

# RANCANG BANGUN DAPUR KETEL UAP PIPA API MINI MODEL HORIZONTAL ALAT PENDUKUNG INDUSTRI TAHU DENGAN JENIS BAHANBAKAR BIOMASSA

Oleh

<sup>(1)</sup>Legisnal Hakim, MT. <sup>(2)</sup>Sunaryo, MT

<sup>(1,2)</sup>Prodi Teknik Mesin – Fak. Teknik Universitas Muhammadiyah Riau

E-mail : legisnalhakim@umri.ac.id

## ABSTRAK

Dapur merupakan peralatan sangat penting pada proses pembentukan uap, karena itu dapur perlu desain dengan teliti agar dapur tidak mudah mengalami kegagalan akibat tidak tepat dalam perhitungan desain dapur tersebut. Bentuk dapur untuk proses pembakaran yang digunakan untuk ketel uap skala mini dilapangan ada dua model yaitu model terbuka dan model tertutup. Untuk model terbuka panas proses pembakaran bahan bakar dan udara lebih banyak terbuang di alam terbuka sehingga efisiensinya sangat kecil dan pemakaian bahan bakar lebih boros. Sedangkan untuk dapur model tertutup dimana udara masuk dan bahan bakar masuk dapat diatur sesuai kebutuhan dan desain dapur tersebut panas yang terjadi di dalam dapur tidak terbuang sia – sia ke alam bebas karena panas yang dihasilkan dapur model tertutup ini bisa lebih maksimal ditransfer ke luas permukaan panas, efisiensi lebih tinggi, pemakaian bahan bakar tidak boros, dapur yang dirancang memiliki ukuran sebagai berikut : panjang tungku = 100 cm, lebar tungku = 43,5 cm, tinggi ruang bakar = 39 cm, tinggi total tungku keseluruhan = 78 cm, volume ruang bakar =  $0.17 \text{ m}^3$ , volume total tungku =  $0,34 \text{ m}^3$ , tebal dinding tungku = 7 cm, tebal garangan = 7 cm, diameter lubang garangan = 3,5 cm, jarak antara lubang garangan = 6,7 cm, jumlah lubang garangan = 97 lubang, ukuran lubang laluan udara I & II (L x T) = 30,5 cm x 28 cm, ukuran lubang laluan udara III & IV (P x T) = 35 cm x 28 cm

**Keyword** : Tungku, Biomassa

## PENDAHULUAN.

Bentuk dapur untuk proses pembakaran yang digunakan untuk ketel uap skala mini dilapangan ada dua model yaitu model terbuka dan model tertutup. Untuk model terbuka panas proses pembakaran bahan bakar dan udara lebih banyak terbuang di alam terbuka sehingga efisiensinya sangat kecil dan pemakaian bahan bakar lebih boros. Sedangkan untuk dapur model tertutup dimana udara masuk dan bahan bakar masuk dapat diatur sesuai kebutuhan dan desain dapur tersebut panas yang terjadi di dalam dapur tidak terbuang sia – sia ke alam bebas karena panas yang dihasilkan dapur model tertutup ini bisa lebih maksimal ditransfer ke permukaan terkena panas, efisiensi lebih tinggi, pemakaian bahan bakar tidak boros. Dapur merupakan peralatan sangat penting pada proses pembentukan uap, karena itu dapur perlu desain dengan teliti agar dapur tidak mudah mengalami kegagalan akibat tidak tepat dalam perhitungan desain dapur tersebut. Jadi hal lain yang perlu diperhatikan dalam pembuatan dapur adalah selain ukurannya juga material dapur yang dapat menahan panas pembakaran. Pada umumnya bahan bakar yang digunakan adalah kayu, cangkang sawit,

tempurung kelapa, ampas (serabut kelapa sawit atau ampas tebu ) dan lain – lain. Hal lain yang perlu diperhatikan pada bahanbakar adalah nilai kalor tiap – tiap bahan bakar. Dapur yang akan didesain adalah dapur yang bisa menggunakan bahan bakar padat (Biomassa), dengan maksud bila terjadi kelangkaan atau kekurangan bahanbakar padat jenis lain maka pengguna ketel uap jenis ini dapat menggunakan bahanbakar padat lainnya. Masalah yang terjadi dilapangan adalah Tidak adanya desain dapur khusus untuk ketel uap mini, maka perlu dilakukan kajian tentang dapur ketel uap mini yang sesuai dengan bentuk ketel uap horizontal. Ada beberapa rumusan untuk memulainya perancangan dapur ini antara lain apa model dapur, material dan berapa ukuran dapur rancangan tersebut. Perancangan dapur ketel uap api mini ini adalah model horizontal dengan bahan bakar biomassa (serabut dan cangkang sawit) dengan kapasitas ketel uap 1300 kg/hari. Tujuan perancangan ini adalah untuk mendapatkan optimasi bahanbakar – udara, dimensi dapur dan desain dapur ketel uap api mini horizontal.

