

# PENGARUH VARIASI LAMA PENGERINGAN PAVING BLOK DENGAN PENAMBAHAN 5% FLY ASH TERHADAP KUAT TEKAN (BINDER PT.X)

Oleh :

Nurzal<sup>1</sup> dan Adriansyah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, <sup>2</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Padang  
Email: nurzall@gmail.com

---

## Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi lama pengeringan dengan penambahan 5% berat fly ash pada pembuatan paving block melalui pengujian kuat tekan. Fly ash yang digunakan berasal dari sisa pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap dari Sijantang Sawahlunto. Pertambahan jumlah produksi fly ash menyebabkan dampak negatif pada lingkungan, sehingga salah satu solusi untuk mengatasi dampak tersebut adalah dengan cara memanfaatkan fly ash untuk campuran dan meningkatkan kualitas paving block (bata beton). Komposisi yang digunakan untuk membuat paving block yaitu 100% paving block (semen + pasir + air) dan 95% paving block (semen + pasir + air) ditambah 5% fly ash dengan variasi pengeringan 7, 14, 21, 28 dan 35 hari. Hasil penelitian didapatkan paving block dengan komposisi 5% berat fly ash mempunyai kuat tekan lebih tinggi dari 0% berat fly ash (100% paving block). Kondisi optimal didapat pada komposisi 5% berat fly ash dengan lama pengeringan 35 hari rata – rata kuat tekan 18,8 MPa Menurut SNI 03-0691-1996 dapat digolongkan pada mutu B untuk pelataran parkir.

---

## PENDAHULUAN

Batubara merupakan energi fosil yang sangat melimpah di Indonesia dan banyak digunakan dalam proses pembakaran pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Abu/sisa pembakaran batubara tersebut menghasilkan residu yang disebut dengan fly ash (Benavidez dkk, 2003).

Meningkatnya kebutuhan batubara pada pembangkit tenaga listrik untuk proses pembakaran menimbulkan peningkatan produksi fly ash sedang pemanfaatannya baru sedikit, yaitu kurang lebih 20 sampai 30 %, sehingga menyebabkan polusi lingkungan berupa pencemaran udara dan air tanah. Oleh karena itu perlu dicari suatu solusi untuk mengatasi masalah tersebut dengan cara pemanfaatan fly ash sebagai raw material untuk campuran paving block.

Dalam pengembangan dibidang teknik fly ash mempunyai sifat superior, diantaranya: kekerasan, kekuatan yang tinggi dan mampu kerja yang baik, sehingga dapat diaplikasikan pada bidang konstruksi, mekanik dan industri kimia (Boccacini dkk, 1995). Pemanfaatan fly ash sebagai bahan tambah juga dapat meningkatkan kualitas paving block. Pada komposisi fly ash 10 % - 40 %, paving block bersifat kedap air agresif sedang, yaitu tahan terhadap air limbah industri, air payau dan air laut (Zeta Eridani, 2004).

Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian sebelumnya. Pada Penelitian sebelumnya didapatkan komposisi 5% berat fly ash merupakan komposisi terbaik untuk nilai Daya serap air dengan mutu A & Kuat Tekan Mutu B (Nurzal dkk, 2013).

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh lama pengeringan dengan penambahan 5% berat fly ash pada pembuatan paving block dan menentukan kualitas/mutu paving block berdasarkan SNI 03-0691-1996 dengan pengujian kuat tekan.

## Paving Block

Paving block merupakan produk bahan bangunan dari semen yang digunakan sebagai salah satu alternatif penutup atau pengerasan permukaan tanah. Paving block dikenal juga dengan sebutan bata beton (concrete block) atau cone blok. Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton. Diantara berbagai macam alternatif penutup permukaan tanah, paving block lebih memiliki banyak variasi baik dari segi bentuk, ukuran, warna, corak dan tekstur permukaan serta kekuatan.

