
Analisis Tekno-Ekonomi Operasi *Co-combustion* *Boiler Biomassa Kapasitas 10 kg/jam*

Okny Ruslan Wijaya, Patriawan Rendra Graha, Wusana Agung
Wibowo, Bregas S.T. Sembodo, Sunu Herwi Pranolo

Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sebelas Maret
Jl. Insinyur Sutami 36A, Surakarta 47126
sunu_pranolo@yahoo.com

Abstrak

Tujuan penelitian adalah optimasi operasional *boiler* biomassa proses *co-combustion* berdasarkan aspek tekno-ekonomi. Aspek yang ditinjau meliputi pengaruh komposisi campuran sekam padi terhadap efisiensi panas, konsumsi bahan bakar spesifik dan harga *steam boiler* biomassa. *Steam* merupakan pemasok kebutuhan operasi gasifikasi sekam padi dalam sarana penyediaan energi listrik mandiri di Jurusan Teknik Kimia UNS. Penggunaan kayu bakar sebagai bahan bakar *boiler* dinilai kurang efisien. Selain biaya pengadaannya yang tinggi, penggunaan kayu bakar dalam proses pembakaran tidak selaras dengan kebijakan pemerintah mengenai perluasan lingkungan hijau. Modifikasi berupa pembakaran berganda simultan atau *co-combustion* dengan biomassa sekam padi dilakukan guna memperbaiki nilai efisiensi kayu bakar. Konsumsi bahan bakar untuk tiap penelitian adalah 10 kg, dengan perbandingan kayu bakar - sekam padi sebesar 10:0, 9:1, 8:2, dan 7:3. Tingkat efektivitas komposisi bahan bakar ditunjukkan oleh efisiensi kerja alat, konsumsi bahan bakar spesifik, dan analisis harga *steam*. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan efisiensi panas untuk masukan bahan bakar dengan komposisi kayu: sekam 10:0, 9:1, 8:2, dan 7:3 berturut-turut sebesar 31,47%, 24,47%, 23,98%, dan 16,39%. Harga produksi *steam* untuk tiap percobaan berturut-turut Rp 633,19; Rp 699,85; Rp 691,38; dan Rp 1182,88. Kondisi optimal proses *co-combustion* terjadi pada perbandingan bahan bakar kayu : sekam padi sebesar 8:2. Komposisi bahan bakar ini memiliki nilai efisiensi panas sebesar 23,98% dengan konsumsi bahan bakar spesifik yang tidak terlalu tinggi yakni sebesar 0,52 kg bahan bakar/ kg *steam*. Dari segi ekonomi, komposisi ini memberikan harga produksi *steam* yang cukup ekonomis dibandingkan dengan komposisi lainnya yakni Rp 691,38/ kg *steam* (harga kayu bakar Rp 1000/ kg, harga sekam padi Rp 0,2/ kg). Harga tersebut masih tergolong tinggi jika dibandingkan dengan harga produksi *steam* menggunakan *boiler* berbahan bakar diesel yakni Rp 833,32/ ton *steam*. Komposisi ini menyediakan laju *steam* umpan gasifikasi memadai dengan konsumsi bahan bakar spesifik sesuai dengan kapasitas ruang bakar *boiler* biomassa.

Kata kunci: biomassa, sekam padi, kayu bakar, *co-combustion*

1 Pendahuluan

Boiler merupakan sarana penyedia *steam* yang digunakan di berbagai industri. Saat ini, *boiler-boiler* yang digunakan dalam industri kebanyakan berbahan bakar fosil. Mengingat ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis, bahan bakar fosil sebagai sumber energi operasional *boiler* memerlukan pembaruan ataupun substitusi (Tenaya, 2010).

Penggunaan biomassa sebagai sumber energi alternatif mulai meluas. Pada *boiler* milik jurusan teknik kimia UNS, kayu bakar (jati) dipilih untuk penggantian posisi bahan bakar fosil. *Boiler* biomassa ini digunakan untuk pemenuhan kebutuhan *steam* pada operasi gasifikasi sekam padi sebagai sarana penyediaan energi listrik mandiri.

