Rancang Bangun Boiler Pemanas Tahu Kapasitas 90 kW Dengan Tungku Gasifikasi Berbahan Bakar Sekam Padi

Ahmad Maulana Kartika, Aa Setiawan, Dedi Suwandi, Wardika
Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Indramayu
Jl. Raya Lohbener lama No.08 – Indramayu, Jawa Barat
e-mail : ahmedmaulana21@yahoo.co.id

Abstract

Boilers that used in the tofu industry in Indramayu are still use firewood as a fuel. The use of firewood as a fuel in boiler is not effective because it affects the destruction of forests as producers of plants (timber) and oxygen in earth. On the other hand there are also many rice husks that mount in the rice mill and has not been utilized by the surrounding community. Therefore, this research is conducted to utilize rice husk as fuel in boiler for cooking tofu with boiler. This research begins by doing a survey in the field of industry to know about the capacity of traditional wood-fired boilers, which capacity is obtained of 90kW capacity. Then the next step is making boiler husk based on the existing calculations to determine the size of the boiler to be made. Data retrieval is carried out until the temperatur of the air boils with a tolerance of up to 30 minutes. Based on the results of the test, the rice husk boiler that has a capacity of 98.3 kW, greater than the value of designing that only 90 kW capacity of combustion and able to heat 190 kg of water within 35 minutes, so it can be used as a substitute of firewood boiler.

Keywords: *boiler, capacity of combustion, efficiency*

Abstrak

Boiler yang digunakan dalam industri tahu di Indramayu masih menggunakan kayu bakar sebagai bahan bakar. Penggunaan kayu bakar sebagai bahan bakar dalam boiler tidak efektif karena mempengaruhi penghancuran hutan sebagai penghasil tanaman (kayu) dan oksigen di bumi. Di sisi lain ada banyak sekam padi yang ditanam di penggilingan padi dan belum dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan sekam padi sebagai bahan bakar dalam boiler untuk memasak tahu dengan boiler. Penelitian ini diawali dengan melakukan survei di bidang industri untuk mengetahui tentang kapasitas boiler berbahan bakar kayu tradisional, yang kapasitasnya diperoleh dari kapasitas 90kW. Kemudian langkah selanjutnya adalah membuat kulit boiler berdasarkan perhitungan yang ada untuk menentukan ukuran boiler yang akan dibuat. Pengambilan data dilakukan sampai suhu udara mendidih dengan toleransi hingga 30 menit. Berdasarkan hasil pengujian, boiler sekam padi yang memiliki kapasitas 98,3 kW, lebih besar dari nilai perancangan yang hanya 90 kW kapasitas pembakaran dan mampu memanaskan 190 kg air dalam 35 menit, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti boiler kayu bakar.

Kata kunci: *boiler, kapasitas pembakaran, efisiensi*

PENDAHULUAN

Industri tahu di Indramayumerupakan jenis usaha mikro (ukm) yang berkembang secara turun temurun dari beberapa generasi sejak puluhan tahun yang lalu. Mikro industri tahu tersebut tersebar di berbagai daerah di Indramayu, yang mana hampir di setiap kecamatan terdapat ukm industri tahu. Untuk industri tahu yang ada di Desa Bungkul Indramayu, masih banyak pelaku industri tahu yang menggunakan kayu bakar sebagai bahan bakar boiler pada pemanas tahunya. Hal ini dikarenakan penggunaan kayu bakar yang dirasa mudah dan murah harganya. Untuk setiap industri tahu yang ada di daerah tersebut, setidaknya membutuhkan sekitar 150 – 200 kg kayu bakar per harinya untuk pembakaran pada boiler pemanas tahunya.

Penggunaan kayu bakar sebagai bahan bakar boiler pada aplikasi pemanas tahu tersebut dinilai kurang efektif karena berdampak pada pengrusakan hutan sebagai penghasil tumbuhan (kayu) dan penghasil oksigen. Jika semua industri tahu menggunakan kayu bakar sebagai bahan bakar, maka bisa berdampak serius pada lingkungan karena akan banyak pengurangan tumbuhan (hutan) dan akan mengakibatkan berkurangnya oksigen yang di hasilkan di bumi ini.

Di sisi lain, banyak sekali sampah (limbah) yang di hasilkan dari tanaman pertanian (padi) yang belum termanfaatkan dan sebenarnya masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk boiler pemanas tahu tersebut. Salah satu limbah pertanian yang melimpah dan belum dimanfaatkan adalah limbah sekam padi. Limbah sekam padi tersebut terlihat menggunung di setiap lokasi penggilingan padi di Indramayu dan masih belum termanfaatkan oleh masyarakat lingkungan sekitar.