**Keunggulan *Paving Block*:**

- ❖ Daya serap air melalui *Paving Block* menjaga keseimbangan Air tanah untuk menopang betonan/rumah diatasnya.
- ❖ Berat *Paving Block* yang relatif lebih ringan dari betonan/aspal menjadikan satu penopang utama agar pondasi rumah tetap stabil.
- ❖ Serapan air yang baik sekitar rumah, menjamin ketersediaan air tanah untuk bisa dibor untuk digunakan untuk keperluan sehari-hari.
- ❖ Pelaksanaannya mudah dan tidak memerlukan alat berat.
- ❖ Pemeliharannya mudah dan dapat dipasang kembali setelah dibongkar.

**Kelemahan *Paving Block***

Mudah bergelombang bila pondasinya tidak kuat dan kurang nyaman untuk kendaraan dengan kecepatan tinggi, sehingga perkerasan *paving block* sangat cocok untuk mengendalikan kecepatan kendaraan dilingkungan pemukiman dan perkotaan yang padat.

Pemakaian *paving block* sangat beraneka ragam diantaranya yaitu:

- ❖ Jalan lingkungan Perumahan
- ❖ Area parkir Gedung, Ruko, Sekolah, Rumah Sakit, Masjid dll
- ❖ Pedestrian/trotoar
- ❖ Halaman rumah

Penggunaan *paving block* dapat diklasifikasikan berdasarkan SNI 03-0691-1996, dibedakan menurut kelas penggunaannya sebagai berikut:

Tabel 1. Mutu *Paving Block* ( SNI 03-0691-1996 )

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Penyerapan air rata-rata maks (%)	Aplikasi
	Rata-rata	Min		
A	40	35	3	Jalan
B	20	17	6	Pelataran parkir
C	15	12,5	8	Pejalan kaki
D	10	8,5	10	Taman dan pengguna lain

*Paving block* yang diproduksi secara manual biasanya termasuk dalam mutu beton kelas D atau C yaitu untuk tujuan pemakaian non struktural, seperti untuk taman dan penggunaan lain yang tidak diperlukan untuk menahan beban berat di atasnya. Mutu *paving block* yang pengerjaannya dengan menggunakan mesin press dapat dikategorikan ke dalam mutu beton kelas C sampai A dengan kuat tekan diatas 125 kg/cm

bergantung pada perbandingan campuran bahan yang digunakan. Penampakan antara *paving block* yang diproduksi dengan cara manual dan *paving block* pres mesin secara kasat mata relatif hampir sama, namun permukaan *paving block* yang diproduksi dengan mesin pres terlihat lebih rapat dibanding yang dibuat secara manual. (Claudia muller, dkk, 2006)

Mutu dan standar *paving block* diatur dalam SNI 03-0691-1996

- ❖ Mempunyai bentuk yang sempurna
- ❖ Tidak retak-retak dan cacat
- ❖ Bagian sudut dan rusuknya tidak dirapikan dengan kekuatan tangan

**Bentuk dan Ukuran**

- ❖ Berdasarkan bentuknya *paving block* dapat dibedakan menjadi dua yaitu bentuk segi empat dan segi banyak.
- ❖ Ketebalan 6 cm , 8 cm, dan 10 cm
- ❖ Warna umumnya abu-abu atau sesuai dengan pesanan konsumen
- ❖ Toleransi ukuran yang disyaratkan adalah  $\pm 2$  mm untuk ukuran lebar bidang dan  $\pm 3$  mm untuk tebalnya serta kehilangan berat bila diuji natrium sulfat maksimum 1 %.



Gambar 1. Bentuk- bentuk *paving block*

***Fly Ash* (Abu Terbang)**

*Fly ash* merupakan sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus amorf, merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran. Dari proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (*boiler*) akan terbentuk dua jenis abu yaitu: *fly ash* dan *bottom ash*. Komposisi abu batubara yang

dihasilkan terdiri dari 10 - 20 % *bottom ash*, sedang sisanya sekitar 80 - 90 % berupa *fly ash* yang ditangkap dengan *electric precipitator* sebelum dibuang ke udara melalui cerobong (Edy B., 2007).

