
PERANCANGAN DAN UJI-KINERJA REAKTOR GASIFIKASI SEKAM PADI SKALA KECIL

Wusana Agung W.*, Sunu H Pranolo, Gede Noorochadi, Lusia Ratna M.
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

*Email : wusana_son@yahoo.com

Abstract: *A small scale fixed-bed throatless rice husk gasifier reactor with internal diameter of 14 cm and height of 60 cm was designed and fabricated. Rice husk as fuel in this study had moisture content around 16% and bulk density of 122 kg/m³. Trial runs were conducted varying the air flow rate. The producer gas which had been produced was then flared, and the flame was visually analyzed. In every test run, the initial weight of fuel, operating time, and weight of solid residue (char and ash) were collected. These datas were then used to determine Specific Gasification Rate (SGR), Percentage of Solid Residue, and Equivalence Ratio (ER). It was found that the gasifier performance (analyzed from flame stability) was good enough at a specific gasification rate around 19,5 kg/m².hr. Under the best operating conditions, the equivalence ratio was 0,71 and the gasification process still remaining around 43% of solid residue.*

Keywords : *fixed-bed throatless gasifier, rice husk, specific gasification rate, equivalent ratio*

PENDAHULUAN

Salah satu sumber energi alternatif yang besar peluangnya untuk dikembangkan pemanfaatannya di Indonesia ialah energi biomassa, karena keberadaannya berlimpah. Sebagai sumber energi, biomassa memiliki beberapa keunggulan terutama dari sifat terbarukan. Selain itu, dari segi lingkungan penggunaan biomassa sebagai sumber energi memiliki dua pengaruh positif yaitu bersifat mendaur ulang CO₂, sehingga emisi CO₂ ke atmosfer secara *netto* berjumlah nol, dan sebagai sarana pemanfaatan limbah pertanian misalnya sekam padi.

Padi merupakan tanaman pangan yang keberadaannya melimpah di Indonesia. Produksi padi di Indonesia tahun 2008 mencapai 59,9 juta ton Gabah Kering Giling (GKG). Setiap ton GKG yang digiling akan ditimbulkan sekam padi kira-kira 200-300 kg. Secara kasar, dengan anggapan 40% sekam padi terkumpul, maka ketersediaan sekam padi di Indonesia rata-rata sekitar 10 juta ton/tahun, nilai tersebut setara dengan BBM 1,25 juta kL/tahun atau setara dengan pembangkitan listrik 3,3 juta MWh/tahun.

Saat ini, sebagian kecil sekam padi di masyarakat dimanfaatkan sebagai media tanam dan sebagai bahan bakar industri genteng atau batu bata. Pemanfaatan sekam padi sebagai sumber energi dengan dibakar secara langsung

berpotensi rendahnya efisiensi konversi energi dan kurang terkendali.

Metoda konversi biomassa menjadi energi dalam bentuk lain (misalnya energi listrik) secara efisien telah ada, misalnya melalui pembentukan gas sintesis yang selanjutnya dapat dipergunakan sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar minyak keperluan mesin-diesel, bahan bakar gas keperluan engine atau melalui tahapan pencairan terlebih dahulu.

Beberapa pustaka mengenai perancangan dan instalasi unit gasifikasi skala besar sudah banyak dijumpai, pengembangan lebih lanjut diarahkan pada perancangan reaktor gasifikasi skala kecil 3 – 30 kW (Jain, 2006). Unit gasifikasi skala kecil lebih lanjut dapat digunakan untuk penyediaan listrik bagi industri penggilingan gabah, industri skala kecil lain, maupun aplikasi pada pompa persawahan.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter-parameter gasifikasi sekam padi skala kecil (1 – 5 kW) dengan menggunakan reaktor gasifikasi tanpa tenggorokan yang dapat digunakan lebih lanjut untuk perancangan reaktor gasifikasi. Tujuan jangka panjang penelitian ini adalah untuk menghasilkan teknologi tepat guna unit gasifikasi skala kecil (*portable*) yang dapat dikopling dengan mesin diesel genset untuk produksi listrik skala kecil.

