto:salsabillaputriarafah@gmail.com)<sup>3)</sup>;

<sup>1)</sup>Dosen/Jurusan Teknik Sipil/Politeknik Negeri Samarinda

<sup>2)</sup>Dosen/Jurusan Teknik Sipil/Politeknik Negeri Samarinda

<sup>3)</sup>Mahasiswa/Program Sarjana/Jurusan Teknik Sipil/Politeknik Negeri Samarinda  
Jl. Dr. Ciptomangunkusumo Kampus Gn. Lipan, Samarinda, 751341, Indonesia

Koresponden naskah : [salmaalwi@polnes.ac.id](mailto:salmaalwi@polnes.ac.id)

SUBMITTED Sept 2, 2022 | REVISED 15 Okt 2022 | ACCEPTED 15 Okt 2022 (Editor)

### ABSTRACT

*Fly ash is solid waste produced from burning coal in power plants. Coal waste mixture research is usually carried out by researchers by replacing part of the concrete constituent materials, such as cement. Partial substitution of cement using coal waste is carried out with various variations in the percentage of constant addition. This mixed concrete research reviewed its tensile strength and bending strength in which part of the cement has been replaced in composition with fly ash. This research was conducted by making a beam test object with a size of 15 cm × 15 cm × 60cm for bending strength testing and a cylindrical test object with a size of 15 cm × 30 cm for split tensile strength testing. From the test results of the concrete tensile strength, a tensile strength value was obtained that did not meet the tensile strength of the plan, which was  $f_t = 2.5$  Mpa. In the bending strength test, a bending strength value was obtained that met the plan bending strength value at a variation of 0-12.5% which is with a value above  $f_r = 3$  Mpa. From the two tests of concrete characteristics, it can be concluded that the addition of fly ash with a certain percentage can still be recommended on bending strength tests.*

*Key words: Fly ash, Tensile strength, Bending strength*

### ABSTRAK

*Fly ash merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Penelitian campuran limbah batu bara biasa dilakukan oleh para peneliti dengan melakukan penggantian sebagian material penyusun beton seperti contohnya adalah semen. Substitusi parsial pada semen menggunakan limbah batubara tersebut dilakukan dengan berbagai variasi persentase penambahan yang konstan. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau kuat tarik belah dan kuat lentur nya yang di mana sebagian semen telah diganti komposisinya dengan *fly ash*. Benda uji yang digunakan berupa balok dengan ukuran 15 cm×15 cm×60 cm untuk pengujian kuat lentur dan benda uji silinder dengan ukuran 15 cm×30 cm untuk pengujian kuat tarik belah. Dari hasil pengujian kuat tarik belah beton tersebut diperoleh nilai kuat tarik belah yang tidak memenuhi kuat tarik belah rencana yaitu sebesar  $f_t = 2.5$  Mpa. Pada pengujian kuat lentur diperoleh nilai kuat lentur yang memenuhi nilai kuat lentur rencana pada variasi 0-12.5% yaitu dengan nilai di atas  $f_r = 3$  Mpa. Dari kedua pengujian karakteristik beton tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan *fly ash* dengan persentase tertentu masih dapat dianjurkan pada pengujian kuat lentur.*

Kata Kunci: Fly ash, Kuat lentur beton, Kuat tarik belah beton

### 1. PENDAHULUAN

*Fly ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik (Kusdiyono, dkk, 2017). Produksi abu terbang jenis ini di Indonesia terus meningkat, pada tahun 2000 jumlahnya mencapai

1,66 milyar ton dan diperkirakan mencapai 2 milyar ton pada tahun 2006 (Putri, 2012). Fenomena tersebut dapat terjadi dikarenakan oleh penanganan limbah yang tidak maksimal dari perusahaan yang bergerak di bidangnya.

Penelitian di bidang rekayasa bahan sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebagai upaya untuk memecahkan permasalahan dan memanfaatkan limbah industri ini untuk dapat diproduksi menjadi industri lain seperti bahan bangunan (Kusdiyono, dkk, 2017). Penelitian campuran limbah batu bara ini biasa dilakukan oleh para peneliti dengan melakukan penggantian sebagian material penyusun beton seperti contohnya adalah semen. Substitusi parsial pada semen menggunakan limbah batubara tersebut dilakukan dengan berbagai variasi persentase penambahan yang konstan sehingga dicapai mutu yang lebih tinggi.