Menurut ACI Committee 226, dijelaskan bahwa abu terbang (*fly ash*) mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili mikron) 5 – 27 % dengan *specific gravity* antara 2,15 – 2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. Abu batubara mengandung silika dan alumina sekitar 80 % dengan sebagian silika berbentuk amorf. Sifat-sifat fisik abu batubara antara lain densitasnya 2,23 gr/cm<sup>3</sup>, kadar air sekitar 4 % dan komposisi mineral yang dominan adalah -kuarsa dan mullite. Selain itu abu batubara mengandung SiO<sub>2</sub> = 58,75 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 25,82 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 5,30 % CaO = 4,66 %, alkali = 1,36 %, MgO = 3,30 % dan bahan lainnya = 0,81 %.

Sebenarnya abu terbang tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, oksida silika yang dikandung didalam abu batubara akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat (Djiwantoro, 2001).

Abu batubara dapat digunakan pada beton sebagai material terpisah atau sebagai bahan dalam campuran semen dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat beton. Fungsi abu batubara sebagai bahan aditif dalam beton bisa sebagai pengisi (*filler*) yang akan menambah internal kohesi dan mengurangi porositas daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton, sehingga beton menjadi lebih kuat. Pada umur sampai dengan 7 hari, perubahan fisik abu batubara akan memberikan kontribusi terhadap perubahan kekuatan yang terjadi pada beton, sedangkan pada umur 7 sampai dengan 28 hari, penambahan kekuatan beton merupakan akibat dari kombinasi antara *hidrasi* semen dan reaksi *pozzolan*. (Jackson, 1977).

### **Air**

Air merupakan bahan pembuat beton yang sangat penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen sehingga terjadi reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya proses pengerasan pada beton, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air hanya diperlukan 25 % dari berat semen saja. Selain itu, air juga digunakan untuk perawatan

beton dengan cara pembasahan setelah dicor (Tjokrodinuljo, 1996).

Kebutuhan kualitas air untuk beton mutu tinggi tidak jauh berbeda dengan air untuk beton normal. Pengerasan beton dipengaruhi reaksi semen dan air, maka air yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat tertentu. Air yang digunakan harus memenuhi persyaratan air minum yang memenuhi syarat untuk bahan campuran beton, tetapi air untuk campuran beton adalah air yang bila dipakai akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 % dari kekuatan beton yang menggunakan air suling.

### **Semen Portland**

Berdasarkan SNI No. 15-2049-2004, semen *Portland* dapat diklasifikasikan dalam 5 jenis, yaitu:

#### ❖ Semen *Portland* tipe I

Adalah perekat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling *klinker* yang kandungan utamanya kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk negatif senyawa kalsium sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 55% (C<sub>3</sub>S); 19% (C<sub>2</sub>S); 10% (C<sub>3</sub>A); 7% (C<sub>4</sub>AF); 2,8% MgO; 2,9% (SO<sub>3</sub>); 1,0% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO.

#### ❖ Semen *Portland* tipe II

Dipakai untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal, dan dapat digunakan untuk bangunan rumah pemukiman, gedung-gedung bertingkat dan lain-lain. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 51% (C<sub>3</sub>S); 24% (C<sub>2</sub>S); 6% (C<sub>3</sub>A); 11% (C<sub>4</sub>AF); 2,9% MgO; 2,5% (SO<sub>3</sub>); 0,8% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO.

#### ❖ Semen *Portland* tipe III

Dipakai untuk konstruksi bangunan dari beton massa (tebal) yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, bangunan dipinggir laut, bangunan bekas tanah rawa, saluran irigasi, dam-dam. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 57% (C<sub>3</sub>S); 19% (C<sub>2</sub>S); 10% (C<sub>3</sub>A); 7% (C<sub>4</sub>AF); 3,0% MgO; 3,1% (SO<sub>3</sub>); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 1,3% bebas CaO.

