



Pengaruh Lama Pengeringan Paving Blok dengan Penambahan 5% Fly Ash terhadap Kuat Tekan (Binder Air Mineral)

Influence of Drying Duration of Paving Block with the 5% Fly Ash Addition on Compressive Strength (Water Binder)

Nurzal^{1,*}, Taufik²

¹ Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang

² Undergraduate Program, Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

Received 18 March 2016; Revised 26 March 2016; Accepted 28 March 2016, Published 28 April 2016

<http://dx.doi.org/10.21063/JTM.2016.V6.43-49>

Academic Editor: Asmara Yanto (asmarayanto@yahoo.com)

*Correspondence should be addressed to nurzall@gmail.com

Copyright © 2016 Nurzal. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract

This study was conducted to determine the effect of variations in drying time with the addition of 5% by weight of fly ash in the manufacture of paving blocks through compressive strength testing. Fly ash is derived from the combustion of coal in a steam power plant of Sijantang Sawahlunto. The increase of production of fly ash causing negative impacts on the environment, so that one of the solutions to overcome such effects is by utilizing fly ash to mix and improve the quality of the paving block (concrete blocks). The composition used to make paving block that is 100% of paving blocks (cement + sand + water) and 95% of paving blocks (cement + sand + water) plus 5% fly ash with variation drying 7, 14, 21, 28 and 35 days. The result showed paving block with 5% by weight of the composition of the fly ash has a higher compressive strength than 0% by weight of fly ash. Optimal conditions obtained on the composition 5% by weight of fly ash and drying time of 35 days. Average - average compressive strength of 23.1 MPa SNI 03-0691-1996 can be classified according to quality and to the parking lot. All the test results are included in SNI, except on drying 7 days with 0% by weight of the composition of the fly ash.

Keywords: paving block, drying duration, fly ash, the compressive strength, SNI.

1. 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* [1].

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 blok.

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 [2]. Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan tambah juga dapat meningkatkan kualitas paving blok. Pada komposisi *fly ash* 10 % - 40 %, paving blok bersifat kedap air agresif sedang, yaitu tahan terhadap air limbah industri, air payau dan air laut [3].

Penambahan 5% berat *fly ash* pada paving blok diambil berdasarkan hasil penelitian yang

telah Nurzal [4] lakukan pada tahun 2013 dengan menggunakan variasi komposisi 0, 5, 10 dan 15% berat *fly ash* yang ditambahkan pada material paving blok. Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimal terjadi pada penambahan 5% berat *fly* untuk nilai Daya serap air dengan mutu A & Kuat Tekan Mutu B.

Tahun 2014, Nurzal [5] melakukan penelitian tahap kedua yaitu meneliti tentang pengaruh variasi lama pengeringan (7, 14, 21, 28, 35 hari) pada paving blok dengan komposisi 0% dan 5% berat *fly ash* terhadap densitas, daya serap air dan kuat tekan dengan menggunakan binder PT.X. Hasil pengujian daya serap air menunjukkan komposisi 0% dan 5% berat *fly ash* mendapat mutu A dengan kondisi tertinggi terjadi pada komposisi 5 % berat *fly ash* dengan lama pengeringan 28 dan 35 hari, daya serap airnya sebesar 2,93%, sedangkan untuk paving blok komposisi 0% berat *fly ash* kondisi tertinggi terjadi pada lama pengeringan 28 dan 35 hari, yaitu sebesar 2,82%. Kuat tekan tertinggi terjadi pada lama pengeringan 35 hari dikomposisi 5% berat *fly ash* yaitu sebesar 18,8 MPa pada termasuk dalam mutu B, sedangkan komposisi 0 % berat *fly ash* kondisi tertinggi terjadi pada 12 MPa dalam mutu D.

Pada penelitian ini diteliti mengenai pengaruh binder (air mineral) terhadap mutu paving blok. Karena Air merupakan bahan pembuat beton yang sangat penting yang 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.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama pengeringan dengan penambahan 5% berat *fly ash* pada pembuatan paving blok dengan menggunakan binder air mineral terhadap kuat tekan serta menentukan penggolongan mutu dari *paving block* dengan SNI 03-0691-1996 [6].