## TINJAUAN PUSTAKA

Dapur ( *furnace* ) adalah dapur tempat melakukan pembakaran bahanbakar secara efektif. Jenis dapur tergantung penggunaannya seperti :

- Dapur untuk pandai besi ( *forging* )
- Dapur untuk pekerjaan pengecoran logam ( *foundry* )
- Dapur untuk kebutuhan system konversi energy

Untuk melakukan pembakaran diperlukan tiga unsur, yaitu :

- Bahanbakar
- Oksigen dari Udara pembakaran
- Suhu untuk memulai pembakaran

### Perancangan Dapur ( *furnace* )

Komponen – komponen tungku pembakaran terdiri dari :

#### a. Ruang Pembakaran.

Ruang pembakaran merupakan komponen utama dari sebuah tungku, dimana terjadinya proses pembakaran. Rancangan ruang pembakaran biasanya berdasarkan daya keluaran rata – rata  $P_{av}$  tungku dalam kW, dengan formula<sup>[2]</sup>

$$Q_n = \frac{(m_f \times E_s)}{T} \quad (1)$$

Dimana :

$M_f$  = Massa bahan yang dimasak (kg)

$E_s$  = Energi spesifik yang dimiliki bahan masakan ( kcal/kg )

$T$  = lama waktu pemasakan (jam)

Diameter Ruang Pembakaran dihitung dengan persamaan<sup>[2]</sup> :

$$D = \sqrt{1,27 \frac{FCR}{SGR}} \quad (2)$$

Tinggi ruang pembakaran dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu :

- Tinggi bahanbakar
- Tinggi api

Tinggi bahanbakar dapat dihitung dengan persamaan<sup>[2]</sup> :

$$H = \frac{FCR}{(\text{densitas bulk bahanbakar} \times A)} \quad (3)$$

FCR adalah Laju konsumsi bahanbakar per satuan waktu tertentu (kg/jam)

Densitas bulk bahanbakar (kg/m<sup>3</sup>)

A adalah luas penampang ruang pembakaran (m<sup>2</sup>)

FCR dapat dihitung dengan persamaan<sup>[2]</sup> :

$$FCR = \frac{Q_n}{(HVf \times Sg)} \quad (4)$$

HVf adalah nilai kalor bahanbakar (kcal/kg)

Sg adalah efisiensi kompor gasifier ( *gasifier stove efficiency* (%) )

Tinggi api dapat dihitung dengan persamaan<sup>[18]</sup> :

$$H_{fl} = C_2 \times Q_n^{2/5} \quad (5)$$

$C_2$  adalah Konstanta, untuk kompor dengan garangan,  $C_2 = 75 \text{ mm/k}^{0,4}$

Untuk kompor tanpa garangan,  $C_2 = 110 \text{ mm/kW}^{0,4}$

**b. Garangan ( *grate* )** Adanya grate pada tungku dapat meningkatkan efisiensi pembakaran karena udara dapat terdistribusi lebih merata kebagian bawah bahanbakar sebagai hasil pencampuran udara dengan bahan yang mudah menguap ( *volatile matters* ).

**Bahan bakar.** Agar kualitas uap yang dihasilkan dari ketel uap sesuai dengan yang diinginkan/dibutuhkan maka dibutuhkan sejumlah panas untuk menguapkan air tersebut, dimana panas tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar ketel. Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna didalam ketel maka diperlukan beberapa syarat, yaitu:

1. Perbandingan pemakaian bahan bakar harus sesuai (cangkang dan serabut)
2. Udara yang dipakai harus mencukupi
3. Waktu yang diperlukan untuk proses pembakaran harus cukup.
4. Panas yang cukup untuk memulai pembakaran
5. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api

## Biomassa

**Tabel 3 : Kandungan Kalori Biomassa Limbah Kelapa Sawit**

Jenis Limbah	Kandungan Kalori
Cangkang	3500 – 4100 kkal/kg
Serabut	2637 – 3998 kkal/kg
Tandan Buah Kosong	4492 kkal/kg

Pembakaran biomassa dapat dibagi dalam empat tahap yaitu :

- a. Pengeringan kandungan air dalam biomassa
- b. Pelepasan zat volatile matters yang terkandung dalam biomassa (devolatilisasi)
- c. Pembakaran gas volatile yang keluar dari biomassa

d. Pembakaran arang.