Pada praktiknya penggunaan kayu jati sebagai bahan bakar pengganti dinilai kurang efisien. Selain biaya pengadaannya yang tinggi, penggunaan kayu jati dalam proses pembakaran tidak selaras dengan kebijakan pemerintah mengenai perluasan lingkungan hijau dan pengurangan deforestasi. Oleh karena itu perlu dilakukan modifikasi berupa pembakaran berganda simultan atau *co-combustion* dengan biomassa lain guna memperbaiki nilai efisiensi kayu bakar.

Co-combustion adalah salah satu cara menggabungkan keunggulan dua jenis bahan bakar dengan cara pembakaran bersamaan, dalam penelitian ini terjadi pada ruang bakar *boiler* (Setodewo, et al, 2011). Salah satu limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan dalam proses *Co-combustion boiler* biomassa yaitu sekam padi. Sekam padi memiliki kandungan zat volatil (zat mudah teruapkan) tinggi yang mempercepat tercapainya kesempurnaan pembakaran. Nilai kalor terkandung (*Gross Calorific Value/ GCV*) sekam padi yang cukup besar yakni 0,755 MJ/kg juga merupakan aspek utama pemilihan sekam padi (Tekmira, 2013).

Pelaksanaan *co-combustion* membutuhkan adanya pencampuran bahan bakar yang merata dengan komposisi terbaik untuk menghindari pembakaran yang tidak sempurna akibat perbedaan sifat fisik, hidrodinamika, dan kimiawi dari bahan yang digunakan. Oleh sebab itu diperlukan metode khusus dalam proses pembakaran *co-combustion*.

Salah satu indikator kesempurnaan pembakaran *co-combustion* dalam *boiler* biomassa adalah tingkat efisiensi kerja *boiler*. Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada *boiler* adalah tingkat unjuk kerja *boiler* yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan ke atau diserap oleh fluida kerja di dalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Terdapat dua metode pengkajian efisiensi *boiler* (UNEP, 2008):

- Metode Langsung: energi yang didapat dari fluida kerja (air dan *steam*) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar *boiler*.
- Metode Tidak Langsung: efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energi yang masuk.

Efisiensi (η) dapat dihitung melalui persamaan (1) dan (2).

$$\eta = \frac{\text{panas yang dikonsumsi}}{\text{panas yang dihasilkan}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\eta = \frac{\text{energi total pada fluida kerja}}{\text{energi masukan pada bahan bakar}} \times 100\% \quad (2)$$

Panas terkonsumsi adalah panas yang dibutuhkan untuk mengubah fase air menjadi *steam*. Sementara panas yang dihasilkan adalah panas yang dihasilkan dalam pembakaran sekam padi. Energi total pada fluida kerja merupakan energi pada *steam*. Energi masukan bahan bakar meliputi energi udara, energi sekam, dan energi air umpan (UNEP, 2008).

Laju pembentukan *steam* pada *boiler* biomassa proses *co-combustion* dapat digambarkan dalam konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Consumption /SFC*). Konsumsi bahan bakar spesifik pada *boiler* biomassa adalah jumlah bahan bakar (satuan massa) pada ruang pembakaran *boiler* dibandingkan dengan *steam* yang dihasilkan (satuan massa). Nilai SFC dapat ditentukan melalui persamaan (3).

$$\text{SFC} = \frac{m_f}{m_{stm}} \quad (3)$$

SFC = Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (kg bahan bakar/ kg *steam*)

m_f = massa bahan bakar (kg)

m_{stm} = massa *steam* (kg)

(Rachmanto, 2008)

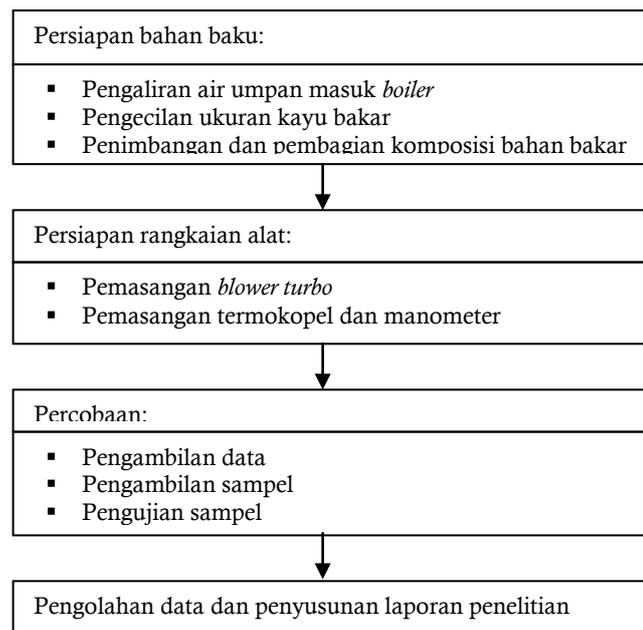
Harga SFC yang lebih rendah menyatakan kebutuhan bahan bakar dalam ruang pembakaran lebih sedikit untuk memproduksi 1 kg *steam*.

