

PERANCANGAN *BOILER* MINI BERBAHAN BAKAR BIOGAS DENGAN BERBAGAI VARIASI TEKANAN

Rany Puspita Dewi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Jalan Kapten Suparman 39 Magelang 56116

Email: ranyuspita@untidar.ac.id

Abstrak

Potensi sampah di beberapa kota di Indonesia cukup melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. Sampah perkotaan dengan teknologi terkini dapat dikonversi menjadi biogas. Biogas mempunyai potensi yang besar sebagai bahan bakar boiler. Boiler adalah instrumen pembangkit uap pada jumlah tertentu dengan tekanan dan temperatur tertentu. Tujuan penelitian ini adalah memperoleh rancangan boiler mini yang optimal yang dapat dipindahkan dengan variasi tekanan boiler dan laju alir biogas yang tetap pada 0,216 kg/s dan 0,012 kg/s. Rancangan boiler yang optimal mempertimbangkan persyaratan efisiensi termal netto lebih dari 20% dan persyaratan gas buang 100°C – 120°C. Pembakaran biogas dirancang dengan penambahan udara berlebih. Perpindahan panas pada boiler sebagian besar terjadi secara konveksi. Hasil perancangan boiler dengan tekanan operasi 22 bar adalah panjang boiler 0,31 m dengan jumlah pipa 100. Boiler ini memiliki temperatur gas buang 112°C dan efisiensi termal netto 20,9%.

Kata kunci : biogas, boiler, gas buang

1. PENDAHULUAN

Sampah menjadi masalah yang hampir dihadapi oleh masyarakat di setiap kota di Indonesia terutama masyarakat di kota besar. Setiap manusia pasti memproduksi sampah, sedangkan manusia hanya mengelola sampah yang bersifat rutin dengan memindahkan, membuang, dan memusnahkan. Produksi sampah semakin bertambah tetapi tidak diimbangi dengan lahan yang memadai sebagai tempat pembuangan sampah. Produksi sampah yang melimpah tersebut berpotensi menghasilkan gas metana mencapai 404 juta m³/tahun yang setara dengan 118 milyar/tahun.

Melihat potensi sampah yang cukup besar dan belum dimanfaatkan secara optimal, sampah tersebut dapat dikonversi menjadi salah satu sumber energi melalui teknologi biogas. Sampah yang dapat dikonversi menjadi biogas adalah sampah organik dalam bentuk padat maupun cair. Pemanfaatan energi biogas dalam pembangkitan panas melalui boiler memiliki potensi yang besar. Pembangkit yang ada cenderung berukuran besar dengan pembangkitan daya terpusat. Sehingga dirancang pembangkit mini atau boiler mini yang *moveable*, pembangkitan daya tidak terpusat dan daya yang dibangkitkan cukup besar, sehingga tetap dapat menyediakan kebutuhan daya yang

diperlukan. Boiler mini ini memiliki prinsip kerja mengubah kondisi awal fluida erja menjadi kondisi uap dengan pemanasan lanjut melalui mekanisme perpindahan panas.

Tujuan penelitian ini adalah (1) mendapatkan rancangan boiler yang optimal yang *moveable* yang dapat menyesuaikan dengan potensi sampah pada lokasi yang berbeda dan pembangkitan daya yang tidak terpusat dan (2) mendapatkan efisiensi rancangan boiler yang optimal dengan melakukan variasi tekanan operasi boiler dan kondisi laju aliran udara dan laju aliran bahan biogas yang tetap.

Boiler merupakan salah satu komponen pembangkit energi (Shields, 1961). Pembangkitan uap oleh boiler terjadi melalui suatu proses pembakaran dengan suplai udara yang cukup untuk menghasilkan pembakaran sempurna. Sistem boiler terdiri dari sistem umpan, sistem uap, dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan uap. Sistem uap mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam boiler. Sistem bahan bakar menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan (UNEP, 2006).

Kinerja boiler dapat ditingkatkan melalui perawatan berkala dan menstabilkan kerja yang optimum. Cara ini dapat meningkatkan efisiensi boiler 15 – 20%, sehingga penghematan bahan bakar dapat tercapai (Anggono, 2005). Kinerja boiler dapat dilihat dari neraca panas dan efisiensinya. Neraca panas menggambarkan keseimbangan energi total yang masuk boiler dan yang meninggalkan boiler dalam bentuk energi yang berbeda.

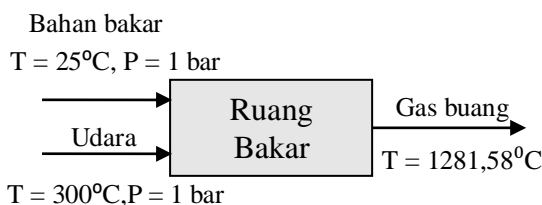
Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah mendapatkan rancangan boiler mini yang moveable yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk perancangan boiler lebih lanjut. Selain juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan melalui pemanfaatan sampah sebagai sumber energi biogas yang ramah lingkungan.