#### ❖ Semen *Portland* tipe IV

Dipakai untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi, untuk

pembuatan jalan beton, bangunan-bangunan bertingkat, bangunan-bangunan dalam air. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 28% (C<sub>3</sub>S); 49% (C<sub>2</sub>S); 4% (C<sub>3</sub>A); 12% (C<sub>4</sub>AF); 1,8% MgO; 1,9% (SO<sub>3</sub>); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.

❖ **Semen Portland tipe V**

Dipakai untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit tenaga nuklir. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 38% (C<sub>3</sub>S); 43% (C<sub>2</sub>S); 4% (C<sub>3</sub>A); 9% (C<sub>4</sub>AF); 1,9% MgO; 1,8% (SO<sub>3</sub>); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.

**Pasir**

Pasir adalah contoh bahan material butiran. Butiran pasir umumnya berukuran antara 0,0625 sampai 2 milimeter. Materi pembentuk pasir adalah silikon dioksida, tetapi di beberapa pantai tropis dan *subtropis* umumnya dibentuk dari batu kapur.

**Uji Kuat Tekan**

Kuat tekan beton diukur berdasarkan besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur melalui gaya tekan tertentu yang dihasilkan dari alat uji, kemudian dihitung dengan persamaan (Miyaki Satosi, 1997) berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana:

= Kuat tekan (kg/cm<sup>2</sup>)

F = Gaya tekan (kg)

A = Luas penampang (cm<sup>2</sup>)

**METODA PENELITIAN**

**Bahan yang digunakan**

❖ *Fly Ash*

Berasal dari PLTU Sijantang Sawahlunto yang batu baranya berasal dari PT. Bukit Asam Sawahlunto, berbentuk serbuk berwarna abu-abu gelap, = 2,10 gr/cm<sup>3</sup> dan ukuran butir 80 mesh setelah pengayakan.

Tabel 3. Komposisi Kimia *Fly Ash*

Unsur	<i>Fly Ash</i> (% berat)
SiO <sub>2</sub>	62,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,87
CaO	1,30
MgO	0,42
Na <sub>2</sub> O	0,41
K <sub>2</sub> O	2,02
MnO	0,03
TiO <sub>2</sub>	0,96
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,28
H <sub>2</sub> O	0,26

❖ Semen Portland

❖ Pasir

❖ Air PT.X

**Alat Penelitian**

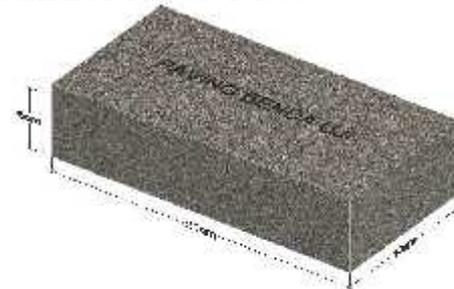
- ❖ Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat material dan perhitungan besarnya daya serap air.
- ❖ Cetakan Spesimen Uji berbentuk jenis bata dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm.
- ❖ Mesin pencetak digunakan untuk mencetak *paving block* dengan tekanan 50 MPa.
- ❖ Alat uji tekan.

**Komposisi Spesimen Uji**

- ❖ Komposisi 100% berat PB untuk pembuatan 10 spesimen membutuhkan: 4,7 kg semen + 23,3 kg pasir + air 0,8 liter.
- ❖ Komposisi 95 % berat PB + 5 % berat FA untuk pembuatan 10 spesimen membutuhkan : 4 kg semen + 22,6 kg pasir + 1,4 kg FA + air 0,8 liter.

**Bentuk Spesimen Uji**

Berdasarkan SNI 03-0691-1996.