**Perpindahan Panas.** Sebagian dari panas yang dihasilkan melalui pembakaran akan diterima oleh air dalam tangki boiler. Selebihnya akan hilang melalui proses konduksi, konveksi, dan radiasi. Untuk memaksimalkan perpindahan panas ke air dalam tangki boiler, perlu dilakukan studi tentang mekanisme perpindahan panas dan prinsip – prinsipnya. Bertujuan untuk dapat ukuran/spesifikasi tungku yang sesuai rancangan.

- a. Konduksi
- b. Radiasi
- c. Konveksi

### METODE PENELITIAN.

Metode penelitian dilakukan dengan beberapa langkah untuk mendapatkan hasil yang rancangan yang sesuai dengan spesifikasi ketel uap pipa api horizontal mini. Langkah awal ada studi literature, studi lapangan, langkah kedua pengumpulan data ( data primer dan data skunder ), langkah ketiga pengolahan data, langkah keempat analisa dan pembahasan ( metode matematis ), langkah ke lima gambar desain, langkah keenam kesimpulan dan saran.

**Tahap Perancangan Tungku.** Pada perancangan tungku ini perlu difokuskan pada perhitungan ukuran komponen – komponen tungku sesuai desain yang sudah direncanakan. Prosedur umum perancangan kompor adalah sebagai berikut :

- Menghitung daya keluaran menggunakan persamaan (1)
- Menghitung ukuran ruang pembakaran dengan persamaan (2)
- Menghitung tinggi ruang pembakaran bagian bahanbakar dan bagian api dengan persamaan (3) dan (5)
- Menentukan tebal dinding dapur atau tungku.
- Menentukan ukuran garangan ( lubang dan jarak antar lubang garangan) serta tebal garangan
- Menentukan lubang laluan udara pada ruang udara.
- Membuat gambar teknik dari tungku rancangan, sesuai penentuan dan perhitungan diatas.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

**Desain Tungku Biomassa.** Desain tungku disesuaikan dengan dimensi ketel uap mini PDP 1,

dimana bahan bakar yang digunakan adalah biomassa campuran cangkang dan serat kelapa sawit dengan perbandingan 20 : 80 ( 20% cangkang dan 80% serat kelapa sawit). Ruang pembakaran berbentuk segi empat karena direncanakan tungku dengan ketel uap mini horizontal dengan type pipa api. Jadi persamaan 2 dapat digunakan dengan merubah bentuk tungku menjadi segi empat yaitu

$$S = \sqrt{1.27 \frac{FCR}{SGR}}$$

SGR adalah laju gasifikasi spesifik dari biomassa ( 80 kg/m<sup>2</sup>.hr), FCR adalah Laju konsumsi bahanbakar (kg/hr) di dapat dari persamaan (4) : FCR = Qn/HVf biomassa x sg. Dimana HVf adalah nilai rata – rata kedua biomassa yang digunakan. Qn di cari dengan persamaan 1 : Qn = Mf x Es/T

Dimana Mf adalah massa bahan yang di panaskan ( air ), Es adalah energy spesifik dari air dan T adalah Waktu yang di butuhkan untuk merebus air.