2. METODE

Boiler dengan sirkulasi alami dirancang pada kondisi :

- laju aliran udara dan laju aliran biogas yang tetap yaitu 0,075 kmol/s dan 0,0005 kmol/s;
- kapasitas daya boiler sebesar 200 kW;
- persyaratan gas buang 100°C – 120°C.

Bagian-bagian utama dalam perancangan boiler mini ini adalah nilai pembakaran bahan bakar biogas, perpindahan panas pada boiler, perpindahan panas pada superheater, perpindahan panas pada air preheater, perpindahan panas pada economizer dan siklus rankine pada turbin. Kondisi ruang pembakaran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kondisi ruang pembakaran

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan data-data fisis dari literatur dan hasil perhitungan numerik sebelumnya dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excell yang dapat dijadikan sebagai bahan penelitian yang relevan. Melalui perhitungan numeris

perpindahan panas pada boiler diperoleh keluaran meliputi temperatur gas hasil pembakaran, transfer panas (Q), transfer panas secara keseluruhan (U), dan geometri panjang pipa (L).

Perpindahan panas secara radiasi diasumsikan tidak terjadi, dikarenakan koefisien emisivitas biogas diasumsikan mendekati nol. Perpindahan panas secara konduksi juga tidak terjadi, karena penggunaan superheater dapat dihilangkan, sehingga perpindahan panas dari tungku langsung menuju boiler. Perpindahan panas secara konveksi merupakan perpindahan panas melalui media fluida berupa cair atau gas. Besar perpindahan panas secara konveksi dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$Q_k = \frac{Q}{A} = h(T_s - T_{dinding})$$

dimana

Q_k : transfer panas secara konveksi (W/m²)

h : koefisien perpindahan panas secara konveksi (W/m².K)

A : luas bidang panas (m²)

T_s : temperatur sumber (K)

T_{dinding} : temperatur dinding (K)

Perhitungan numeris laju perpindahan panas konveksi yang terjadi dalam boiler dapat dapat dihitung dengan persamaan:

$$q = UA \left[\frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \right]$$

dimana

ΔT₁ : (T_{gout}– T_u)

ΔT₂ : (T_{gin}– T_a)

T_{gout} : temperatur gas panas keluar (K)

T_{gin} : temperatur gas panas masuk (K)

T_u : temperatur uap keluar (K)

T_a : temperatur air umpan (K)

Perhitungan awal dalam perancangan pipa adalah menghitung nilai koefisien transfer panas secara keseluruhan yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{u_{in}} + \frac{1}{u_{out}} + \frac{\delta_p}{K_p}}$$

dimana

δ : ketebalan pipa (m)

K_p : konduktivitas termal pipa (W/m.K)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung U_{out} dan U_{in} adalah:

$$U = \frac{k}{D} Nu$$

Untuk menghitung U_{out} , nilai bilangan *Nusselt* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Nu = C_1 \times Re^m$$

Nilai C_1 dan m didasarkan pada nilai S_T/D , S_t adalah panjang *pitch* dan D merupakan diameter *tube* (Incropera, 1996).

Nilai bilangan *Reynolds* dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$Re = \frac{\rho V_{max} D}{\mu}$$

Perhitungan nilai U_{in} dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$U_{in} = \frac{\Delta T^3}{\left[45 \exp\left(\frac{-p}{62}\right)\right]^4}$$

dimana

ΔT : temperatur dinding dalam – temperatur saturasi

p : tekanan operasi *boiler* (bar)

Perhitungan geometri panjang pipa dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$L = \frac{q}{U \pi D N \Delta T_{lm}}$$

dimana

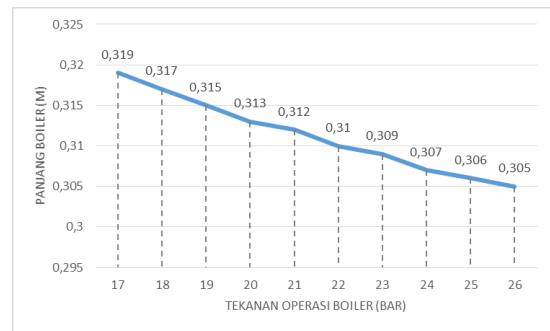
L : panjang pipa (m)

N : jumlah pipa

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

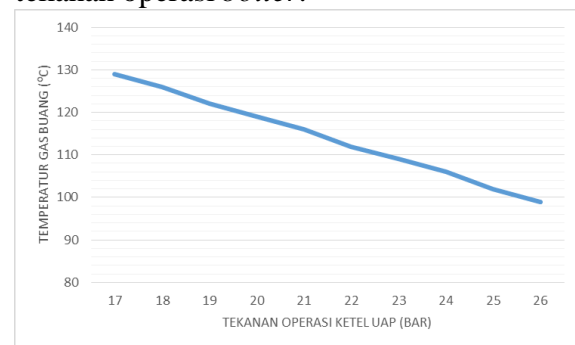
Pada perancangan *boiler* digunakan material *Carbon Steel* AISI 1010 dengan diameter dalam pipa 2,66 cm, ketebalan pipa 0,34 cm, dan diameter luar pipa 3,34 cm. Tekanan operasi ketel uap divariasikan untuk mendapatkan perancangan yang optimal dengan ukuran geometri sekecil-kecilnya dan efisiensi termal netto yang tinggi.