Dalam hal ini, PT. Pupuk Kalimantan Timur selaku salah satu perusahaan pengolahan batu bara terbesar di Kalimantan Timur mengajukan kerja sama dengan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda untuk pengolahan limbah *fly ash* tersebut sebagai campuran beton.

Tujuan dari penelitian ini adalah Mengidentifikasi hubungan antara variasi persentase penambahan *fly* yaitu 10% ; 12,5% ; 15% ; 17,5% dengan kuat tarik dan kuat lentur beton

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Beton

Berdasarkan SNI 2847:2013 definisi beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambah lainnya yang membentuk massa padat. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ( $f_c$ ) pada usia 28 hari.

### 2.2. Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun beton pada umumnya adalah campuran antara semen, pasir, kerikil, dan air. Namun dapat juga diberi bahan tambah berupa *mineral additive* ataupun *chemical additive* untuk meningkatkan performa beton itu sendiri.

### 2.3. Bahan Tambah

Untuk keperluan tertentu beton memerlukan bahan tambah berupa bahan-bahan *mineral additive* ataupun *chemical additive* untuk meningkatkan performa beton itu sendiri.

### 2.4. Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah adalah salah satu parameter penting kekuatan beton. Nilai kuat tarik belah diperoleh melalui pengujian tekan di laboratorium dengan membebani setiap benda uji silinder secara

lateral sampai pada kekuatan maksimumnya (Regar, dkk 2014).

Untuk kuat tarik besarnya angka yang dicatat pada saat pengujian adalah besarnya beban P pada saat benda uji hancur. Maka untuk mendapatkan besarnya tegangan hancur (kuat tarik dari benda uji silinder beton) tersebut dilakukan perhitungan dengan rumus:

$$f'_t = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times L} \quad (1)$$

Dengan :

$f'_t$  : Tegangan tarik belah (MPa)

P : beban maksimum yang dikenakan benda uji (kN)

L : panjang benda uji (cm)

D : diameter benda uji (cm)

## 2.5. Kuat Lentur Beton

Kuat lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam mega pascal (MPa) gaya tiap satuan luas (SNI 03-4431-1997).

Untuk kuat lentur, besarnya angka yang dicatat pada saat pengujian adalah besarnya beban P pada saat benda uji hancur, maka untuk mendapatkan besarnya tegangan hancur (kuat lentur dari benda uji balok beton) tersebut dilakukan perhitungan dengan rumus. Dan berdasarkan posisi patahnya, terdapat dua rumus yang dapat digunakan yaitu:

- Jika bidang patahan terdapat pada daerah pusat

$$f_r = \frac{PL}{bh^2} \quad (2)$$

- Jika bidang patahan terletak jauh dari pusat

$$f_r = \frac{Pa}{bh^2} \quad (3)$$

Dengan :

$f_r$  : Kuat Lentur (MPa)

P : Beban pada waktu lentur (kN)

a : jarak dari perletakan ke gaya (mm)

b : lebar penampang balok (mm)

a : tinggi penampang balok (mm)

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Lokasi Penelitian

Tempat yang digunakan sebagai lokasi penelitian adalah di Laboratorium Teknik Sipil,

Politeknik Negeri Samarinda yang terletak di Jalan Cipto Mangunkusumo, Kelurahan Sungai Keledang, Kecamatan Samarinda Seberang, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Berikut ini adalah peta lokasi penelitiannya.

### 3.2. Objek Penelitian

Objek penelitian pada penelitian ini meliputi:

- Pemeriksaan material yang meliputi berat jenis agregat kasar dan agregat halus, kadar air agregat kasar dan agregat halus, dan analisa saringan agregat kasar dan agregat halus.
- Pemeriksaan beton yang meliputi *mix design* beton dengan semua ukuran benda uji (balok 15 cm×15 cm × 60 cm dan silinder 15 cm × 30 cm).
- Pengujian kuat tarik belah dan kuat lentur beton yang telah diperiksa sebelumnya

### 3.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat alat yang berkaitan dengan alat pengujian sifat fisik material penyusun beton dan alat pengujian kuat tarik belah dan kuat lentur beton di Laboratorium Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Program Studi Rekayasa Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Samarinda.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pasir palu, batu ½, batu 1/1, batu 2/3, semen 3 roda, air, dan *fly ash*. *Fly ash* diperoleh dari kerja sama antara Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda dengan PT. Pupuk Kaltim di Bontang.

### 3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini meliputi pengujian awal material, penyusunan *mix design*, pembuatan benda uji, serta yang terakhir adalah pengujian kuat lentur.