LANDASAN TEORI

Proses konversi biomassa menjadi energi dapat ditempuh dengan beberapa cara yaitu pirolisis, gasifikasi dan pembakaran. Gasifikasi sebagai salah satu proses termal konversi biomassa menjadi energi menawarkan efisiensi tinggi dibanding proses pembakaran, sedangkan pirolisis dan likuifaksi saat ini masih dalam proses pengembangan lanjut (Bridgwater, 2002).

Sebagai sumber energi alternatif terbarukan dalam rangka menghadapi keterbatasan sumber energi fosil, biomassa memiliki panas pembakaran antara 18.000 – 25.000 kJ/kg tergantung terutama pada kadar air. Sekam padi dan jaggel jagung merupakan biomassa yang lebih cocok untuk dijadikan sumber energi atau bahan kimia lainnya daripada sebagai sumber serat (Susanto, H., 2009). Melalui proses gasifikasi 4 – 8 kg biomassa mungkin dapat dimanfaatkan sebagai pengganti 1 liter bahan bakar minyak. Jika proses gasifikasi disambung dengan diesel-generator, 1,2 – 2,0 kg/jam biomassa mungkin dapat menghasilkan 1 kWh listrik (Susanto, H., 2006).

Sekam padi merupakan timbulan proses penggilingan gabah. Pemanfaatan sekam padi yang jumlahnya kira-kira 20% – 30% berat gabah kering masih terbatas sebagai media tanam dan bahan bakar yang cenderung tidak terkendali. Jadi, perlu pengembangan teknologi konversi sekam padi menjadi energi sehingga pemanfaatannya lebih optimal. Teknologi produksi gas sintesis, yang memiliki komponen penyusun utama CO, CO₂, H₂, N₂, CH₄ dan sebagian kecil partikel padat, abu dan tar, melalui proses gasifikasi sekam padi berpotensi menjadi salah satu pilihan. Selanjutnya, gas sintesis tersebut dapat dipergunakan sebagai sumber bahan baku produksi bahan kimia lainnya (misalnya metanol dan hidrogen), sumber pemanas (di tungku industri, boiler dan sistem pengeringan produk pertanian) maupun sebagai sumber bahan bakar internal *combustion engine* (motor busi, motor diesel bahkan turbin gas stationer) setelah melalui serangkaian tahapan proses pendinginan dan pembersihan dari pengotor (Shuying et al, 2001).

Peneliti dari University of California Davis, USA telah merancang reaktor gasifikasi tanpa tenggorokan skala kecil (diameter reaktor 15 cm) berbahan bakar sekam padi. Gas produser yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai bahan bakar *spark ignition engine* silinder tunggal. Gasifier beroperasi tanpa masalah selama lebih dari 300 jam operasi

(Jain, 2006). Dalam penelitian yang dilakukan Jain (2006), dengan menggunakan reaktor gasifikasi tanpa tenggorokan berbahan bakar sekam padi diperoleh beberapa parameter gasifikasi diantaranya nilai SGR optimum 200 kg/m².jam, nilai ER optimum 0,40, *lower heating value* gas produser pada kondisi optimum sekitar 4,5 MJ/Nm³, dan *cold gas efficiency* sekitar 65%.

METODE PENELITIAN

Bahan Baku Biomassa

Sekam padi digunakan sebagai biomassa bahan baku yang akan digasifikasi di dalam gasifier. Perlakuan awal bahan baku hanya dikeringkan secara alami dengan bantuan panas matahari, sedangkan ukuran sekam padi seperti apa adanya (Tabel 1), tidak dilakukan pengecilan ukuran maupun aglomerasi. Analisa sifat fisis bahan baku mencakup kandungan air dan densitas curah sekam padi disajikan pada Tabel 1. Kadungan air sekam padi dianalisa dengan mengukur pengurangan berat bahan setelah dioven pada suhu 105 °C selama kurang lebih satu hari (atau sampai berat akhir konstan). Densitas curah diukur dengan membagi massa sekam padi yang diisikan penuh dalam wadah yang sudah diketahui volumenya. Pada saat pengukuran digunakan wadah berbentuk kotak dengan ukuran 14 cm x 10 cm x 7 cm, dan massa sekam terukur sekitar 120 gram.

