PENGARUH KOMPOSISI *FLY ASH* TERHADAP KUAT TEKAN PADA PEMBUATAN *PAVING BLOCK*

Oleh :

Nurzal [1] dan Zepriady Zakir [2]

[1)] Dosen Teknik Mesin, [2)] Alumni Teknik Mesin FTI - ITP

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh komposisi fly ash terhadap kuat tekan pada pembuatan paving block. 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 paving block. Komposisi fly ash pada pembuatan paving block yaitu sebesar : 0 %, 5 %, 10 %, 15% berat fly ash + material paving block (semen dan pasir). Bentuk spesimen uji berdasarkan SNI 03-0691-1996 dengan ukuran paving block 20 cm x 10 cm x 6 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan optimal diperoleh pada komposisi 5% berat fly ash, yaitu sebesar 21,346 MPa, diikuti oleh komposisi 10 % dan jika diberikan komposisi lebih dari 10 % berat fly ash, maka kuat tekan akan turun lebih kecil dari jika kita hanya menggunakan 0 % berat fly ash. Berdasarkan nilai kuat tekan yang dihasilkan menurut SNI 03-0691-1996, paving block dengan komposisi 0 %, 5%, 10 % berat fly ash termasuk dalam mutu B yang digunakan untuk pelataran parkir kecuali 15 % berat fly ash termasuk dalam mutu C yang digunakan untuk pejalan kaki.

***Kata kunci** : fly ash, paving block, SNI dan kuat tekan*

PENDAHULUAN

Fly ash dihasilkan dari sisa pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap. Produksi *fly ash* menyebabkan polusi lingkungan berupa pencemaran udara dan air tanah, karena pemanfaatannya baru sedikit yaitu kurang lebih 20 sampai 30 %. Oleh karena itu perlu dicari suatu solusi untuk mengatasi masalah tersebut dengan cara memanfaatkan *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).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi *fly ash* terhadap kuat tekan pada pembuatan *paving block dan* menentukan kwalitas/mutu *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996.

1. *Paving Block*

Paving block/ bata beton *(concrete block)*/ *cone blok.* merupakan produk bahan bangunan yang digunakan sebagai salah satu alternatif penutup atau pengerasan permukaan tanah. 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. Penggunaan *paving blok* juga dapat divariasikan dengan jenis paving atau bahan bangunan penutup tanah lainnya.

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 beton/ aspal menjadikan satu

penopang utama agar pondasi rumah tetap stabil.

- ❖ Daya serap air yang baik sekitar rumah/ tempat usaha, akan menjamin ketersediaan air tanah untuk bisa dibor/ digunakan untuk keperluan sehari-hari.

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, Sekolahan, Rumah Sakit, Masjid dll
- ❖ Pedestrian/ trotoar
- ❖ Halaman rumah
- ❖ *Carport*, dll

Persyaratan *paving block* di indonesia diatur dalam SNI 03-0691-1996 mengacu pada peraturan tersebut, mutu *paving block* diklasifikasikan menjadi :

- ❖ Mutu A : untuk jalan
- ❖ Mutu B : untuk pelataran parkir
- ❖ Mutu C : untuk pejalan kaki
- ❖ Mutu D: untuk taman & pengguna lain.

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

Mutu	**Kuat Tekan (MPa)**		**Tahan Aus (mm/menit)**		**Penyera pan air (%)**
	Rata-rata	**Min**	**Rata-rata**	**Min**	**maks**
A	40	35	0,09	0,103	3
B	20	17	0,13	0,149	6
C	15	12,5	0,16	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

Paving block yang diproduksi secara manual biasanya termasuk dalam mutu beton kelas C atau D yaitu untuk tujuan pemakaian non struktural, seperti untuk taman dan penggunaan lain yang tidak diperlukan untuk

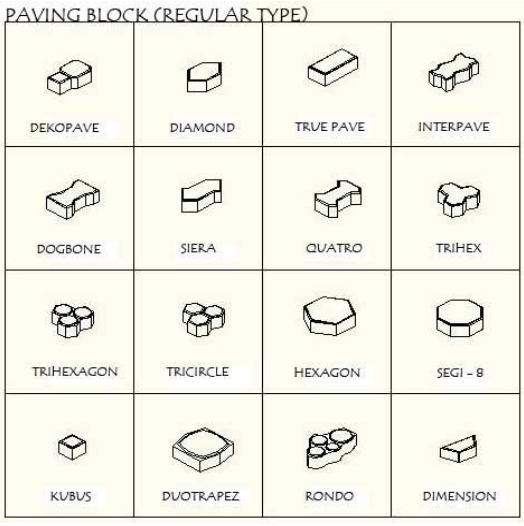
- ❖ mudah dan tidak memerlukan alat berat serta dapat diproduksi secara masal.
- ❖ Pemeliharannya mudah dan dapat di pasang kembali setelah dibongkar.