- Pengujian Awal Material  
Pengujian awal ini dilakukan untuk mengetahui parameter dan kelayakan sifat fisik material-material penyusun beton.
- Penyusunan *Mix Design*  
Tahap ini dilakukan untuk mengetahui komposisi per material yang diperlukan untuk membuat semua variasi beton.
- Pembuatan Benda Uji  
Tahap ini mencakup pembuatan sampel benda uji yang diperlukan untuk pengujian kuat lentur yaitu menggunakan cetakan balok ukuran 15 cm×15 cm×60 cm dan untuk pengujian kuat tarik belah menggunakan cetakan silinder ukuran 15 cm × 30 cm.
- Pengujian Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur Beto

Ini merupakan tahap akhir dari penelitian ini yang di mana sampel benda uji yang telah dibuat sebelumnya dilakukan pengujian kuat tarik belah dan kuat lentur menggunakan mesin yang tersedia.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini merupakan data hasil dari 3 pengujian yaitu pengujian pendahuluan (uji material) dan pengujian kuat tarik belah beton serta kuat lentur beton. Hasil pengujian karakteristik agregat kasar dapat dilihat pada Tabel sampai Tabel 4, sedangkan untuk hasil uji karakteristik agregat halus dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar (Batu 1/1”)

No.	Karakteristik	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1.	Bobot Isi	Min. 1,3 gr/cm <sup>3</sup>	1,440 gr/cm <sup>3</sup>	Memenuhi
2.	Berat Jenis	Min. 2,5	2,677	Memenuhi
3.	Penyerapan	Maks. 3%	0,048%	Memenuhi
4.	Kadar Air	Maks. 2,5%	1,781%	Memenuhi
5.	Kadar Lumpur	Maks. 1%	7,400%	Tidak Memenuhi
6.	Abrasi	Maks. 40%	39,7%	Memenuhi

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar (Batu 1/2”)

No.	Karakteristik	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1.	Bobot Isi	Min. 1,3 gr/cm <sup>3</sup>	1,585 gr/cm <sup>3</sup>	Memenuhi
2.	Berat Jenis	Min. 2,5	2,705	Memenuhi
3.	Penyerapan	Maks. 3%	0,030%	Memenuhi
4.	Kadar Air	Maks. 2,5%	2,302%	Memenuhi
5.	Kadar Lumpur	Maks. 1%	8,450%	Tidak Memenuhi
6.	Abrasi	Maks. 40%	35,28%	Memenuhi

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar (Batu 2/3”)

No.	Karakteristik	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1.	Bobot Isi	Min. 1,3 gr/cm <sup>3</sup>	1,691 gr/cm <sup>3</sup>	Memenuhi
2.	Berat Jenis	Min. 2,5	2,676	Memenuhi
3.	Penyerapan	Maks. 3%	0,025%	Memenuhi
4.	Kadar Air	Maks. 2,5%	2,250%	Memenuhi
5.	Kadar Lumpur	Maks. 1%	7,5%	Tidak Memenuhi
6.	Abrasi	Maks. 40%	29,24%	Memenuhi

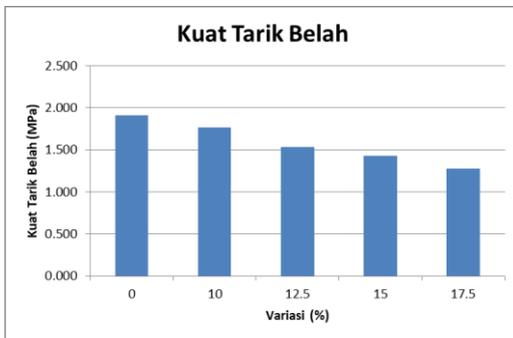
**Tabel 4.** Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus (Pasir Palu)

No.	Karakteristik	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1.	Bobot Isi	Min. 1,3 gr/cm <sup>3</sup>	1,697 gr/cm <sup>3</sup>	Memenuhi
2.	Berat Jenis	Min. 2,5	2,674	Memenuhi
3.	Penyerapan	Maks. 3%	0,168	Memenuhi
4.	Kadar Air	Maks. 2,5%	2,197%	Memenuhi
5.	Kadar Lumpur	Maks. 5%	4,348	Memenuhi
6.	Analisa Saringan	Zona 1-4	Zona 2	Memenuhi

Untuk hasil pengujian kuat tarik belah dan kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 5 berikut.