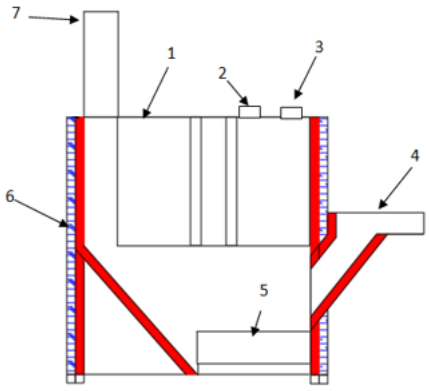
Penggunaan limbah sekam padi untuk bahan bakar boiler pada industri tahu akan berdampak positif terhadap dua masalah lingkungan sekaligus. Yang pertama adalah pengurangan penggundulan hutan akibat berkurangnya penggunaan kayu bakar sebagai bahan bakar dan yang kedua adalah pengurangan sampah (limbah) sekam padi karena limbah sekam padi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Untuk itu dalam penelitian kali ini, akan dibuat system pemanas (boiler) untuk tahu dengan menggunakan bahan bakar sekam padi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan terlebih dahulu melakukan survey lapangan di industri tahu tentang proses pemanasan menggunakan boiler tradisional berbahan bakar kayu bakar. Pengambilan data di lapangan tersebut penting dilakukan untuk mengetahui berapa kapasitas boiler yang ada di industri tersebut sehingga dapat dijadikan acuan dalam pembuatan boiler berbahan bakar sekam padi yang akan dibuat.

Setelah didapatkan data – data di lapangan, maka langkah selanjutnya adalah membuat rancangan boiler sekam berdasarkan perhitungan yang ada untuk menentukan ukuran dari boiler sekam yang akan dibuat tersebut. Perhitungan yang dilakukan untuk menentukan ukuran ruang bakar, ketebalan dinding dan kapasitas boiler. Desain dari boiler tungku gasifikasi tersebut dibuat sedemikian rupa untuk dapat membakar bahan bakar sekam tanpa dibuat briket terlebih dahulu. Tungku gasifikasi yang dibuat merupakan jenis *updraft* sistem dimana bahan bakar disuplai dari samping sebelah atas dari tungku dan suplai udara pembakaran berada pada bagian bawah tungku. Adapun skema rancangan dari boiler tungku gasifikasi tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 1 Skema rncangan boiler pemanas tahu

Keterangan :
1. Drum penampung air
2. Bagian uap keluar
3. Bagian pengisi air
4. Bagian pengisi bahan bakar
5. Ruang bakar
6. Insulasi dinding (*rockwool*)
7. Pembuang asap (*flue gas*)

Setelah boiler tungku gasifikasi selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian proses pemanasan tahu sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan. Pengujian boiler pemanas tahu dilakukan dengan sistem aliran udara alamiah, dimana kondisi tersebut disamakan dengan kondisi sebenarnya yang ada di lapangan. Proses pemanasan tahu di mulai dengan memanaskan air terlebih dahulu yang ada di dalam tangki boiler hingga uap panas keluar melewati pipa dan di arahkan pada wadah adonan tahu yang telah disiapkan. Tujuan pemanasan tahu dengan menggunakan uap panas tersebut adalah agar adonan tahu yang dimasak tersebut tidak bau arang bekas pembakaran kayu bakar.

Pengambilan data dilakukan dengan cara mengukur empat jenis temperatur yang terdapat pada proses pemanasan tahu tersebut yang terdiri dari : temperatur air, temperatur uap,temperatur ruang bakar, dan temperatur dinding luar boiler. Keempat titik temperatur tersebut diukur dengan menggunakan termokopel yang terhubung dangan termometer digital dan di catat tiap waktu tertentu untuk mengetahui fluktuasi temperatur yang ada pada boiler tersebut. Temperatur air dan uap diukur untuk mengetahui jumlah kalor output pada sisi air sehingga efisiensi boiler dapat dihitung secara langsung. Sedangkan temperatur ruang bakar dan temperatur dinding boiler di ukur untuk mengetahui tingkat panas pada dinding akibat radiasi yang timbul pada pembakaran di boiler. Sebuah timbangan digital juga digunakan untuk mengetahui jumlah massa bahan bakar sekam yang disuplai pada ruang pembakaran sehingga dapat diketahui laju konsumsi bahan bakarnya (FCR). Selain itu massa air yang di dalam tangki juga dihitung berdasarkan volume air yang masuk ke dalam tangki air, dimana volume air yang masuk ke tangki dalam satuan liter tersebut disamakan dengan massa airnya (anggap massa jenis air adalah 1 kg/liter).