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^2, tergantung 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*)*.

Standar *paving block* dalam SNI 03-0691-1996, berdasarkan standar tersebut dimensi yang digunakan untuk *paving block* adalah :

- ❖ Panjang 20 cm dan tolerasi 2 mm
- ❖ Lebar 10 cm dan toleransi 2 mm
- ❖ Tebal antara 6, 8, 10 cm dan toleransi 3 mm



Gambar 1. Bentuk- bentuk *paving block*

2. Cara Pembuatan *Paving Block*

2.1 Persiapan

Adapun persiapan yang akan di persiapkan yaitu;

- persiapan perkakas, peralatan, dan material,
- pengayakan pasir,
  Langkah pertama dengan ayakan pasir 1 cm^2 untuk memisahkan batu-batu yang besar. Langkah kedua dengan ayakan yang lebih kecil (mis. 4,5 mm^2) untuk mendapatkan pasir halus. Pasir harus bersih dari kotoran, sampah, dan lumpur.

2.2 Pengadukan Bahan

Mengaduk bahan biasanya dilakukan dengan tangan untuk jumlah yang kecil atau dengan mesin untuk jumlah yang besar. Pencampuan dilakukan ditempat yang kedap air untuk mencegah air semen merembes keluar.

Langkah-langkah mengaduk dengan tangan :

- Taburkan sejumlah pasir yang telah diukur setebal 10 cm di kotak adukan.
- Campur kedua bahan tersebut dengan penambahan bahan subtitusi dan aduk secara bersama-sama sampai merata (homogen).

Setelah pengadukan

- Bentuk adukan menjadi gundukan dan buat lubang seperti cekungan di tengah.
- Siram dengan sedikit air secara perlahan dan aduk sampai terbentuk pasta yang merata.
  1. Jika menggunakan kerikil, sekarang tambahkan dalam takaran yang sesuai kerikil dan aduk hingga setiap kerikil terlapisi secara merata.
  2. Periksa adukan: ambil segenggam penuh adukan dan bentuk seperti bola kecil. Jika
  3. bola tersebut tidak retak, dan tangan sedikit basah, adukan siap untuk dicetak.



Gambar 2. Pengadukan Material

2.3. Perbandingan Adukan

Berdasarkan kebutuhan pelanggan dan mutu produk yang berbeda, perbandingan adukan untuk beton dapat bervariasi. Secara umum, semakin banyak semen yang digunakan semakin tinggi mutu yang diperoleh (tetapi juga lebih mahal biaya produk yang akan dijual kepada konsumen).

- Untuk membuat paving block berkualitas tinggi, yang akan digunakan terus-menerus khususnya di tempat dengan beban berat (mis. Tempat parkir), perbandingan adukan sebaiknya sebagai berikut: bagian semen bermutu baik + 2 bagian pasir sungai yang bersih +3 bagian kerikil kasar +air secukupnya



Gambar 3. Proses Pencampuran Mortar

- Untuk membuat *paving blok* bermutu rendah, dapat digunakan lebih sedikit semen dan lebih banyak pasir sungai yang bersih pada adukan beton (misalnya 1 bagian semen + 2 bagian pasir sungai yang bersih + 4 bagian kerikil kasar dan air secukupnya; 1 bagian semen + 4 bagian pasir sungai yang bersih). *Paving block* bermutu rendah ini dapat digunakan di dalam rumah, di halaman depan dan belakang rumah, di mana tidak ada beban berat yang menekan lantai (Claudia muller dkk, 2006*)*

4. Fly ash

Fly ash (abu terbang) adalah 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*.

2.4 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 (Tjokrodimuljo, 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. 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

2.5 Semen *Portland*

Semen Portland adalah material yang mengandung ±75% kalsium silikat ($3CaO.SiO_2$ dan $2CaO.SiO_2$), sisanya tidak kurang dari 5% berupa Al silikat, Al feri silikat dan MgO (Hanehara, 2005).

Tabel 2. Komposisi Kimia Semen Portland

Unsur Kimia	(%) berat
CaO	64,1
Al_2O_3	5,5
Fe_2O_3	3,0
SiO_2	22,0
MgO	1,4
SO_3	2,1

(Sumber : Lea, 1971)

Pembuatan semen Portland menggunakan bahan baku utama berupa CaO dari batuan kapur sebesar 70% berat, 20% berat sebagai sumber Silika (SiO_2), Alumina (Al_2O) dan bahan aditif yang terdiri dari 1% berat MgO untuk kontrol komposisi, 1% berat FeO, dan 5-10% berat gypsum $CaSO.2H_2O$ untuk mengatur waktu ikat semen (Sobelev, 1997). Reaksi pembentukan C_2S, C_3S, C_3A, C_4AF terjadi saat proses kalsinasi yang berlangsung pada suhu tinggi, yaitu sekitar 1450 ^oC. Apabila semen tercampur dengan air, maka akan terjadi proses hidratasi yang menyebabkan berlangsungnya pengerasan. Mekanisme reaksi hidratasi dari komponen-

komponen semen adalah sebagai berikut (Sobelev, 1997).