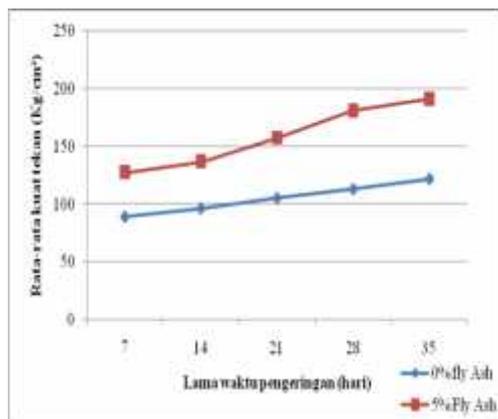
Gambar 4. Bentuk Spesimen Uji

## Proses Pembuatan Spesimen Uji

- ❖ Material semen, pasir/kerikil serta *fly ash* diambil sesuai dengan variasi komposisi.
- ❖ Campurkan material tersebut sambil di aduk dengan menggunakan sekop sehingga di dapatkan material yang tercampur merata (*homogen*).
- ❖ Kemudian material yang telah tercampur tersebut di beri air sebanyak  $\pm 1$  liter dan di aduk merata dan siap di cetak.
- ❖ Masukkan material tersebut kedalam cetakan, setelah itu di cetak dengan menggunakan mesin press.
- ❖ Spesimen uji kemudian di keluarkan dari cetakan dan diletakkan di atas papan untuk di keringkan selama 7, 14, 21, 28 dan 35 hari kemudian dilakukan pengujian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Kuat Tekan



Gambar 5. Grafik hubungan antara lama pengeringan dengan kuat tekan.

Dari grafik diatas menunjukkan, pada komposisi 0% berat *fly ash* mempunyai kuat tekan tertinggi pada lama waktu pengeringan 35 hari adalah 122,04 Kg/cm<sup>2</sup> (12 MPa), Sedangkan kuat tekan terendah pada lama pengeringan 7 hari adalah 89,22 Kg/cm<sup>2</sup> (8,8 MPa). Semua variasi pengeringan yang telah dilakukan sesuai dengan SNI 03-0691-1996 termasuk mutu D digunakan untuk taman dan pengguna lain.

Pada *Paving block* dengan penambahan komposisi 5% berat *fly ash* dengan lama pengeringan 7, 14, dan 21 hari termasuk pada golongan mutu C digunakan untuk pejalan kaki dimana nilai kuat tekan standar SNI yaitu 12,5-16,9MPa, sedangkan dengan lama pengeringan 28 dan 35 hari termasuk

pada golongan mutu B digunakan untuk pelataran parkir, dimana nilai kuat tekannya masuk dalam standar SNI yaitu 17–34 MPa. Penambahan 5% berat *fly ash* pada *paving block* mempunyai nilai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan 0% berat *fly ash*

Pada Komposisi 0% dan 5% berat *fly ash*, semakin lama waktu pengeringan *paving block* kuat tekannya semakin tinggi, hal ini disebabkan karena ikatan partikelnya semakin kuat seiring dengan berkurangnya air yang terdapat pada *paving block*.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Paving block* dengan penambahan komposisi 5% berat *fly ash* dengan lama pengeringan 7, 14, 21, 28, dan 35 hari nilai kuat tekannya lebih tinggi dari 0% berat *fly ash* karena komposisi 5% berat *fly ash* mempunyai ikatan yang kuat dibandingkan dengan komposisi 0% berat *fly ash*.
2. Berdasarkan nilai kuat tekan yang dihasilkan menurut SNI 03-0691-1996, *paving block* yang menggunakan komposisi 0% berat *flyash* dari 5 variasi waktu pengeringan termasuk dalam mutu D yang digunakan untuk taman dan pengguna lain, sedang pada komposisi 5% berat *flyash B dan C*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aswin, B. (2007). *Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton dengan Fly Ash sebagai Pengganti Semen*. Yogyakarta.: Universitas Islam Indonesia.
- [2] Barsoum, M. W. (1997). *Fundamentals of Ceramics*. New York: Mc Graw-Hill Book Co.
- [3] Benavides, E. G. ( 2003). *Densification of Ash from a Thermal Power Plant*. Journal Ceramics International, 29, 61-68.
- [4] Boccacini, A. K. (1995). *Glass-Ceramics from Filter Dust From Waste Incinerators*. Journal Ceramics International, 21, 231-235 .
- [5] Claudia Muller, E. F. (2006). *Modul Pelatihan Pembuatan Ubin atau Paving Block dan Batako*. International Labour Organization.

