

## **Pemanfaatan Limbah Pembakaran Batu Bara sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen**

**Hanafi Ashad<sup>1</sup>, Sudarman Supardi<sup>2</sup>, Anwar Mappiasse<sup>3</sup>,  
A. Muh Ikram Zhahir<sup>4</sup>, Diaz Prabowo Surya<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup> Program Studi Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia  
Jl. Urip SumoharjoKM 05 Makassar, 90231, Indonesia

Email: hanafi.ashad@umi.ac.id; sudarman.supardi@umi.ac.id; anwar.mappiasse@umi.ac.id;  
ikramzhahir97@gmail.com; diazprbwo@ymail.com

### **ABSTRAK**

Pemakaian batu bara di Indonesia semakin meningkat mengakibatkan semakin melimpahnya limbah batu bara berupa fly ash yang tergolong limbah B3 yang jika dimanfaatkan dapat berkontribusi positif terhadap lingkungan. Fly ash memiliki karakteristik pozzolan sehingga jika dilibatkan sebagai material substituen pada campuran beton disinyalir dapat berefek positif pada kinerja beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh keberadaan fly ash batu bara sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat tekan beton dan juga mengetahui kadar presentase fly ash batu bara yang optimum yang memberikan kuat tekan terbesar pada beton. Metode penelitian berbasis eksperimen di laboratorium meliputi pengujian karakteristik dasar material, mix design, dan pengujian kuat tekan beton. Sampel dibuat berbentuk silinder dengan ukuran 15x30 cm. Variasi kadar substitusi fly ash sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap jumlah semen. Beton diuji setelah mencapai umur 28 hari. Data yang diperoleh dari pengujian secara sekuensial di laboratorium membuktikan bahwa substitusi fly ash antara 0% sampai dengan 12,49% meningkatkan nilai kuat tekan beton dengan nilai optimal sebesar 35,59Mpa pada kadar 12,49%. Substitusi fly ash dengan kadar yang melebihi 12,49% berdampak pada penurunan kekuatan beton. Hasil ini menggambarkan bahwa pada kadar tertentu, pemanfaatan limbah batubara fly ash bisa meningkatkan nilai kuat tekan beton.

Kata Kunci: Bahan substitusi, parsial semen, beton, limbah batubara

### **ABSTRACT**

*The use of coal in Indonesia is increasing, causing the abundance of coal waste that we called fly ash which is classified as B3 waste which, if used, can contribute positively to the environment. Fly ash has pozzolanic characteristics so that if it is involved as a substituent material in the concrete mixture it is alleged that it can have a positive effect on concrete performance. The purpose of this study was to analyze the effect of the presence of coal fly ash as a partial substitution of cement on the compressive strength of concrete and also to determine the optimum percentage level of coal fly ash which provides the greatest compressive strength in concrete. Experimental-based research methods in the laboratory include testing the basic characteristics of the material, mix design, and testing the compressive strength of concrete. The sample was made in a cylinder shape with a size of 15x30 cm. Variations in the substitution content of fly ash were 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% of the amount of cement. Concrete is tested after reaching 28 days of age. The data obtained from sequential testing in the laboratory prove that the substitution of fly ash between 0% and 12.49% increases the compressive strength of concrete with an optimal value of 35.59Mpa at a level of 12.49%. Fly ash substitution with a level that exceeds 12.49% has an impact on reducing the strength of the concrete. These results illustrate that at a certain level, the utilization of fly ash coal waste can increase the value of the compressive strength of concrete.*

*Keywords: partial substitution materials for cement, concrete, coal waste*

## **1. Pendahuluan**

### **1.1. Latar belakang**

Sesuai dengan fenomena yang berkembang, beton masih menjadi material yang dominan digunakan dalam dunia konstruksi. Mulai dari gedung, jalan, jembatan, dan pekerjaan konstruksi lainnya yang memakai beton sebagai bahan dasar dalam pembangunannya. Secara umum, komposisi beton tersusun atas komponen material meliputi air, semen, agregat halus, dan agregat kasar. Namun semakin banyaknya pemakaian beton sehingga biasanya bahan campuran beton dapat kita substitusi atau ditambahkan bahan lain yang dapat memberikan dan mengubah sifat-sifat tertentu pada beton. Penggunaan beton yang semakin meningkat mengakibatkan kebutuhan akan beton dengan kualitas yang baik semakin meningkat. Kualitas beton sebagai salah satu unsur utama dalam segala jenis konstruksi sangat dipengaruhi oleh campuran materialnya.