Perhitungan ekonomi didekati dengan metode perhitungan harga produk suatu pabrik kimia dalam buku *Chemical Engineering Cost Estimation* (Aries Newton, 1955). Metode ini menyertakan berbagai aspek biaya ekonomi dalam perhitungan harga produksi *steam* pada operasional *boiler* biomassa seperti: *Fixed Capital* (harga rangkaian alat *boiler*), *Working Capital* (modal kerja), dan aspek-aspek lainnya.

2 Metodologi

2.1 Prosedur Percobaan

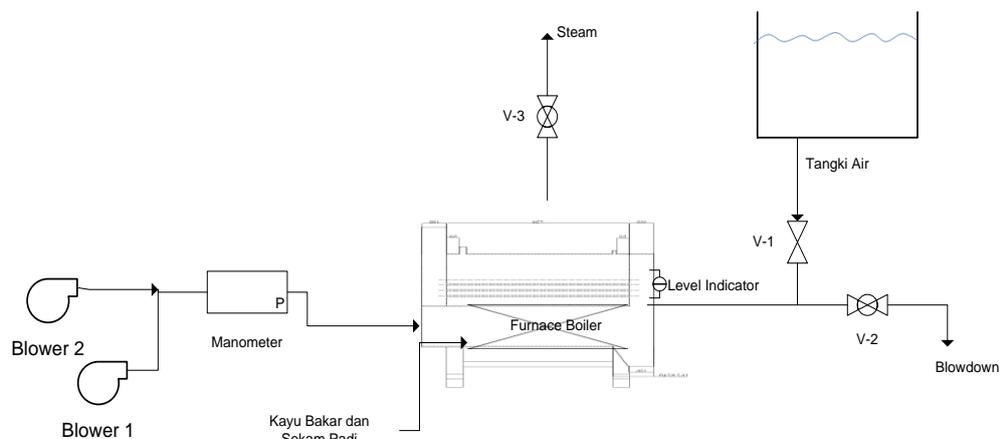
Parameter yang divariasikan pada percobaan ini adalah komposisi fraksi massa sekam padi pada campuran sekam padi: 0%, 10%, 20%, 30%. Alur kerja percobaan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Kerja Percobaan

2.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan boiler yang digunakan pada percobaan ini ditunjukkan pada gambar 1



Gambar 2. Rangkaian Boiler Biomassa

Spesifikasi boiler dipaparkan sebagai berikut:

| | |
|----------------------------|--|
| Bahan konstruksi | : Mild steel |
| Panjang badan boiler | : 95 cm |
| Lebar badan boiler | : 40 cm |
| Tinggi badan boiler | : 103 cm |
| Dimensi tangki air boiler | : silinder, panjang 90 cm Ø 40 cm |
| Dimensi ruang bakar boiler | : panjang 90 cm, lebar 40 cm, tinggi 30 cm |
| Instrumen tambahan | : Cerobong asap, tinggi 5 m Ø 6 " |

Boiler dilengkapi dengan bukaan udara masuk ruang bakar di dua sisi, dua blower turbo dengan manometer sebagai pressure regulator, gelas penduga untuk pengukuran

ketinggian air dalam tangki, termokopel untuk pengukuran suhu *flue gas*, dan *pressure indicator* untuk pengukuran tekanan fluida dalam tangki.