Penelitian ini juga menggunakan data sekunder dari PDP 1 (*Rancang Bangun Ketel Uap Mini Dengan Pendekatan Standar Sni Berbahanbakar Cangkang Sawit Untuk Kebutuhan Pabrik Tahu Kapasitas 200 Kg Kedelai/Hari*) dengan kapasitas panas pada tekanan 2 bar dan Q = 155040 kJ/jam dengan daya 44 kW = 59 HP, kebutuhan bahanbakar 12 kg/jam. Di simpulkan sementara ukuran rancangan dapur adalah persegi panjang dengan ukuran **panjang sementara ini diasumsikan 1000 mm.**

Jadi ukuran lebar dapur adalah :

$$S = \sqrt{1.27 \frac{12 \text{ kg/jam}}{80 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ hr}}}} = \sqrt{0.1905} = 0.4346 \text{ m} \approx 43,5 \text{ cm}$$

Dari perhitungan diatas untuk hasil sementara **lebar dapur/tungku adalah 43,5 cm.** Untuk mendapat tinggi tungku perlu dilakukan analisa selanjutnya yaitu

**Tinggi bahanbakar ( H ) :**

$$H = \frac{FCR}{(0,5 \times (\text{densitas biopellet}) \times A)}$$
$$H = \frac{12}{(0,5 \times 1150 \times 0,435)} = \frac{12}{250.125} = 0.048 \text{ m}$$

Densitas di ambil dari pellet biomassa (campuran cangkang dengan pelepah kelapa sawit ) yaitu 1.02 – 1,28 g/cm<sup>3</sup> (*Ermy Puspitasari, 2014*), jadi densitas rata – rata yang diambil 1,15 g/cm<sup>3</sup> ( 1150 kg/m<sup>3</sup>), sedangkan **luas ruang pembakaran (A<sub>RB</sub>)**

diasumsikan *panjang tungku x lebar tungku* (  $1 \times 0,435 = 0,435 \text{ m}^2$  ).

**Tinggi Api ( $H_{fl}$ ) :**

$$H_{fl} = 75 \text{ mm} / k W^{0,4} \times \text{daya kelrauan}^{0,4}$$

$$H_{fl} = 75 \times 44^{0,4} = 75 \times 4,54 = 340,5 \text{ mm}$$

$$= 34,05 \text{ cm} \approx 34 \text{ cm}$$

**Tinggi ruang pembakaran**

$$(T_{RB}) = H + H_{fl} = 4,8 + 34$$

$$= 38,8 \text{ cm} \approx 39 \text{ cm}$$

**Jadi volume ruang pembakaran**

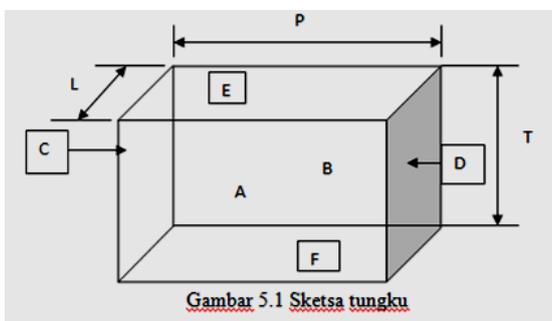
$$(V_{RB}) = (P \times L \times T) = 1 \times 0,435 \times 0,39 = 0,16965 \text{ m}^3 \approx 0,17 \text{ m}^3$$

Jadi volume ruang udara atau penampung abu sisa pembakaran yang direncanakan adalah sama dengan volume ruang pembakaran =  $0,17 \text{ m}^3$

**Volume total tungku**

$$(V_T) = 2 \times 0,17 \text{ m}^3 = 0,34 \text{ m}^3$$

Karena model tungku berbentuk persegi panjang, maka ada 6 permukaan bagian dalam tungku yang terkena panas, dimana 6 permukaan dibagi 3 bidang antara lain Bidang I, II, III. Bidang I (  $A=B$  ), Bidang II (  $C=D$  ), Bidang III (  $E=F$  ),



Gambar 5.1 Sketsa tungku

$$\text{Luas bidang I} = 2 (P \times T) = 2 (100 \times 39)$$

$$= 7800 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas bidang II} = 2 (L \times T) = 2 (43,5 \times 39)$$

$$= 3393 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas bidang III} = 2 (P \times L) = 2 (100 \times 43,5)$$

$$= 8700 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas total permukaan terkena panas} = 7800 + 3393 + 8700 = 19.893 \text{ cm}^2$$

$$\text{Jadi volume ruang pembakaran } (V_{RB}) = 1 \times 0,435 \times 0,39 = 0,16965 \text{ m}^3 \approx 0,17 \text{ m}^3$$

Jadi volume ruang udara atau penampung abu sisa pembakaran yang direncanakan adalah sama dengan volume ruang pembakaran =  $0,17 \text{ m}^3$

Menentukan tebal dinding dapur dengan material tanah lempung menggunakan persamaan fourier perpindahan panas konduksi :

$$Q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

Dimana:

Q = laju aliran panas = 44000 Watt

k = konduktivitas termal tanah lempung = 0,739 Btu/hr-ft- $^{\circ}$ F = 1.3 W/m.K ( tabel B-2 sifat – sifat bahan bukan logam, perpindahan kalor Donald R. Pitts, schaum).