- [6] Djumari, E. S. (2009). *Kajian Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Fly Ash) pada Produksi Paving Block*. Jurnal Media Teknik Sipil, Vol IX, ISSN 1412-0976.
- [7] Himawan, A. K. (2003). *Penggunaan Fly Ash untuk Pembuatan Paving Block*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan teknik Sipil, Universitas Kristen Petra.
- [8] Karasawa, A. d. (2003). *Aplication of Fly Ash to Concentrate Paving Block*. Proceeding of the 7th International Conference on Concrete Block Paving (PAVE AFRICA), ISBN: 0-958-46091-4.
- [9] Nurzal, A. (2015). *Pengaruh Waktu Pengeringan Dengan Menambahkan 5% Berat Fly Ash melalui Daya Serap Air dan Uji Densitas Pada Pembuatan Paving Blok (Binder PT.X)*.
- [10] Nurzal, J. M. (2013). *Pengaruh Komposisi Fly Ash terhadap Daya Serap Air pada Pembuatan Paving Blok*. Jurnal Teknik Mesin ITP, Vol 3, No.2, Halaman : 41-48, ISSN 2089-4880.
- [11] Nurzal, T. (2015). *Pengaruh Waktu Pengeringan Dengan Menambahkan 5% Berat Fly Ash melalui Daya Serap Air dan Uji Densitas Pada Pembuatan Paving Blok*. Jurnal Teknik Mesin ITP, Vol 5, No. 1, ISSN 2089-4880.
- [12] Nurzal, W. F. (2014). *Pengaruh Waktu Pengeringan dengan Menambahkan 5% Berat Fly Ash Melalui Daya Serap Air Dan Uji Densitas pada Pembuatan Paving Blok*. Jurnal Teknik Mesin ITP, Vol 4, No. 2, Halaman : 59-67, ISSN 2089-4880.
- [13] Nurzal, Z. Z. (2014). *Pengaruh Komposisi Fly Ash terhadap Kuat Tekan pada Pembuatan Paving Blok*. Jurnal Teknik Mesin ITP, vol 4, no. 1, halaman : 15-21, issn 2089-4880.
- [14] Purba, I. W. (2011). *Perbandingan Mutu Paving Block Produksi Manual dengan Produksi Masinal*. Jurnal Rekayasa, Vol 15, No.2.
- [15] Rida Madya, T. F. (2012). *Studi Sifat Mekanik Paving Block Terbuat Dari Limbah Adukan Beton Dan Serbuk Kaca*. FT UI, Depok.: Tugas Akhir Teknik Sipil.
- [16] Saptoadi, H. S. (2002). *Compression Strength of Artificial Light Weight Aggregates Made from Fly Ash*. Yogyakarta: Journal of People and Environment Vol IX No.3 Pusat Studi Lingkungan Hidup UGM.
- [17] Saptoadi, H. S. (2002). *Preliminary Study of The Utilization of Ash Waste from Power Plants to Produce Artificial Light Weight Aggregates*. Yogyakarta: Pusat Studi Lingkungan Hidup UGM.
- [18] Triwulan, A. B. (1993). *Pengaruh Pemakaian Abu Terbang ex Batubara pada Campuran Semen terhadap Sifat Fisika Beton*. Yogyakarta: Seminar Hasil Penelitian Bahan, PAU-UGM.