2. Bahan dan Metode

Paving block merupakan produk bahan bangunan dari semen yang digunakan sebagai salah satu alternatif penutup atau pengerasan permukaan tanah. Paving blok 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 blok*:

- Daya serap air melalui *paving block* menjaga keseimbangan air tanah untuk menopang betonan/rumah di atasnya.
- 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 blok*:

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

Pemakaian paving blok sangat beraneka ragam diantaranya yaitu:

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

Penggunaan *paving blok* dapat diklasifikasikan berdasarkan SNI 03-0691-1996 [6], dibedakan menurut kelas penggunaannya sebagai berikut:

Tabel 1. Mutu Paving Blok (SNI 03-0691-1996) [6]

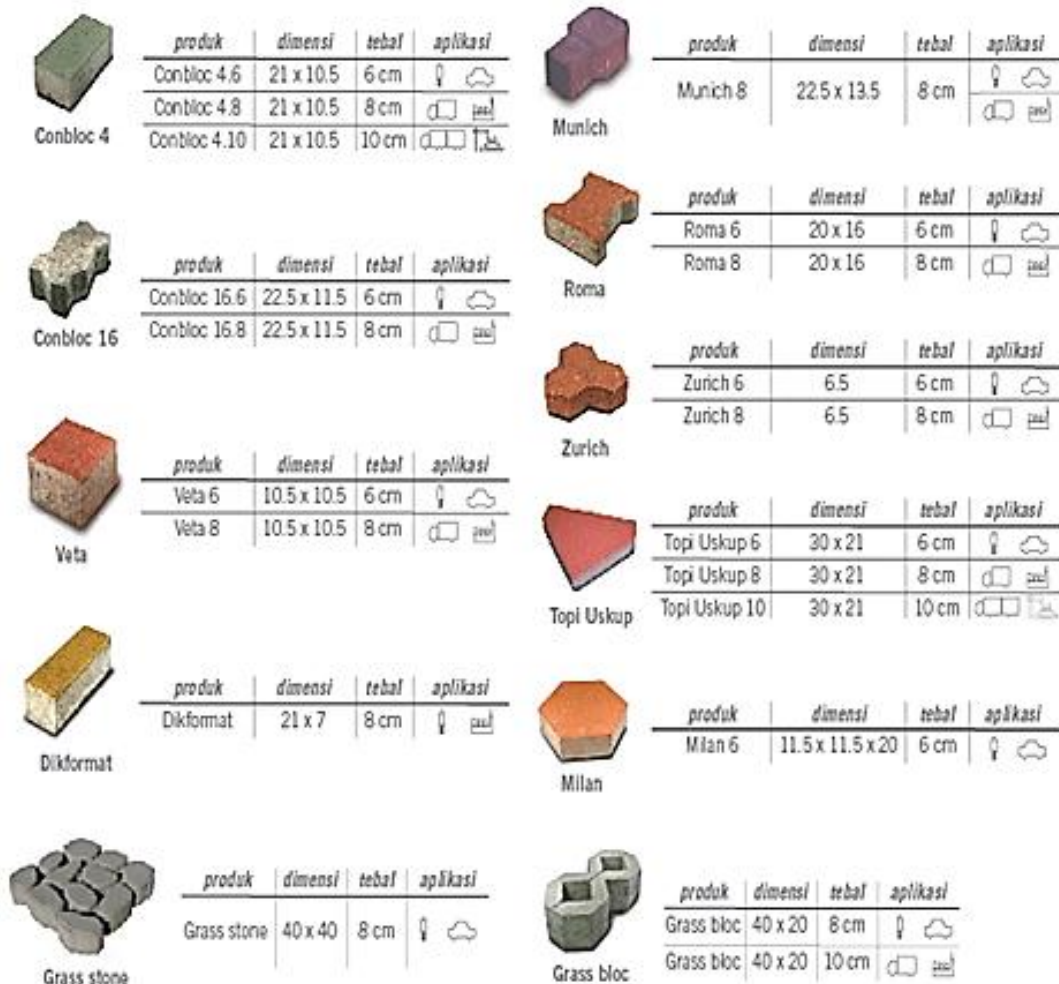
| Mutu | Kuat Tekan (MPa) | | Penyerapan air rata-rata maks (%) | Aplikasi |
|------|------------------|------|-----------------------------------|-----------------------|
| | Rata-rata | Min | | |
| A | 40 | 35 | 3 | Jalan |
| B | 20 | 17 | 6 | Pelataran parkir |
| C | 15 | 12,5 | 8 | Pejalan kaki |
| D | 10 | 8,5 | 10 | Taman & 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 blok yang diproduksi dengan mesin pres terlihat lebih rapat dibanding yang dibuat secara manual [7].

Mutu dan standar *paving block* diatur dalam SNI 03-0691-1996 [6] adalah:

- Mempunyai bentuk yang sempurna
- Tidak retak-retak dan cacat
- Bagian sudut dan rusuknya tidak dirapikan dengan kekuatan tangan
- Bentuk dan ukuran
- Berdasarkan bentuknya paving blok 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 ± 2 mm untuk ukuran lebar bidang dan ± 3 mm untuk tebalnya serta kehilangan berat bila diuji natrium sulfat maksimum 1 %.



Gambar 1. Bentuk- bentuk paving blok

A. 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 [8].

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/cm³, kadar air sekitar 4 % dan komposisi mineral yang dominan adalah α -kuarsa dan mullite. Selain itu abu batubara mengandung SiO₂ = 58,75 %, Al₂O₃ = 25,82 %, Fe₂O₃ = 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 [9].