T<sub>1</sub> = temperature luar dinding = 30  $^{\circ}$ C

T<sub>2</sub> = temperature dalam tungku = ( 540 – 980 )  $^{\circ}$ C ; 980  $^{\circ}$ C diambil (tungku suhu rendah Tabel 2, UNEP 2006 ).

A = luas total permukaan terkena panas = 19893  $\text{cm}^2$  = 1.9893  $\text{m}^2 \approx 2 \text{ m}^2$ .

$$44000 = 1,3 \times 2 \times \frac{980 - 30}{\Delta x}$$

$$\Delta x = \frac{1,3 \times 2 \times (950 + 273)}{44000}$$

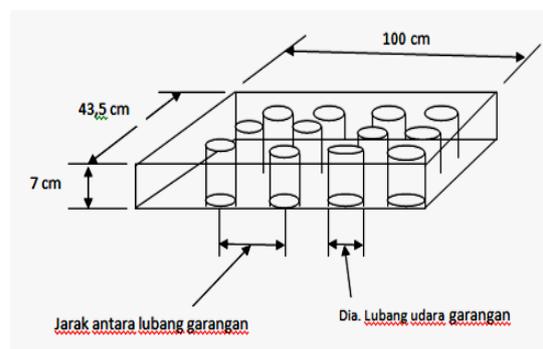
$$\Delta x = \frac{3179,8}{44000} = 0,07 \text{ m} \approx 7 \text{ cm}$$

Jadi tebal dinding tungku (x) = 7 cm

**Garangan**

Variable – variable yang dibutuhkan untuk rancangan garangan adalah

- a. Tebal garangan = 7 cm
- b. Luas garangan = luas bidang III = 8700  $\text{cm}^2$
- c. Diameter lubang garangan
- d. Jumlah lubang garangan
- e. Jarak antara lubang garangan



Gambar 5.2 sketsa lubang garangan tungku

Jadi volume garangan (V<sub>g</sub>) adalah  $P \times L \times t = 100 \times 43,5 \times 7 = 30405 \text{ cm}^3 = 0,03 \text{ m}^3$ . Luas garangan (A<sub>g</sub>) sama dengan bidang III = 8700  $\text{cm}^2 = 0,87 \text{ m}^2$ . Diameter lubang Garangan (D<sub>lg</sub>) adalah diasumsikan

perbandingan Volume garangan dengan luas garangan :

$$D_{lg} = V_g : A_g = 0,03 : 0,87 = 0,035 \text{ m} = \mathbf{3,5 \text{ cm}}$$

Luas lubang garangan (  $A_{lg}$  )

$$A_{lg} = \frac{\pi}{4} (D_{lg}^2) = \frac{\pi}{4} 3,5^2 = 9,6 \approx \mathbf{10 \text{ cm}^2}$$

Volume lubang garangan (  $V_{lg}$  )

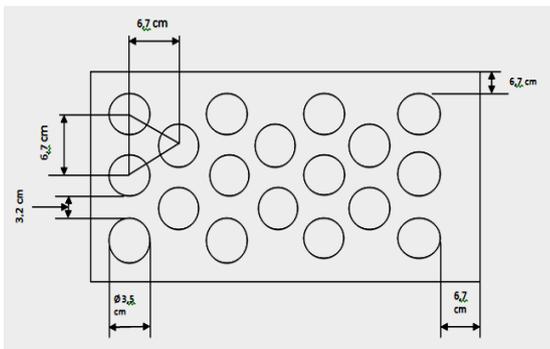
$$V_{lg} = \frac{\pi}{4} (D_{lg}^2) x t = \frac{\pi}{4} 3,5^2 x 7 = \mathbf{67 \text{ cm}^3}$$

Jadi jarak antara lubang garangan (  $X_L$  ) berdasarkan sumbu adalah diasumsikan perbandingan volume lubang garangan dengan luas lubang garangan.