1) $2Ca_3OSiO_4 + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$
2) $2Ca_2SiO_4 + 4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$
3) $Ca_3(AlO_3)2 + 3CaSO_4 + 32H_2O \rightarrow Ca_6(AlO_3)_2\ (SO4)_3.32H_2O$
4) $Ca_6(AlO_3)_2(SO_4)_3.32H_2O + Ca_3(AlO_3)2 + 4H_2O \rightarrow 3Ca_4(AlO_3)2SO_4).12H_2O$
5) $2Ca_2AlFeO_5+CaSO_4+16H_2O\rightarrow Ca_4(AlO_3)2(SO_4)_3.12H_2O+Ca(OH)2+2Fe(OH)3$

Reaksi hidratasi (1) dan (3) berlangsung sangat cepat dalam orde menit, sedangkan reaksi (2), (4) dan (5) berlangsung lambat bisa dalam orde minggu. Oleh karena itu pengerasan semen yang maksimal bisa mencapai waktu 28 hari (Sobelev, 2002).

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

- Jenis I, untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- Jenis II, dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Jenis III, dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
- Jenis IV, dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- Jenis V, dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Keterangan lebih lanjut tentang prosentase kandungan penyusunnya, semen Portland terdiri dari 5 tipe 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_3S); 19% (C_2S); 10% (C_3A); 7% (C_4AF); 2,8% MgO; 2,9% (SO_3); 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_3S); 24% (C_2S); 6% (C_3A); 11% (C_4AF); 2,9% MgO; 2,5% (SO_3); 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% (C_2S); 10% (C_3A); 7% (C_4AF); 3,0% MgO; 3,1% (SO_3); 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_3S); 49% (C_2S); 4% (C_3A); 12% (C_4AF); 1,8% MgO; 1,9% (SO_3); 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_3S); 43% (C_2S); 4% (C_3A); 9% (C_4AF); 1,9% MgO; 1,8% (SO3); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.

2.6 Pasir

Pasir adalah contoh bahan material yang mempunyai ukuran partikel 0,0625 - 2 milimeter. Senyawa pembentuk pasir adalah silikon dioksida, tetapi di beberapa pantai

tropis dan subtropis umumnya dibentuk dari batu kapur.

Hanya beberapa tanaman yang dapat tumbuh diatas pasir, karena rongga-rongganya yang besar. Pasir memiliki warna sesuai dengan asal pembentukanya. Pasir juga penting untuk bahan bangunan bila dicampur Semen.

2.7 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:
σ = Kuat tekan (kg/cm^2)
F = Gaya tekan (kg)
A = Luas penampang (cm^2)

METODA PENELITIAN

Proses pengambilan data pengujian dari alat penukat panas ini dilakukan pada malam hari, yang dilakukan dilingkungan Insitut Teknologi Padang, alat penukar panas ini terdiri dari empat bagian utama yaitu bagian masukan, keluaran, susunan pipa, dan tungku. Sebagai alat bantu untuk mensirkulasikan udara digunakan *blower*. Panas yang dihasilkan oleh tungku ini merupakan panas dari hasil pembakaran bahan bakar yang dibantu oleh kipas angin (*Fan*).

Perpindahan panas yang terjadi pada alat penukar panas/tungku biomassa ini merupakan perpindahan panas konveksi menuju susunan pipa yang didalamnya mengalir udara karena bantuan dari hisapan blower. Karena adanya bantuan hisapan blower, maka terjadilah perpindahan panas konveksi paksa, kemudian melalui hisapan blower dan dihantarkan keruang pengering.