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* [10-12].

B. Air

Air sebagai binder, berfungsi untuk membantu proses pengikatan pada pembuatan paving blok/beton. 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. Persyaratan air yang digunakan dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

- Air tidak boleh mengandung lumpur (benda-benda melayang lain) lebih dari 2 gram/liter.
- Air tidak boleh mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.
- Air harus bebas terbebas dari zat-zat yang membahayakan beton, dimana pengaruh zat tersebut antara lain :
 1. Mortar atau beton dapat mengalami kerusakan oleh pengaruh asam dalam air. Serangan asam pada beton atau mortar akan mempengaruhi ketahanan pasta mortar dan beton.
 2. Air yang mengandung lumpur atau bahan padat apabila dipakai untuk mencampur semen dan agregat maka proses pencampurann atau pembentukan pasir kurang sempurna, karena permukaan agregat akan terlapisi lumpur sehingga ikatan agregat kurang sempurna antar satu dengan yang lain. Akibatnya agregat akan lepas dan mortar atau beton akan tidak kuat

C. 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% (C₃S); 19% (C₂S); 10% (C₃A); 7% (C₄AF); 2,8% MgO; 2,9% (SO₃); 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% (C₃S); 24% (C₂S); 6% (C₃A); 11% (C₄AF); 2,9% MgO; 2,5% (SO₃); 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% (C₃S); 19% (C₂S); 10% (C₃A); 7% (C₄AF); 3,0% MgO; 3,1% (SO₃); 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% (C₃S); 49% (C₂S); 4% (C₃A); 12% (C₄AF); 1,8% MgO; 1,9% (SO₃); 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% (C₃S); 43% (C₂S); 4% (C₃A); 9% (C₄AF); 1,9% MgO; 1,8% (SO₃); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.

D. Pasir

Pasir adalah bahan material yang berbentuk butiran, 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.

E. 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:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

dengan

σ = Kuat tekan (kg/cm²)

F = Gaya tekan (kg)

A = Luas penampang (cm²)

F. 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, $\rho = 2,10 \text{ gr/cm}^3$ dan ukuran butir 80 mesh setelah pengayakan.

Tabel 2. Komposisi Kimia *Fly Ash*

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

- Semen Portland
- Pasir
- Binder Air Mineral
pH air menunjukkan apakah air memiliki kandungan padatan rendah atau tinggi. pH dari air murni adalah 7. Secara umum, air dengan nilai pH lebih rendah dari 7 dianggap asam dan nilai pH lebih dari 7 dianggap basa. Nilai pH normal untuk air permukaan biasanya antara 6,5 s/d 8,5 dan air tanah dari 6 s/d 8,5. Alkalinitas: ukuran kapasitas air untuk bertahan dari perubahan pH yang mungkin terjadi dan membuat air menjadi lebih asam, mengandung padatan rendah, dan korosif. Karena itu, air seperti ini mengandung ion logam seperti besi, mangan, tembaga, timbal, dan seng. atau dengan kata lain logam



Gambar 2. Pengujian Kadar pH Air Mineral

Tabel 3. Uji Ph Air

| Air (Blinder) | | | |
|---------------|------|--------|--------------------------------------|
| Jenis | pH | Warna | Kandungan |
| Aqua | 7,3 | Bening | Tanpa Endapan |
| Sms | 7,6 | Bening | Tanpa Endapan |
| Aila | 7,4 | Bening | Tanpa Endapan |
| Aicos | 7,6 | Bening | Tanpa Endapan |
| PT. X | 10,1 | Kuning | Ada Endapan Lumpur, Keruh, Berminyak |

G. 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 blok
- *Compression machine* untuk uji kuat tekan.

H. 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.

I. Bentuk Spesimen Uji



Gambar 3. Bentuk Spesimen Uji

J. 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 mineral sebanyak ± 1 liter dan di aduk merata dan siap di cetak.

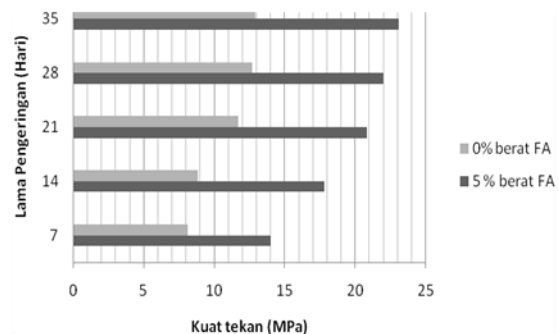
- Masukkan material tersebut kedalam cetakan, setelah itu di cetak dengan menggunakan mesin press.
- Spesimen uji kemudian di keluarkan dari cetakan dan diletakkan di atas papan untuk di keringkan selama 7, 14, 21, 28 dan 35 hari kemudian dilakukan pengujian.