Tabel 1. Data Fisik Bahan yang Digunakan

| Parameter | Kayu Bakar | Sekam Padi |
|-------------|-----------------------------|------------|
| Ukuran | L= 20 cm 5 cm < Ø < 8 cm | Ø 0,847 cm |
| GCV (MJ/kg) | 0,958 | 0,755 |

Sumber :Tekmira, 2013

3 Hasil dan Pembahasan

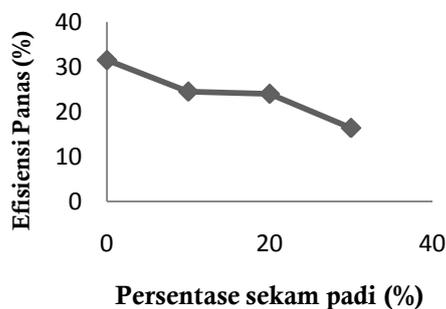
Pada tahap awal percobaan dilakukan peneraan terhadap tinggi cairan dalam tangki *boiler* terhadap volume air. Hasil peneraan yang menunjukkan hubungan antara peningkatan tinggi cairan dan volume air dalam tangki disampaikan dalam persamaan berikut:

$$V(h) \quad (L) = 3,481 \quad x \quad + \quad 37,99 \dots\dots\dots(1)$$

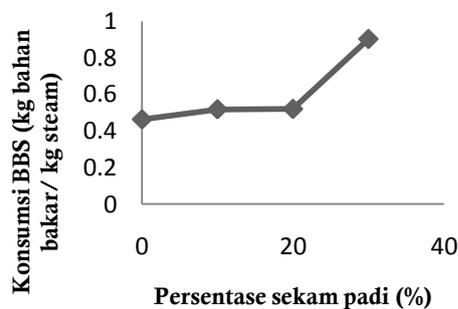
Hasil percobaan penambahan sekam padi pada operasional *boiler* biomassa kayu bakar menunjukkan penambahan sekam padi pada tungku *boiler* sejalan dengan penurunan efisiensi *boiler* (gambar 2). Konsumsi bahan bakar spesifik meningkat seiring dengan penambahan sekam padi (gambar 3). Konsumsi bahan bakar spesifik merupakan jumlah konsumsi bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan sejumlah tertentu *steam*. Harga *steam* cenderung meningkat seiring dengan peningkatan komposisi sekam padi dalam bahan bakar (gambar 4). Ringkasan hasil penelitian disampaikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 2. Efisiensi Panas *Boiler*

| | | | | |
|--|--------|--------|--------|----------|
| Komposisi kayu bakar: sekam padi | 10:0 | 9:1 | 8:2 | 7:3 |
| Efisiensi Panas <i>Boiler</i> | 31,47% | 24,47% | 23,98% | 16,39% |
| Konsumsi Bahan bakar spesifik (kg bahan bakar/ kg <i>steam</i>) | 0,462 | 0,518 | 0,52 | 0,903 |
| Harga <i>steam</i> | 633,34 | 699,89 | 691,42 | 1.182,20 |

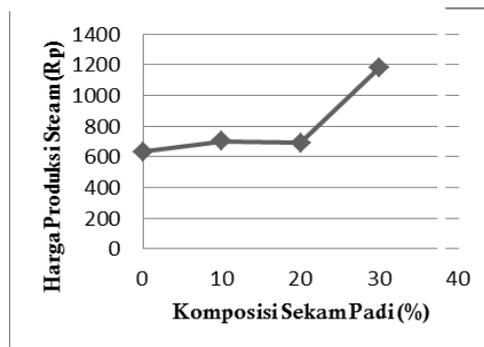


Gambar 2. Grafik Hubungan Persentase Komposisi Sekam Padi terhadap Efisiensi Panas



Gambar 3. Grafik Hubungan Persentase Komposisi Sekam Padi terhadap Konsumsi Bahan

Bakar Spesifik



Gambar 4. Grafik Hubungan Komposisi Bahan Bakar terhadap Harga Produksi *Steam*

Efisiensi panas alat (*boiler*) diperoleh dengan cara membandingkan kuantitas panas yang dikandung oleh fluida kerja (*steam*) dengan kuantitas panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Berdasarkan percobaan yang telah dikerjakan, nampak bahwa penambahan sekam padi pada operasional *boiler* biomassa kayu bakar menimbulkan penurunan efisiensi panas alat. Penurunan efisiensi ini terjadi akibat kurang ratanya distribusi pasokan udara pembakaran. Meskipun diindikasikan pembakaran berganda akan meningkatkan efisiensi panas *boiler*, namun akibat ketidakmerataan distribusi udara pembakaran efisiensi panas justru lebih rendah dibanding pembakaran dengan bahan bakar tunggal. Ketidakmerataan distribusi ini disebabkan pengaruh kerapatan tumpukan sekam yang lebih rapat dibanding tumpukan kayu bakar. Karena tumpukan sekam padi yang rapat, udara tidak dapat menjangkau semua bagian bahan bakar.