Di Indonesia, sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui seperti bahan bakar minyak, gas alam dan batu bara masih menjadi tumpuan utama untuk menyuplai ketersediaan energi listrik penduduk. Semakin meningkatnya hal tersebut membuat makin banyak PLTU menggunakan batubara sebagai bahan bakar sehingga menghasilkan limbah yang dapat merusak lingkungan jika tidak termanfaatkan secara maksimal. Sebagai inovasi dalam teknologi beton kita dapat mensubstitusi limbah tersebut dengan semen. Di Provinsi Sulawesi Selatan, PLTU Semen Tonasa menjadi salah satu pembangkit listrik yang juga masih memanfaatkan batu bara untuk dijadikan bahan bakar dalam produksi energi listrik. Dengan aktivitas tersebut, PLTU ini secara kontinu menghasilkan buangan limbah berupa abu terbang berbentuk butiran halus ringan, bundar, serta memiliki sifat pozzolanik.

*Fly ash* jika menjadi bagian dari campuran beton membawa sifat pozzolan yaitu istilah untuk menyatakan material

dengan kandungan silika dan aluminium yang pada temperatur normal akan berinteraksi secara kimiawi dengan kalsium hidroksida dan berubah menjadi senyawa dengan karakteristik cementitious (memiliki sifat mengikat). Karena *fly ash* dikategorikan limbah buangan B3 yang belum dimanfaatkan secara optimal, pemanfaatan *fly ash* sebagai bagian dari komposisi beton berefek positif terhadap lingkungan sehingga sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan. Selain itu *fly ash* lebih ekonomis daripada semen sehingga jika di manfaatkan sebagai mana mestinya kita dapat membuat beton dengan mutu tertentu dengan harga yang lebih murah.

Atas dasar itulah peneliti merasa perlu untuk melakukan kajian pemanfaatan limbah pembakaran batu bara sebagai bahan substitusi parsial semen.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berikut adalah inti sari dari permasalahan yang telah dipaparkan pada latar belakang:

1. Bagaimana pengaruh *fly ash* batu bara sebagai bahan substitusi parsial semen pada campuran beton?
2. Seberapa besar presentase *fly ash* batu bara yang memberikan kuat tekan terbesar pada beton?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Untuk memecahkan permasalahan yang ada, tujuan pelaksanaan penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh *fly ash* batu bara sebagai bahan substitusi parsial semen pada campuran beton.
2. Untuk mengetahui seberapa besar presentase *fly ash* batu bara yang memberikan kuat tekan terbesar pada beton.

## **2. Metode Penelitian**

### **2.1 Tujuan Umum**

Eksperimen di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Fakultas

Teknik Universitas Muslim Indonesia dilakukan untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya. Pada sampel berbentuk silinder yang disiapkan dengan mutu beton ( $f'_c=30\text{Mpa}$ ) dilakukan

pengujian kuat tekan. Dalam penyiapan benda uji ini, diformulasikan komposisi *fly ash* dengan variasi kadar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap berat semen dengan detail sebagai berikut:

**Tabel 1.** Jumlah dan kode benda uji

No.	Variasi fly ash	Kode benda uji	Umur beton (Hari)	Jumlah benda uji	Jumlah (Buah)
1	0 %	FA – 0%	28	5	30
2	5 %	FA – 5%		5	
3	10 %	FA – 10%		5	
4	15 %	FA – 15%		5	
5	20 %	FA – 20%		5	
6	25 %	FA – 25%		5	