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 5 memperlihatkan pada komposisi 0% berat *fly ash*, *paving block* mempunyai kuat tekan tertinggi pada lama waktu pengeringan 35 hari yaitu 12,9 Mpa. Sedangkan kuat tekan terendah pada lama pengeringan 7 hari sebesar 8,1 MPa. Ada variasi pengeringan yang telah dilakukan tidak sesuai dengan SNI 03-0691-1996 yaitu pada pengeringan 7 hari dengan komposisi 0% berat *fly ash*.

Table 4. Hasil Uji Kuat Tekan

| Lama Pengeringan (Hari) | Kuat tekan (MPa) | |
|-------------------------|------------------|-----------|
| | 5 wt.% Fa | 0 wt.% Fa |
| 7 | 14/C | 8.1/X |
| 14 | 17.8/B | 8.8/D |
| 21 | 20.8/B | 11.7/D |
| 28 | 21.97/B | 12.65/C |
| 35 | 23.1/B | 12.9/C |



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

Pada *Paving block* dengan penambahan komposisi 5% berat *fly ash* dengan lama pengeringan 7 hari termasuk mutu C (pejalan kaki) dan 14,21,28,35 hari termasuk pada golongan mutu B (Pelataran parkir) dimana nilai kuat tekan standar SNI yaitu 20,8-23,1 MPa.

Nilai kuat tekan 5% berat *fly ash* lebih tinggi dari 0% berat *fly ash* karena ukuran partikel *fly ash* lebih kecil sehingga dapat mengisi rongga antar partikel dan semakin padat sewaktu diberi tekanan kompaksi.

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*.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 35 hari merupakan ama pengeringan optimal pada kedua komposisi.
- Nilai kuat tekan 5% berat *fly ash* lebih tinggi dari 0% berat *fly ash*.
- Semua hasil pengujian termasuk dalam SNI, kecuali pada pengeringan 7 hari dengan komposisi 0% berat *fly ash*.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada seluruh Staf Teknik Mesin Institut Teknologi Padang yang telah memberikan kontribusi sehingga artikel ini dapat diselesaikan.

Referensi

- [1] E. Benavides, C. Grasselli and N. Quaranta, 2003, *Densification of Ash from a Thermal Power Plant*, Journal Ceramics International, 29, 61-68.
- [2] A. R. Boccacini, M. Kopf and W. Stumpfe, 1995, *Glass-Ceramics from Filter Dust From Waste Incinerators*, Journal Ceramics International, 21, 231-235.
- [3] Z. Eridani, 2004, Pemanfaatan Limbah Batu Bara Paiton sebagai Bahan Tambah pada campuran beton, Thesis JTS, FT. UGM.
- [4] Nurzal dan J. Mahmud. (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.
- [5] Nurzal, Z. Zakir, 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.
- [6] SNI 03-0691-1996. Bata Beton (Paving Block)
- [7] E. F. C. Muller, (2006). *Modul Pelatihan Pembuatan Ubin atau Paving Block dan Batako*. International Labour Organization.
- [8] M. W. Barsoum, 1997, *Fundamentals of Ceramics*. New York: Mc Graw-Hill Book Co.
- [9] Nurzal dan W. F. Putra, 2014, *Pengaruh Waktu Pengeringan dengan Menambahkan 5% Berat Fly Ash Melalui Daya Serap Air Dan Uji Densitas pada Pembuatan Paving Blok (Binder Air Mineral)*, Jurnal Teknik Mesin ITP, Vol 4, No. 2, Halaman : 59-67, ISSN 2089-4880.
- [10] Nurzal dan Ardiansyah., 2015, *Pengaruh Variasi lama Pengeringan Paving Blok Dengan Menambahkan 5% Berat Fly Ash terhadap Kuat Tekan (Binder PT.X)*, Jurnal Teknik Mesin ITP, Vol 5, No. 2, Halaman : 127-132, ISSN 2089-4880.
- [11] Nurzal dan Y.B. Gea, 2015, *Pengaruh Waktu Pengeringan Dengan Menambahkan 5% Berat Fly Ash melalui Uji Daya Serap Air dan Uji Densitas Pada Pembuatan Paving Blok (Binder PT.X)*. Jurnal Teknik Mesin ITP, Vol 5, No. 1, Halaman : 18-24, ISSN 2089-4880.
- [12] Nurzal, Edison dan Suhendri. (2015). *Pengaruh Variasi Tekanan pada saat pencetakan Paving Blok dengan menambahkan 5% Fly Ash terhadap Sifat Fisis (Densitas dan Daya Serap Air)*. Prosiding Seminar Nasional PIMIMD ke 3 ITP, Halaman : 42-49 ISBN 978-602-70570-3-6.