$$X_L = \frac{V_{lg}}{A_{lg}} = \frac{67}{10} = \mathbf{6,7 \text{ cm}}$$

Jumlah lubang garangan (  $\Sigma_{lg}$  ) yang direncanakan :

$$\Sigma_{lg} = \left( \frac{P}{X_L} x \frac{L}{X_L} \right) = \left( \frac{100}{6,7} x \frac{43,5}{6,7} \right) = 14,9 x 6,5 = 96,85 \approx \mathbf{97 \text{ lubang}}$$



Gambar 5.2 sketsa susunan lubang garangan

Ada beberapa bidang sebagai laluan udara dari bawah tungku untuk mensuplai udara ke ruang pembakaran antara lain bidang I, II = (  $L \times T$  ) =  $43,5 \times 39 = 1696,5 \text{ cm}^2 = 0,17 \text{ m}^2$ , dan bidang III = (  $P \times T$  ) =  $100 \times 39 = 3900 \text{ cm}^2 = 0,39 \text{ m}^2$ .

Jadi ukuran lubang udara bidang I dan II adalah

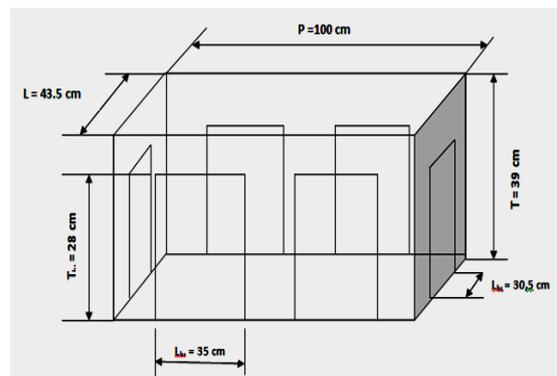
$$L \times T = \frac{0,17 \text{ m}^2}{2} = 0,085 \text{ m}^2$$

Jadi asumsi ukuran lubang udara bidang I & II adalah panjang  $L_{lu} = 30,5 \text{ cm}$  dan  $T_{lu} = 28 \text{ cm}$

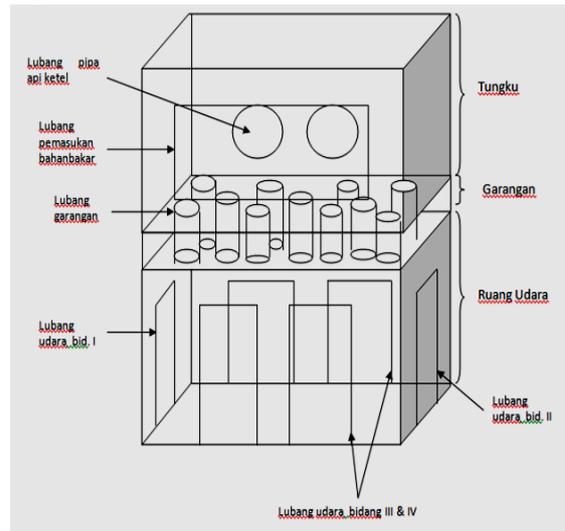
Untuk ukuran lubang udara bidang III adalah

$$L \times T = \frac{0,39 \text{ m}^2}{4} = 0,0975 \text{ m}^2$$

Asumsi ukuran lubang udara bidang III & IV adalah panjang  $L_{lu} = 35 \text{ cm}$  dan  $T_{lu} = 28 \text{ cm}$



Gambar 3 sketsa rancangan ruang udara tungku ketel uap mini.



Gambar 4 sketsa tungku ketel pipa api mini.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan.

Dari hasil penelitian ini dapat kesimpulan sementara yang akan dikembangkan selanjutnya yang terdiri beberapa item sebagai parameter untuk mendesain dapur ketel uap pipa api mini model horizontal yaitu antara lain :

- Panjang tungku = 100 cm,
- Lebar tungku = 43,5 cm,
- Tinggi ruang bakar = 39 cm,
- Tinggi total tungku = 78 cm,
- Volume ruang bakar =  $0,17 \text{ m}^3$ ,
- Volume total tungku =  $0,34 \text{ m}^3$ ,
- Tebal dinding tungku = 7 cm,
- Tebal garangan = 7 cm,
- Diameter lubang garangan = 3,5 cm,
- Jarak antara lubang garangan = 6,7 cm,
- Jumlah lubang garangan = 97 lubang,
- Ukuran lubang laluan udara I & II (  $L \times T$  ) =  $30,5 \text{ cm} \times 28 \text{ cm}$ ,
- Ukuran lubang laluan udara III & IV (  $P \times T$  ) =  $35 \text{ cm} \times 28 \text{ cm}$