Pengujian dan pengambilan data dilakukan hanya sampai pada waktu mulai terbentuknya uap panas pada saluran uap (sampai temperatur air tangki mencapai 100 ^{o}C). Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam analisa perhitungan performansi boiler.

RUMUS PERHITUNGAN

Energi yang terkandung pada bahan bakar biomasa di konversi menjadi energi kalor (panas) melalui proses pembakaran pada boiler. Energi kalor hasil pembakaran biomassa tersebut (*Qfuel* =

Q_f) kemudian digunakan untuk memanaskan air sehingga temperatur air mengalami kenaikan dan kemudian mengubah fasa air tersebut menjadi uap. Potensi energi kalor yang terkandung pada bahan bakar biomassa (Q_f) tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini, yaitu [1]:

$$Q_f = FCR \; x \; HHV \quad \text{..... (1)}$$

Dimana :

Q_f = laju kalor hasil pembakaran bahan bakar biomassa, (kW).

FCR = laju massa bahan bakar biomassa yang terbakar selama pembakaran, (kg/s).

HHV= nilai kalor pembakaran bahan bakar biomassa tiap satuan massa, (kJ/kg).

Untuk menghitung diameter reaktor pembakaran pada tungku, dapat menggunakan rumus berikut ini [2] :

$$D = (\frac{1{,}27\ FCR}{SGR})^{0{,}5} \text{..... (2)}$$

Dimana :

D = Diameter reaktor ruang bakar, (m)

FCR = laju massa bahan bakar biomassa yang terbakar selama pembakaran, (kg/s)

SGR = specific gasification rate (kg/m^{2}jam)

Pada bagian dinding boiler harus ditambahkan insulasi tahan panas untuk meredam temperatur sekitar boiler sehingga dapat meminimalisir radiasi panas pada lingkungan sekitar boiler. Untuk menghitung ketebalan insulasi dinding yang diperlukan, dapat menggunakan rumus berikut ini [3].

$$Q_{\ wall} = \frac{k.A.\Delta T}{\Delta x} \text{..... (3)}$$

Dimana :

$Q_{\ wall}$ = jumlah kalor yang melewati dinding, (kW)

k = konduktifitas insulasi dinding, (kW/m^{o}C)

ΔT = beda temp ruang bakar dan lingkungan(^{o}C)

Δx = ketebalan insulasi dinding (m)

Karena proses yang terjadi pada boiler adalah pemanasan sensibel dan penguapan laten, maka untuk mengetahui berapa laju kalor yang diterima oleh air dapat dihitung dengan dengan dua cara, yaitu menghitung laju kalor sensibel dan atau laju kalor latennya. Untuk menghitung laju kalor sensibel pada air dapat menggunakan persamaan asas Black, yaitu :

$$Q_{H2O} = \frac{m_{H2O}\ cp\ (T_2 - T_1)}{t} \text{..... (4)}$$

Dimana :

Q_{H2O} = laju kalor sensible yang terpakai untuk memanaskan air (kW)

m_{H2O} = massa air yang dipanaskan, (kg)

cp = kalor jenis air, (= 4,19 kJ/kg^{o}C)

T_1 = temperatur air pada kondisi awal (kondisi lingkungan), (^{o}C) dan

T_2 = temperatur air pada kondisi akhir (kondisi cair jenuh), (^{o}C)

t = waktu, (s)

Dan karena energi pada bahan bakar biomassa yang terpakai pada proses pembakaran tersebut tidak seluruhnya digunakan untuk memanaskan dan menguapkan air dalam bejana melainkan ada yang terbuang ke lingkungan dalam bentuk panas, maka besarnya efisiensi pembakaran pada tungku tersebut (efisiensi boiler = η_b) dapat dihitung dengan membandingkan transfer energi yang ada pada uap panas tersebut (Q_{H2O}) dengan energi yang dikeluarkan oleh bahan bakar biomassa yang terbakar (Q_f) tersebut, yaitu sebagai berikut [1] :

$$\eta_b = \frac{Q_{H2O}}{Q_f} \text{..... (3)}$$

Dimana :

η_b = efisiensi boiler pada kompor biomassa

Q_{H2O} = jumlah kalor pemanasan air (kW)

Q_f = energi kalor hasil pembakaran bahan bakar, (kW)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan FCR sekam padi

Berdasarkan survey di lapangan tersebut didapat data – data sebagai berikut :

Jenis boiler : horizontal
Ukuran : 60 x 100 x 70cm
Kapasitas tangki : 200 liter
Bahan bakar : kayu bakar
FCR : 15 – 20 kg/jam
Kapasitas : ≈ 90 kW