## 2.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara berurutan mengikuti prosedur berikut:

a. Tahap I Persiapan alat dan bahan pengujian

Segala peralatan yang digunakan dalam penelitian merupakan peralatan yang tersedia di Laboratorium Struktur dan bahan meliputi:

- Timbangan Digital
- Satu Set Saringan SNI C-136 dan Mesin Penggetar
- Oven
- Cetaakan Silinder (15x30 cm)
- Compression Strenght Machine

Bahan Uji:

- Agregat Kasar dan Halus
- Semen *Portland Composite Cement* (PCC)
- Air
- Fly Ash Batu Bara

b. Tahap II Pengujian Material

Beberapa item pengetesan yang menjadi bagian dari eksperimen ini diantaranya:

- Pengujian karakteristik agregat halus dan kasar meliputi pengujian analisa saringan, kadar air, berat volume, berat jenis dan

penyerapan, kadar lumpur, kadar organik, dan keausan agregat.

- Pengujian terhadap semen portland meliputi berat jenis semen, kehalusan, konsistensi norma, waktu ikat awal dan akhir, dan berat volumen semen.
- Penyiapan air sebagai komponen lain dalam campuran beton.

c. Tahap III Mix Design (SNI 7656-2012)

Langkah-langkah pokok perencanaan metode SNI 7656-2012 adalah :

1. Menetapkan kuat tekan rata-rata beton ( $f'_c$ )
2. Menetapkan nilai slump dan ukuran terbesar butir agregat
3. Menentukan jumlah air yang dibutuhkan menurut ukuran maksimum agregat dan nilai slump
4. Menentukan faktor air semen

d. Tahap IV Trial Mix dan Pencetakan Benda Uji

Pada tahapan ini pencampuran antara agregat kasar dan halus, semen, air, dan fly ash dilaksanakan berdasarkan formulasi mix design dengan proporsi masing-masing setelah tercampur secara merata dan nilai slump telah memnuhi standart

- campuran beton siap ditecok dalam wadah berbentuk silinder.
- e. Tahap V Perawatan Beton  
Setelah campuran beton ditecok dan didiamkan kemudian benda uji direndam didalam air untuk melancarkan proses hidrasi begitu pula untuk penyempurnaan proses pengerasan agar neton tidak retak-retak dan mutunya memenuhi standar yang dipersyaratkan.
- f. Tahap VI Pengujian Kuat Tekan  
Untuk mengetahui kuat tekan beton maka dilakukan pengetesan pada umur 28 hari yaitu dengan mengetes pada pembebanan berapa benda uji runtuh. Berikut adalah formula yang digunakan dalam menghitung tegangan hancur untuk sampel berbentuk silinder:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- $f'c$  = Kuat Tekan (Mpa)
- $P$  = Beban Maksimum (N)
- $A$  = Luas Permukaan Benda Uji (mm<sup>2</sup>)

- g. Tahap VII Analisa Data  
Pada tahapan ini, dibuat rekapitulasi data hasil pengujian untuk selanjutnya dianalisis dalam mengetahui keterkaitan variabel yang menjadi fokus dalam penelitian ini.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Pemeriksaan

Bahan campuran beton terdiri atas material agregat kasar, semen, air, agregat halus, dan fly ash. Sebelum dilakukan perhitungan perbandingan campuran bahan-bahan penyusun beton sesuai dengan mutu beton yang diinginkan, maka terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan karakteristik material beton sehingga dapat memenuhi persyaratan.

**Tabel 2.** Hasil pengujian agregat kasar

No	Karateristik	Hasil
1	Analisa Saringan	6,970
2	Kadar Air	0,960 %
3	Berat Volume Padat	1,426 kg/ltr
4	Berat Volume Gembur	1,308 kg/ltr
5	Berat Jenis	2,650
6	Penyerapan	1,720 %
7	Kadar Lumpur	0,402 %
8	Keausan Agregat Kasar	28,81 %

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian karakteristik agregat kasar dimana terlihat bahwa seluruh parameter memenuhi

standar yang dipersyaratkan untuk agregat kasar agar dapat digunakan sebagai material penyusun campuran beton.