## Saran

Hasil dari penelitian ini masih perlu dilakukan penelitian dan pengembangan karena masih banyak hal dari dapur ketel uap pipa api mini untuk dilakukan penelitian lanjut guna mendapatkan ukuran yang ideal pada sebuah dapur/tungku ketel uap pipa api mini yang dapat diaplikasikan ke masyarakat industry tahu atau industry kecil lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bartok, W., Sarofim, AF. (1991).** *Fossil fuel combustion : A source Book*. Wiley Interscience.
- Belonio, Alexis, and Anderson, (2005),** “ *Risk Husk Gas Stove Handbook* “ Central Philippine University : Departement of Agricultural Engineering and Environmental Management.
- Beck, NC., Hayhrust, A.N. (1990),** The early stages of the combustion of pulverized coal at high temperature : the kinetics of devolatilition, combustion and flame.
- Bridgewater, A.V, (2011),** “ Review of fast pyrolysis of biomassa and product upgrading. *Jurnal of biomassa and bioenergy*.
- Eflita Yohana;Askhabulyamin, 2009,** “*Perhitungan Efisiensi dan Konversi dari Bahanbakar Solar ke Gas Pada Boiler Ebara hkl 1800 ka*”, Rotasi : Media Komunikasi Ilmu Dan Profesi Bidang Teknik Mesin, Vol. 11, No 3
- Ekoyanto Pudjiono, Gunowo Djojowasito, Ismail, 2010** “*Modifikasi Mesin Pembangkit Uap Untuk Sumber Energi Pengukusan dan Pengeringan Produk Pangan*”, *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol.1, No. 3 ISSN 0216-468X
- Fisafarani, Hanani. (2010).** *Identifikasi karakteristik sumber daya biomassa dan pengembangan pellet biomassa di Indonesia*. Depok Manajemen Teknologi dan Informatika, Vol 3, No 1.
- Joko Winarno, 1999,** “*Pengembangan Rancang Bangun Ketel Uap Untuk Industri Pembuatan Tahu*”, *Janateknika : jurnal teknik*, Vol. 1, No 1
- I Nengah L. Antara, 2013,** “*Optimalisasi Pembakaran Bahanbakar Cair Pada Ketel*
- JP. Holman, E. Jasjfi, 1991,** “ *Perpindahan Kalor*” , Penerbit Erlangga.
- Jian, Changbin, Zeng, et al. (2011),** Biomass pyrolysis in a microfluidized bed reactor : Characterization and kinetic. *Chemical engineering journal*, 839 -847.
- Khan, AA, Jong, W, et al, 2009,** Biomass combustion in fluidized bed boiler : potential problems and remedies. *Fuel processing technology, 21- 50*
- Machmud, Syahril, 1999,** “*Meningkatkan Efisiensi Ketel Uap Dengan Economizer* “, *Janateknika : jurnal teknik*, Vol 1, No1
- Makino, A, (1992),** “ *Drag coefficient of a slowly moving carbon particle undergoing combustion*”, *Combustion science and technology*.
- Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, 2004,** “ *Termodinamika Teknik*”, Penerbit Erlangga.
- Mulianti, 2010,** “*Analisa Efisiensi Termal Ketel Uap*”, *Teknomekanik : Jurnal Teknik Mesin*, Vol 2, No 1.
- M.J. Djokosetyardjo, 1989,**” *Ketel Uap*”, PT. Pradnya Paramita.
- Nyahoro, Kariuki Peter. (2006),** *effect of air distribution on pollutant emission and flame characteristic of open buoyant wood combustion*. North Carolina state University.
- Regional Wood Energy Development Programme in Asia, (1993),** “ *Improved solid biomasa Burning Cookstove : A development manual*”, Bangkok : Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ridwan ST, MT , Elbi Wiseno, ST, MT, Firdaus,**” *Karakteristik Ketel Pipa Api Kapasitas Uap 6000 Kg / Jam Berbahanbakar Solar di PT. Mustika Ratu, Tbk,*” *Artikel Universitas Guna Dharma.*