Melalui perhitungan numerik, diperoleh hubungan bahwa semakin besar kenaikan tekanan operasi *boiler*, maka panjang *boiler* cenderung semakin kecil, seperti terlihat pada Gambar 2.



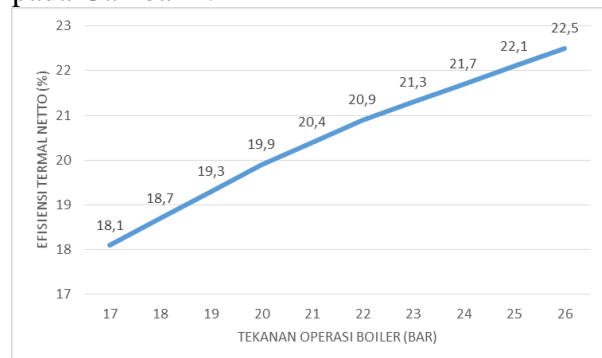
Gambar 2. Grafik hubungan tekanan operasi boiler dan panjang boiler

Hubungan antara tekanan operasi *boiler* dengan nilai temperatur gas buang dapat dilihat pada Gambar 3. Terlihat bahwa nilai gas buang semakin turun dengan kenaikan tekanan operasi *boiler*.



Gambar 3. Grafik hubungan tekanan operasi boiler dan temperatur gas buang

Hubungan antara tekanan operasi *boiler* dan efisiensi termal netto yang menunjukkan efisiensi perpindahan panas yang terjadi selama sirkulasi di dalam *boiler* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan tekanan operasi boiler dan efisiensi termal netto

Boiler dirancang dengan melakukan variasi tekanan operasi *boiler*, untuk mengetahui pengaruh tekanan operasi *boiler* terhadap geometri *boiler*, temperatur gas buang, dan efisiensi termal netto. Pertimbangan temperatur gas buang pada temperatur 100°C - 120°C, dikarenakan jika

temperatur gas buang di bawah nilai tersebut maka akan terjadi pengembunan dan mengakibatkan korosi.

Proses yang terjadi pada *boiler* dimulai dengan adanya pembakaran biogas sebagai bahan bakar dengan laju alir udara 0,216 kg/s dan laju alir biogas 0,012 kg/s dengan tekanan operasi 1 bar. Temperatur gas keluar pembakaran sebesar 1281,58°C menjadi temperatur masukan ke *boiler*. Variasi tekanan operasi *boiler* dilakukan pada rentang 17 bar – 26 bar. Hal ini dikarenakan pada rentang nilai tersebut, *boiler* bekerja sesuai dengan pertimbangan yang telah ditentukan.

Rancangan *boiler* ini bekerja pada laju alir air 0,085 kg/s dan jumlah pipa 100. Melalui perhitungan numerik diperoleh panjang geometri *boiler* berada pada rentang 0,3 m – 0,32 m dengan diameter pipa dan tebal pipa yang telah disesuaikan dengan ukuran yang ada di pasaran.

Rancangan *boiler* juga mempertimbangkan nilai efisiensi termal netto yang menunjukkan nilai efisiensi perpindahan panas yang terjadi selama sirkulasi di dalam *boiler*. Kenaikan tekanan operasi *boiler* menyebabkan terjadinya kenaikan nilai efisiensi termal netto pada rentang 18% - 23%.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

- Tekanan operasi *boiler* yang optimal yaitu 22 bar.

- Panjang geometri *boiler* semakin kecil dengan kenaikan tekanan operasi *boiler*. Diperoleh panjang geometri optimal yaitu 0,31 m.
- Temperatur gas buang semakin kecil dengan kenaikan tekanan operasi *boiler*. Diperoleh temperatur buang optimal yaitu 112°C.
- Efisiensi termal netto semakin besar dengan kenaikan tekanan operasi *boiler*. Diperoleh efisiensi termal netto optimal sebesar 20%
- Rancangan *boiler* mini bekerja pada kondisi optimal dengan udara berlebih 143% dan temperatur keluaran *boiler* 609°C

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anggono, T., & Lestari, E, 2005, *Peluang Konservasi Energi pada Peralatan Boiler*, Puslitbangtek Ketenagalistrikan dan Energi Baru Terbarukan, Jakarta.
- Incropera, F.P., 1996, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 4th ed.*, John Wiley & Sons, New York.
- Shields, C.D., 1961, *Boiler*, Mcgraw Hill Book Company, New York.
- UNEP, 2006, *Boilers and Fluid Thermic Heaters*, United Nations Environment Programme.