Nilai kapasitas pembakaran boiler yang sebesar 90 kW tersebut menjadi acuan dasar penentuan jumlah FCR pada boiler sekam padi yang akan dibuat. Dimana FCR menurut perhitungan pada persamaan (1) diatas dan berdasarkan nilai HHV sekam padi sebesar 12552 kJ/kg [2] adalah sbb:

$$FCR = \frac{Q_f}{HHV} = \frac{90\ kJ/s}{12552\ kJ/kg} = 0{,}0071 \text{ kg/s} = 26 \text{ kg/jam}$$

Diameter reaktor ruang bakar

Perhitungan diameter ruang bakar berkaitan dengan luas permukaan ruang bakar yang akan dibuat. Semakin besar diameter (luas permukaan) ruang bakar, maka akan makin besar pula FCR pada proses pembakaran tersebut. Berdasarkan FCR dan persamaan (2) tersebut diatas,dan berdasarkan pada nilai SGR (*specific gasification rate*) sekam sebesar 110 kg/m^{2}jam[2], maka di dapat nilai diameter ruang pembakaran boiler.

$$D = (\frac{1{,}27\ FCR}{SGR})^{0{,}5} = (\frac{1{,}27\ x\ 25}{110})^{0{,}5} = 0{,}54\ m$$

Dengan diameter tersebut, didapat nilai luas permukaan ruang bakar sebesar 0,23 m^2. Dan karena desain dari ruang bakar boiler berbentuk persegi panjang dengan lebar 60cm, maka ukuran luas ruang bakar tersebut adalah sekitar 60 x 40 cm.

Ketebalan dinding boiler

Akibat adanya *heat loss* pada sisi dinding boiler, maka perlu di tambahkan insulasi agar dapat meminimalisir panas yang timbul di sekitar lokasi boiler. Insulasi yang digunakan pada boiler ini dipilih jenis *rockwool* yang memiliki nilai konduktifitas termal sebesar 0.03W/m^{o}C[]. Temperatur ruang bakar boiler dapat mencapai 800^{o}C perbedaan temperatur ruang bakar dengan lingkungan sekitar (ΔT) dapat mencapai 730 ^{o}C, dan nilai kalor yang melewati dinding diasumsikan sebesar 1% dari kalor total (900 W), serta luas permukaan dinding boiler sebesar 2,16 m^2. Maka ketebalan insulasi dinding yang dibutuhkan pada boiler tersebut adalah sebagai berikut.

$$\Delta x = \frac{k.A.\Delta T}{Q_{wall}} = \frac{0.03x2.16x730}{900} = 0{,}05\text{m} = 5\text{cm}$$

Untuk lebih menghambat radiasi kalor pada ruang bakar tersebut, dalam kenyataannya insulasi *rockwool* yang terpasang pada dinding boiler lebih besar dari nilai tersebut diatas, yaitu 8cm.

Data hasil pengujian

Pengujian dan pengambilan data dilakukan setelah produk boiler selesai dibuat. Hal ini dilakukan untuk mengetahui performansi dari system dan untuk mengetahui kesesuaian datanya terhadap rancangan awalnya. Berikut ini adalah gambar pengujian boiler sekam padi yang telah dibuat.

Gambar 2 proses pengujian boiler sekam padi

Hal terpenting dalam proses pemanasan tahu dengan uap tersebut adalah toleransi waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan air tersebut hanya sekitar 30 menit saja. Jika proses pendidihan air tersebut lebih dari 30 menit, maka akan menghambat proses pembuatan tahu dan kurang diterima oleh pelaku industrisehingga harus dilakukan modifikasi ulang. Tabel 4.1 berikut ini adalah tabel hasil pengujian boiler sekam padi yang telah dilakukan selama ±35 menit (sampai air dalam tangki mendidih).

Terlihat pada tabel 4.1 diatas, kondisi air mendidih tercapai pada menit ke 35, lebih lama 5 menit dari waktu yang diperkirakan. Kondisi tersebut masih dalam batas yang wajar dan masih dapat di toleransi oleh pelaku industri tahu. Dari tabel 4.1 juga didapat massa sekam yang terbakar selama 35 menit tersebut adalah sekitar 16.45 kg, sehingga FCR untuk boiler pada pengujian diatas adalah sekitar 28.2 kg/jam. Nilai ini lebih tinggi 2 kg dari rancangan awal yang sebesar 26 kg/jam, hal ini dikarenakan penentuan nilai SGR rancangan yang rendah yaitu 110 kg/m^2jam. Padahal nilai SGR sekam padi menurut Belonio berkisar antara 110 – 210 kg/m^2jam. Jadi wajar saja nilai FCR actual yang terpakai di lapangan lebih besar dari rancangan awalnya.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian

Mnt ke	Temperatur pengujian (^{o}C)			
	T air	T uap	T boiler	T dinding
0	29.7	29.3	28.5	29.2
5	35.7	30.2	243	28.6
10	47.5	29.8	396	29.4
15	54.8	30.6	478	29.5
20	74,9	32.8	389	30.3
25	88.4	45.3	427	31.4
30	96.7	68.7	344	31.1
35	101.4	98.6	395	32.7
Massa air dalam tangki = 190 kg				
Massa sekam padi terbakar = 16.45 kg				

Perhitungan performansi boiler

Berdasarkan data pada tabel 4.1 diatas, dapat ditentukan kapasitas boiler sekam padi yang telah dibuat dengan menggunakan persamaan (1) dan nilai FCR 28.2 kg/jam, serta berdasarkan nilai HHV sekam padi12552 kJ/kg [2], yaitu :

$Q_f = FCR\ x\ HHV$ = 28.2 kg/jam x 12552 kJ/kg

= 366600 kJ/jam = 98.3 kW

Sedangkan untuk kalor yang diterima pada sisi air dapat menggunakan persamaan (2) diatas, yaitu:

$$Q_{H2O} = \frac{m_{H2O}\ cp\ (T_2 - T_1)}{t} = \frac{190\ x\ 4.2\ (105 - 29)}{35\ x\ 60}$$

= 30.3 kW

Sehingga efisiensi pemanasan pada boiler sekam padi tersebut adalah :

$$\eta_b = \frac{Q_{H2O}}{Q_f} = \frac{30.3}{98.3} = 0.308 = 30.8\%$$

Konduksi pada dinding boiler

Pada Tabel 1 juga terlihat bahwa temperatur dinding boiler tidak mengalami kenaikan selama proses pembakaran terjadi pada boiler (temperatur dinding boiler sekitar 30.7 ^{o}C, sama dengan temperatur lingkungan). Hal ini menunjukkan bahwa insulasi *rockwool* yang dipasang pada dinding boiler tersebut dapat menghambat kalor akibat radiasi pada ruang bakar dan mengakibatkan temperatur dinding boiler tidak mengalami kenaikan. Selain itu juga dapat dipengaruhi oleh temperatur ruang bakar yang relative lebih rendah daripada temperatur rancangannya, dimana temperatur rancangan berkisar antara 700 – 800 ^{o}C. Temperatur ruang bakar yang relative lebih rendah dari pada rancangan tersebut dikarenakan proses pengujian yang hanya berlangsung selama ±35 menit saja sehingga panas pembakaran bahan bakar pada boiler belum maksimal dan temperaturnya pun belum mencapai ada batas tertingginya. Jika pengujian boiler tersebut berlangsung lebih lama (lebih dari 4 jam) maka kemungkinan temperatur ruang bakar tersebut akan mengalami kenaikan dari data yang terbaca pada pengujian saat ini.

KESIMPULAN

Berdasarkan pada percobaan yang telah dilakukan tersebut, dapat diambil beberapa kesimpulan seperti berikut ini, yaitu :

1. Nilai FCR pembakaran bahan bakar sekam pada boiler tersebut lebih besar dari rancangan, dimana nilai FCR aktual didapat 28,2 kg/jam, dan nilai FCR rancangan sebesar 26 kg/jam. Hal ini dikarenakan oleh penentuan nilai SGR rancangan yang lebih rendah dari nilai SGR sebenarnya pada proses pembakaran.
2. Kapasitas boiler sekam padi untuk tahu yang telah dibuat memiliki nilai 98.3 kW, lebih tinggi dari rancangan yang hanya 90kW saja, mengingat nilai FCR yang terhitung aktual lebih besar daripada rancangannya.
3. Insulasi *rockwool* yang terpasang pada dinding boiler dapat menghambat radiasi panas yang ada pada ruang bakar boiler. Hal ini ditandai dengan temperatur dinding boiler yang terukur relatif sama dengan temperatur lingkungannya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Keating, Eugene L. Applied Combustion, Second Edition. Taylor & Francis Group, LLC. New York USA. 2007.

[2] Belonio, Alexis T. Rice Husk Gas Stove Handbook. Department of Agricultural Engineering and Environmental Management College of Agriculture. Central Philippine University. Iloilo City, Philippines. 2005

[3] Reed, TB. Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Sistems. Solar Energi Research Institute. Golden Colorado, USA. 1988