**Tabel 3.** Hasil pengujian agregat halus

No	Karateristik	Hasil
1	Analisa Saringan	2,763
2	Kadar Air	1,575 %
3	Berat Volume Padat	1,580 kg/ltr
4	Berat Volume Gembur	1,502 kg/ltr
5	Berat Jenis	2,680
6	Penyerapan	0,806 %
7	Kadar Lumpur	3 %
8	Kadar Organik	Warna Bening Kekuningan

Berdasarkan tabel 3 diketahui bahwa agregat halus yang digunakan dalam pengujian ini memenuhi standar untuk setiap pemeriksaan agregat halus. Pengujian properti ini dilakukan untuk

memastikan bahwa material agregat halus yang digunakan mampu berkontribusi secara optimal dalam meningkatkan kinerja campuran beton.

**Tabel 4.** Hasil pemeriksaan semen

No	Karakteristik	Hasil
1	Berat Jenis	3,1
2	Konsistensi Normal	25 %
3	Kehalusan #100	7 %
	Kehalusan #200	9 %
4	Waktu Ikat Awal	90 menit
	Waktu Ikat Akhir	105 menit
5	Berat Volume Padat	1,237 kg/ltr
	Berat Volume Gembur	1,130 kg/ltr

Menurut tabel 4, semen sebagai salah satu material penyusun campuran beton memiliki karakteristik yang memenuhi standar pengujian. Atas dasar hasil ini diasumsikan bahwa semen yang

digunakan akan menjalankan perannya dalam menghasilkan beton yang kokoh dan tahan lama yang akan dibuktikan dalam pengujian kuat tekan beton.

**Tabel 5.** Hasil pemeriksaan *fly ash*

No	Karakteristik	Hasil (%)
1	Kalsium Oksida (CaO)	27,15
2	Magnesium Oksida (MgO)	9,04
3	Silika (SiO <sub>2</sub> )	32,02
4	Aluminium Oksida (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	16,70
5	Ferrioksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	16,28
6	Alkali (Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)	0,19
7	Sulfur (SO <sub>3</sub> )	0,0186
8	Phosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,0672

Material lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* yang merupakan material tambahan yang dimaksudkan untuk memberikan dampak positif terhadap kinerja beton dibandingkan dengan campuran beton konvensional. Tabel 5 menunjukkan persentase senyawa kimia pada *fly ash* yang memenuhi spesifikasi bahan substitusi pada campuran beton.

### 3.2 Hasil Mix Design SNI 2012

Perencanaan campuran dalam pembuatan beton dengan bahan tambah *fly ash* dilakukan setelah semua data pengujian properti setiap material penyusun campuran terbukti memenuhi spesifikasinya masing-masing. Data tersebut selanjutnya diolah dengan metode mix design SNI 2012, sehingga diperoleh komposisi berat material untuk pencampuran beton normal sebagai berikut:

**Tabel 6.** Komposisi campuran beton untuk setiap 1 m<sup>3</sup> beton berdasarkan variasi fly ash

Variasi fly ash (%)	Agregat kasar (kg)	Agregat halus (kg)	Fly ash (kg)	Semen (kg)	Air (kg)
0	908,91	781,10	0	496,11	201,45
5	908,91	781,10	23,455	445,65	201,45
10	908,91	781,10	46,911	422,20	201,45
15	908,91	781,10	70,366	398,74	201,45
20	908,91	781,10	93,822	375,29	201,45
25	908,91	781,10	117,28	351,83	201,45

Dari komposisi campuran beton untuk setiap 1 m<sup>3</sup>, kemudian hasil tersebut diolah kembali untuk mendapatkan

perhitungan komposisi untuk proses trial mix dengan benda uji berupa silinder berukuran 30x15 cm. Dengan hasil pada tabel dibawah:

**Tabel 7.** Kebutuhan material beton untuk trial mix faktor kehilangan 10 %

No	Bentuk	Variasi fly ash (%)	Jumlah benda uji	Material				
				Semen (kg)	Fly ash (%)	Agregat kasar (kg)	Agregat halus (kg)	Air (kg)
1	Silinder (15x30 cm)	0	5	13,761	0	26,489	22,764	5,871
2		5	5	12,988	0,684	26,489	22,764	5,871
3		10	5	12,304	1,367	26,489	22,764	5,871
4		15	5	11,621	2,051	26,489	22,764	5,871
5		20	5	10,937	2,734	26,489	22,764	5,871
6		25	5	10,253	3,418	26,489	22,764	5,871

### 3.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton yang tersusun oleh komponen fly ash dengan kadar 0%,5%,10% 15%, 20%, dan 25%

terhadap jumlah semen. Dengan hasil pada tabel dibawah ini:

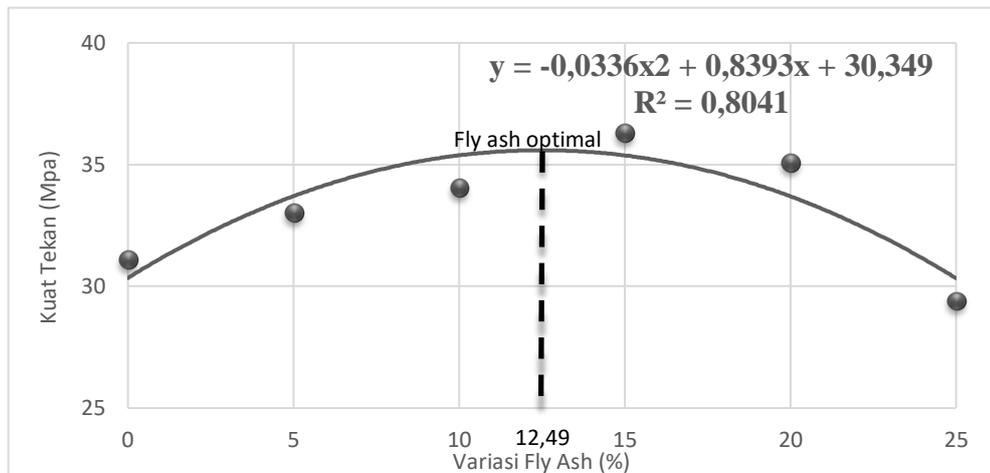
**Tabel 8.** Hasil pengujian kuat tekan pada umur beton 28 hari

Variasi fly ash (%)	Berat benda uji (kg)	Beban hancur (KN)	Luas benda uji (m <sup>2</sup> )	Nilai slump (mm)	Kuat tekan (Mpa)	Kuat tekan rata-rata (Mpa)
0	12,195	530	0.01766	75	30,01	31,08
	12,229	535			30,29	
	12,498	560			31,71	
	12,490	565			31,99	
	12,346	555			31,42	
5	12,697	620	100	35,10	33,01	
	12,496	580		32,84		
	12,458	555		31,42		
	12,364	550		31,14		
10	12,538	610		34,54	34,03	
	12,615	640		36,23		
	12,385	590		33,40		
	12,595	630		35,67		

Variasi fly ash (%)	Berat benda uji (kg)	Beban hancur (KN)	Luas benda uji (m <sup>2</sup> )	Nilai slump (mm)	Kuat tekan (Mpa)	Kuat tekan rata-rata (Mpa)
15	12,307	585			33,12	36,29
	12,266	560			31,71	
	12,697	695			39,35	
	12,496	615			34,82	
	12,558	600			33,97	
	12,364	610			34,54	
	12,538	685			38,78	
	12,306	630			35,67	
20	12,101	600			33,97	35,05
	12,146	605			34,25	
	12,287	620			35,10	
	12,452	640			36,23	
25	12,437	500			28,31	29,38
	12,367	495			28,03	
	12,461	540			30,57	
	12,296	550			31,14	
	12,151	510			28,87	

Dari hasil kuat tekan diatas kemudian diplot grafik yang ditunjukkan pada gambar 1 dengan variasi kadar fly ash

sebagai sumbu x dan nilai kuat tekan beton sebagai sumbu y sebagaimana yang ditunjukkan pada grafik berikut:



**Gambar 1.** Grafik hubungan kuat tekan dengan variasi fly ash

Pada grafik, menunjukkan hubungan antara kuat tekan dan persentase fly ash. Pengaruh fly ash dalam penggunaan beton terhadap kuat tekan beton itu cenderung menunjukkan pengaruh yang bersifat polinomial berderajat 2 atau biasa juga disebut bahwa pengaruhnya bila dinyatakan dalam pernyataan matematis itu pengaruhnya bersifat parabolik. Pada grafik menunjukkan nilai

optimal yang diperoleh sebesar 12,49% yang menghasilkan kekuatan maksimum sebesar 35.59 MPa.

#### 4. Penutup

##### 4.1 Kesimpulan

Setelah seluruh tahapan penelitian dilaksanakan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai jawaban dari tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil kuat tekan yang diperoleh dengan penambahan abu terbang (*fly ash*) sebesar 0% adalah 31,08 Mpa, 5% sebesar 33,01 Mpa, 10% sebesar 34,03 Mpa, 15% sebesar 36,29 Mpa, 20% sebesar 35,05 Mpa, dan 25% sebesar 29,38 Mpa. Kontribusi fly ash batu bara terhadap kuat tekan memberikan kontribusi positif pada penambahan fly ash batu bara sampai dengan 12,49% terjadi kenaikan nilai kuat tekan, sebaliknya penambahan diatas 12,49% terjadi penurunan nilai kuat tekan.
2. Dengan presentase optimum 12,49% dapat menghasilkan kuat tekan beton sebesar 35,59 Mpa

#### **4.2 Saran**

Beberapa hal yang dapat direkomendasikan oleh peneliti berdasarkan pengalaman selama proses penelitian demi penyempurnaan penelitian lanjutan pada topik ini:

1. Disarankan agar para peneliti selanjutnya sebaiknya melakukan penelitian dengan mutu beton yang lebih tinggi.
2. Karena adanya perbedaan dalam proses pengikatan menggunakan fly ash dan semen maka disarankan agar penentuan umur perawatan beton agar dipilih lebih dari 28 hari perendaman

#### **Daftar Pustaka**

- ACI-211.1-91. "Mensyaratkan Suatu Campuran Perancangan Beton"
- Adrian Philip Marthinus Marthin D. J. Sumajouw, Reky S. Windah. 2015. *Pengaruh Penambah Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tarik Belah Beton*. Manado: Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi.
- Antoni dan Nugraha, P, 2004, "Teknologi Beton", penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta.  
Jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek

Jurnal Reka Buana Volume 1 No 2, Maret 2016 - Agustus 2016

Jurnal Teknik Sipil, Vol. VI, No. 2, September 2017

Mulyono, Tri. 2004. "Teknologi Beton". Jakarta: Penerbit Andi

Nicken Anggini Putri, Stefanus A Kristiawan, Sunarmasto. 2014. *Pengaruh Rasio Semen-Fly Ash Terhadap Sifat Segar dan Kuat Tekan High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete (HVFA-SCC)*. Ketingan Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret.

Rosmiyati A. Bella, Jusuf J. S. Pah, Ariansyah G. Ratu. 2017. *Perbandingan Persentase Penambahan FlyAsh Terhadap Kuat Tekan Bata Ringan Jenis CLC*. Teknik Sipil.

Setiawati, Mira. 2018. *Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton*. Palembang: Universitas Muhammadiyah Palembang

Susilowati, Anni. 2016. *Penggunaan Fly Ash Sebagai Bahan Campuran Paving Block Geopolimer*. Politeknik Negeri Padang: National Conference of Applied Sciences, Engineering, Business and Information Technology.

Tim Laboratorium Struktur dan Bahan Prodi Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia. 2017. *Pedoman Pelaksanaan Praktikum Laboratorium Struktur dan Bahan*. Makassar: Universitas Muslim Indonesia.

Tjokrodinuljo, K. 1996. *Bahan Bangunan. Jurusan teknik sipil*. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.