Panas yang sebenarnya/aktual merupakan panas pada alat penukar panas/tungku biomassa yang akan digunakan sebagai sumber panas yang akan dimanfaatkan untuk pengeringan, sedangkan panas maksimum merupakan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Untuk mencari nilai efektivitas, pertama kita perlu mencari kapasitas alat, kapasitas pipa dengan persamaan kontinuitas.

$$Q = V.A$$

Setelah itu dilanjutkan dengan mencari bilangan reynold, dengan persamaan :

$$Re = \frac{v\,D}{\vartheta}$$

Untuk mencari luas permukaan pipa keseluruhan, maka perlu dicari bilangan nusselt dengan persamaan sebagai berikut :

$$Nu = 0{,}116\left(Re^{\frac{2}{3}} - 125\right)Pr^{\frac{1}{3}}\left(1 + \left(\frac{d_p}{L}\right)^{\frac{2}{3}}\right)\left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)$$

Setelah bilangan nusselt didapat, maka dapat dicari luas permukaan pipa keseluruhan dengan persamaan :

$$A_s = N\pi DL$$

Koefisien perpindahan panas keseluruhan pipa rata-rata dapat dicari dengan persamaan :

$$h = \frac{N_u \cdot k_f}{D}$$

LMTD (*Log Mean Temperature Difference)* digunakan untuk menentukan laju perpindahan panas rata-rata, dengan persamaan :

$$\Delta T_{ln,cf} = \frac{(T_{h,o} - T_{c,i}) - (T_{h,i} - T_{c,o})}{\ln\left[\frac{(T_{h,o} - T_{c,i})}{(T_{h,i} - T_{c,o})}\right]}$$

Setelah didapat nilai $\Delta T_{lm,cf}$, maka kita perlu mencari nilai faktor koreksi,dengan menentukan nilai P dan R.

$$R = \frac{(T_{h,i} - T_{h,o})}{(T_{c,o} - T_{c,i})}$$ dan nilai

$$P = \frac{(T_{c,o} - T_{c,i})}{(T_{h,i} - T_{c,i})}.$$

Setelah nilai P dan R diketahui, maka Faktor koreksinya dapat dicari pada grafik faktor koreksi, dan dilanjutkan dengan persamaan berikut :

$$\Delta T_{\ln cr,f} = \Delta T_{ln}, cf \,.F$$

Untuk mencari nilai total perpindahan panas digunakan persamaan sebagai berikut :

$$q_{act} = h\, A_s \Delta\, T_{ln}$$

Untuk nilai HHV dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$HHV = \frac{(1,3941 * C - 18,3638 * H + 1,4682 * O + 16,7184 * N - 95,753 * S + 0,5184 * A)Mj}{Kg}$$

Setelah didapat nilai HHV dari perhitungan diatas, maka kita dapat menentukan nilai q_{maks} dengan persamaan berikut :

$$q_{maks} = \frac{M_{s.}\ HHV}{t}$$

Setelah didapat nilai q_{act} dan q_{max}, maka kita dapat mencari efektivitas dari alat penukar panas dengan persamaan berikut :

$$\varepsilon = \frac{q_{act}}{q_{max}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil yang diperoleh dari penelitian ini berupa data ukur yang tercatat pada alat ukur. seperti kecepatan udara masuk yang diukur dengan anemometer temperatur udara dingin masuk, temperatur udara dingin keluar, temperatur udara panas masuk, temperatur udara panas keluar, temperatur permukaan pipa yang diukur dengan alat thermometer digital.

Dengan adanya hasil data ukur tersebut, maka selanjutnya akan dilakukan pengolahan data yang bertujuan untuk mengetahui nilai efektivitas dari alat penukar panas. Adapun hasil dari pengolahan data dengan menggunakan persamaan diatas yaitu didapat Q_{act} = 2502,96 W , *HHV* bahan bakar = 24850 $\frac{Mj}{Kg}$, Q_{maks} = 14840 W , dan nilai Efektivitas sebesar = 0,14.

KESIMPULAN

Efektivitas alat penukar panas ini adalah **0,14** , hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut :

1. Komposisi dari bahan bakar yang digunakan bukanlah komposisi dari bahan bakar yang digunakan pada saat penelitian, namun berdasarkan hasil dari penelitian Wahyudi.

2. Kecilnya panas sebenarnya/aktual yang dihasilkan tungku dibandingkan panas maksimum yang dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kreith Frank. 1991, *Perpindahan Panas*. Jakarta: Erlangga

[2] Khan W. A.2006 “Jurnal”. *Internasional Heat and Mass Transfer.*

[3] Munson, Druse R. 2002. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga

[4] Wahyudi. 2006. “Jurnal” Penelitian Nilai Kalor Biomassa : Perbandingan Antara Hasil Pengujian dengan Hasil Perhitungan. Yogyakarta : Universitas Negri Yogyakarta.

[5] Zukauskus 1987 ”Jurnal” Internasional Heat and Mass Transfer Heat exchangers Formulas, Tables, dan Figures. http://www1.ceit.es/asignaturas/tecener1/HeatExchangersFormulas.pdf

[6] Heat exchangers http://www.me.iitb.ac.in/~kiyer/me210/lect_26_27.pdf

[7] Internal Force Convection. http://ytumekatronik.files.wordpress.com/2012/09/cen58933_ch08.pdf