Berdasarkan data, efisiensi panas alat pada penambahan 10% sekam dan 20% sekam cenderung mirip, namun terjadi penurunan efisiensi alat yang cukup signifikan pada penambahan 30% sekam. Pada penambahan 30% sekam, tumpukan sekam sudah sangat rapat sehingga menghambat distribusi aliran masukan udara bahan bakar. Untuk mengatasi ketidakmerataan distribusi udara pembakaran, disarankan untuk memfluidakan sekam padi pada tungku pembakaran.

Konsumsi bahan bakar spesifik meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah campuran sekam padi dalam bahan bakar. Hal ini disebabkan suplai bahan bakar sekam padi memiliki kandungan panas lebih rendah dibanding kandungan panas kayu bakar, menyebabkan kebutuhan bahan bakar bertambah untuk mencapai kuantitas panas sama besar. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik didapatkan dengan membagi massa bahan bakar yang terkonsumsi selama operasional *boiler* dengan jumlah *steam* yang dihasilkan. Konsumsi bahan bakar spesifik ini digunakan untuk menentukan jumlah bahan bakar yang diperlukan dalam operasional *boiler*.

Perhitungan harga produksi *steam* didekati dengan analisis ekonomi pendirian dan operasional pabrik menurut Aries Newton (1955). Perhitungan harga *steam* didapatkan setelah mempertimbangkan *capital investment*, *manufacturing cost*, dan

general expense. Boiler akan dioperasikan secara semi batch selama 11 jam per hari, lima jam per minggu, dan tidak ada *shut down* dalam satu tahun.

Harga *steam* cenderung stabil di kisaran Rp 600,00 – Rp 700,00 per kilogram pada komposisi kayu bakar: sekam padi 10:0 sampai dengan 8:2. Untuk komposisi kayu bakar: sekam padi 7:3, harga produksi *steam* meningkat signifikan dikarenakan efisiensi panas yang rendah. Hal tersebut menyebabkan produksi *steam* rendah namun konsumsi bahan bakar relatif tinggi.

4 Kesimpulan

Analisis tekno-ekonomi operasi *co-combustion boiler* biomassa menunjukkan kondisi optimal proses *co-combustion* terjadi pada perbandingan bahan bakar kayu : sekam padi sebesar 8:2. Nilai efisiensi panas pada komposisi ini sebesar 23,98% dengan konsumsi bahan bakar spesifik 0,52 kg bahan bakar/ kg *steam*. Komposisi ini secara ekonomi memberikan harga produksi *steam* yang cukup ekonomis dibandingkan dengan komposisi lainnya yakni Rp 691,38/ kg *steam*. Untuk meningkatkan efisiensi panas, disarankan untuk memfluidakan sekam padi pada tungku pembakaran boiler. Rendahnya efisiensi panas disebabkan ketidakmerataan distribusi udara pembakaran karena rapatnya tumpukan sekam padi.

5 Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai melalui skema Hibah Penelitian Pemula Dana BOPTN Tahun Anggaran 2013.

6 Daftar Pustaka

- Aries, Robert S., and Newton, Robert D., 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*. McGraw Hill. New York.
- Data Uji GCV Sekam padi dan Kayu Bakar Tekmira, 2013
- Rachmanto, Tri. 2008. "Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) dan Efisiensi Thermal Mesin Diesel IDI Bahan Bakar Ganda Multi silinder Solar-LPG dengan Variasi Beban Rendah Bertingkat". *Ejournal FT Unlam* Volume 9 No 1.
- Setodewo, A., Habibi, R.A., Pranolo, S.H., Sasongko, D. 2011. "Karakteristik Campuran Partikel Batubara dan Sekam Padi dalam Kolom Distilasi"
- Tenaya, I G N P, Hardiana, M. 2011. "Pengaruh Air fuel ratio Terhadap Emisi Gas Buang Berbahan Bakar LPG Pada Ruang Bakar Model Helle-Shaw Cell". *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M* Vol. 5 April 2011 hlm.39-45
- UNEP. 2008. *Boiler dan Pemanasan Fluida Termis*. United Nation Environmental Program. Washington DC