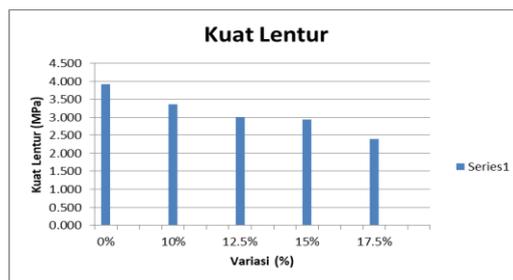
**Tabel 5.** Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

No	Variasi	Sampe	Beban max. (kN)	Diameter (cm)	Panjang (cm)	Kuat Tarik Belah (kN)	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Rata-rata (kN)	Rata-rata (Mpa)
1	0%	1	129.706	15	30	0.183	1.835	0.192	1.915
		2	123.313			0.174	1.745		
		3	143.934			0.204	2.036		
		4	146.497			0.207	2.073		
2	10%	1	135.900	0.199	1.987	0.176	1.765		
		2	131.823	0.189	1.904				
		3	123.895	0.175	1.753				
		4	125.951	0.178	1.782				
3	12.5%	1	119.596	0.169	1.692	0.153	1.534		
		2	88.144	0.125	1.247				
		3	102.885	0.146	1.456				
		4	123.712	0.175	1.750				
4	15%	1	118.801	0.168	1.681	0.143	1.430		
		2	108.763	0.154	1.539				
		3	95.128	0.133	1.332				
		4	99.916	0.141	1.414				
5	17.5%	1	100.809	0.143	1.432	0.128	1.277		
		2	102.888	0.145	1.451				
		3	107.715	0.152	1.524				
		4	89.272	0.126	1.264				
		1	94.788	0.134	1.341				
		2	86.527	0.128	1.281				
		3	81.391	0.115	1.151				
		4	95.366	0.135	1.349				



**Tabel 6.** Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

No	Variasi	Sampe	Beban pada waktu lentur (N)	Jarak (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Kuat Lentur (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
1	0%	1	25000	520	155	145	3.989	3.918
		2	24500		150	150	3.775	
		3	22000		150	150	3.390	
2	10%	1	22000	150	145	3.627	3.366	
		2	20000	150	150	3.081		
		3	21000	155	150	3.121		
3	12.5%	1	18000	155	145	2.872	3.012	
		2	19000	155	145	3.032		
		3	20000	155	150	2.982		
4	15%	1	18000	150	150	2.773	2.946	
		2	20000	150	150	3.081		
		3	16000	155	150	2.386		
5	17.5%	1	16000	155	145	2.553	2.392	
		2	16000	155	150	2.237		
		3	15000					



## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian guna mengidentifikasi hubungan antara variasi persentase penambahan *fly ash* beton campuran, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai kuat lentur beton tertinggi diperoleh tanpa tambahan variasi *fly ash* (variasi 0%) dengan nilai kuat lentur sebesar 3,918 Mpa. Pada uji kuat lentur beton dengan variasi *fly ash* 0-17,5%

diketahui grafik terus menurun tanpa adanya peningkatan.

2. Nilai kuat lentur dari variasi 0-12,5% mencapai target yang direncanakan pada awal perencanaan penelitian, yaitu di atas 3 Mpa. Sedangkan dari variasi 15-17,5% tidak memenuhi karena di bawah 3 Mpa.
3. Nilai kuat tarik belah beton tertinggi diperoleh dengan tanpa tambahan *fly ash* (variasi 0%) dengan nilai kuat tarik belah sebesar 1,915 Mpa. Pada uji kuat tarik belah beton dengan variasi *fly ash* 0-17,5% diketahui grafik terus menurun tanpa adanya peningkatan.
4. Nilai kuat tarik belah dari semua variasi tidak mencapai target rencana pada awal perencanaan penelitian, yaitu 2,5 Mpa.

### 5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan dapat mencoba variasi *fly ash* dengan persentase yang lebih kecil lagi dengan harapan dapat menemukan peningkatan nilai dari variasi kontrol dalam hasil pengujiannya.
2. Untuk penelitian selanjutnya dianjurkan untuk menggunakan bahan tambah atau *super plasticizer*.
3. Pada penelitian selanjutnya, jika ingin meninjau kuat lentur dianjurkan untuk menggunakan persentase dengan range angka di antara 0-12,5% dikarenakan masih memenuhi nilai kuat lentur rencana.
4. Pada saat pencetakan beton, sebaiknya dilakukan penusukan dengan benar sehingga rongga-rongga udara yang terdapat dalam adonan beton mentah dapat hilang. Hal tersebut dibutuhkan karena jika masih terdapat banyaknya rongga udara, beton bisa menjadi keropos.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ASTM C33. (2019). Standard Specification for Concrete Aggregates
- [2]. Badan Standardisasi Nasional. (1989): SK SNI S-04-1989-F. Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam). Bandung.
- [3]. Badan Standardisasi Nasional. (2004): SNI 15-7064-2004. Semen Portland Komposit. Jakarta.
- [4]. Badan Standardisasi Nasional (2002): SNI 03-2491-2002. Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. Jakarta.
- [5]. Badan Standardisasi Nasional (2004): SNI 15-2049-2004. Semen Portland. Jakarta.
- [6]. Badan Standardisasi Nasional (2002): SNI 03-6820-2002. Spesifikasi Agregat Halus untuk

- Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen. Jakarta.
- [7]. Badan Standardisasi Nasional (2002): SNI 03-6414-2002. Pengertian dan Manfaat Fly Ash. Jakarta.
- [8]. Badan Standardisasi Nasional (2011): SNI 4431-2011. Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan. Jakarta.
- [9]. Badan Standardisasi Nasional (2000): SNI 03-2834-2000. Tata Cara Pembuatan Mix Design Campuran Beton Normal. Jakarta.
- [10]. Badan Standardisasi Nasional (2008): SNI 1969-2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Jakarta.
- [11]. Badan Standardisasi Nasional (2008): SNI 1970-2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus. Jakarta.
- [12]. Badan Standardisasi Nasional (1998): SNI 03-4804-1998. Cara Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat. Jakarta.
- [13]. Badan Standardisasi Nasional (2012): SNI ASTM C136 - 2012. Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar (ASTM C136-06).
- [14]. Badan Standardisasi Nasional (2011): SNI 1971-2011. Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan. Jakarta.
- [15]. Badan Standardisasi Nasional (2008): SNI 2417-2008. Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles. Jakarta.
- [16]. Badan Standardisasi Nasional (2015): SNI 2531-2015. Metode Uji Densitas Semen Hidraulis (ASTM C 188-95 (2003), MOD)
- [17]. Badan Standardisasi Nasional (2002): SNI 03-6826-2002. Metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland Dengan Alat Vicat Untuk Pekerjaan Sipil. Jakarta.
- [18]. Badan Standardisasi Nasional (2002): SNI 03-6827-2002. Metode Pengujian Waktu Ikut Awal Semen Portland Dengan Menggunakan Alat Vicat Untuk Pekerjaan Sipil.
- [19]. Faisal, Hendri. (2011). Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (Fly Ash), abu dasar (bottom Ash) Batubara dan Limbah Padat (Sludge) Industri Karet Sebagai Pembuatan Bahan Campuran Pada Batako.
- [20]. Indriyati, dkk. (2019). Kajian Pengaruh Pemanfaatan Limbah FABA (Fly Ash dan Bottom Ash) Pada Konstruksi Lapisan Base Perkerasan Jalan. Jurnal Teknik, Volume 13, No. 2. 112-119.
- [21]. Kusdiyono, dkk. (2017). Pengaruh Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash Pada Pembuatan Beton Mutu  $f'c$  20 MPa Dalam Upaya Pemanfaatan Limbah Industri. Wahana TEKNIK SIPIL Vol. 22 No. 1 40-49
- [22]. Marthinus, dkk. (2015). Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tarik Belah Beton. Jurnal Sipil Statik Vol. 3. No. 11. 729-736
- [23]. Pradita, dkk. (2013). Pemanfaatan Abu Dasar (Bottom Ash) Sebagai Substitusi Pasir Pada Beton Normal.
- [24]. Regar, dkk. (2014). Nilai Kuat Tarik Belah Beton Dengan Variasi Ukuran Dimensi Benda Uji. Jurnal Sipil Statik Vol. 2. No. 5. 269-276
- [25]. Setioko, Fambayung. (2015), Analisis Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Kuat Lentur Beton Menggunakan Bahan Tambah Sika Viscocrete-10 dan Fly Ash (Tinjauan Analisis Pada Umur Delapan Jam Sampai Dengan Dua Puluh Empat Jam). Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [26]. Tjokrodinuljo. (2007). Teknologi Beton. Yogyakarta. Biro Penerbit KMTS FT UGM.
- [27]. Wardani. (2008). Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan
- [28]. Yahya, dkk. (2017), Pengaruh Kombinasi Fly Ash dan Bottom Ash Sebagai Bahan Substitusi Pada Campuran Beton Terhadap Sifat Mekanis. Jom F Teknik Volume 4 No. 1. 1-8.