Tabel 1. Sifat fisika bahan baku (sekam padi)

No	Karakteristik	Nilai
1	Tebal (mm)	0,1 – 0,2
2	Panjang (mm)	8 – 10
3	Lebar (mm)	2 – 3
4	Moisture (% basis kering)	16
5	Densitas curah (kg/m ³)	122

Perancangan Alat

Pembuatan reaktor gasifikasi menggunakan bahan-bahan yang murah dan mudah diperoleh. Bagian dalam reaktor gasifikasi terbuat dari pipa besi (tebal 2 mm) yang dilapisi bata tahan api setebal 3 cm, sedangkan selubung luar terbuat dari lembaran plat besi (tebal 2 mm) yang digulung. Reaktor gasifikasi dirancang tanpa tenggorokan dan bagian atas reaktor terbuka. Untuk menahan biomassa agar tidak jatuh, di bagian bawah reaktor dilengkapi dengan angsang (*grate*) berlubang. Wadah berisi air ditempatkan pada bagian bawah reaktor yang berfungsi sebagai *water seal* sekaligus untuk penampungan abu dan arang sisa. Pada bagian pipa pengeluaran gas dilengkapi dengan burner untuk penyalakan

gas produser. Reaktor gasifikasi dirancang berdasarkan perhitungan berikut:

(a) *Kebutuhan energi*: Jumlah energi yang ekuivalen dengan produksi listrik 1 kWh.

$$Q_n = 1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

(b) *Input energi*: Jumlah energi yang harus tersedia oleh sekam padi dengan nilai kalor (CV) 12,5 MJ/kg (Belonio, 2005). Kebutuhan sekam padi (*Fuel Consumption Rate* (FCR)) untuk mensuplai kebutuhan energi dihitung dengan persamaan (1) berikut (Panwar, 2008):

$$FCR = \frac{Q_n}{CV \times \eta_g} \quad (1)$$

Jika efisiensi proses gasifikasi (η_g) dianggap sebesar 17% (Belonio, 2005), maka diperoleh:

$$FCR = \frac{3,6}{12,5 \times 0,17} = 1,69 \text{ kg/jam}$$

(c) *Diameter reaktor*: Diameter reaktor gasifikasi (D) dihitung dengan persamaan (2) berikut (Panwar, 2008):

$$D = \left[\frac{1,27 \times FCR}{SGR} \right]^{1/2} \quad (2)$$

Nilai *Specific Gasification Rate* (SGR) untuk sekam padi menurut Belonio (2005) adalah 110 – 210 kg/m².jam, maka diperoleh:

$$D = \left[\frac{1,27 \times 1,69}{110} \right]^{1/2} = 13,97 \text{ cm}$$

Diameter reaktor gasifikasi diambil 14 cm.

(d) *Tinggi reaktor*: Tinggi reaktor gasifikasi (H) dihitung dengan persamaan (3) berikut (Panwar, 2008):

$$H = \frac{SGR \times t}{\rho_B} \quad (3)$$

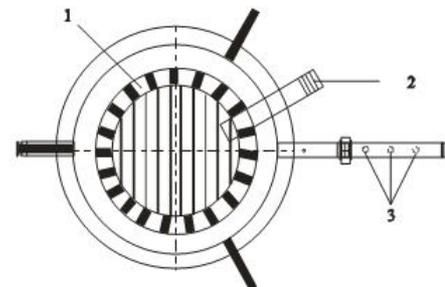
Densitas curah (ρ_B) sekam padi hasil percobaan diperoleh sebesar 122 kg/m³ (Tabel 1). Jika waktu operasi gasifikasi (t) diatur selama 40 menit, maka diperoleh:

$$H = \frac{SGR \times t}{\rho_B} = \frac{110 \times (40/60)}{122} = 60,1 \text{ cm}$$

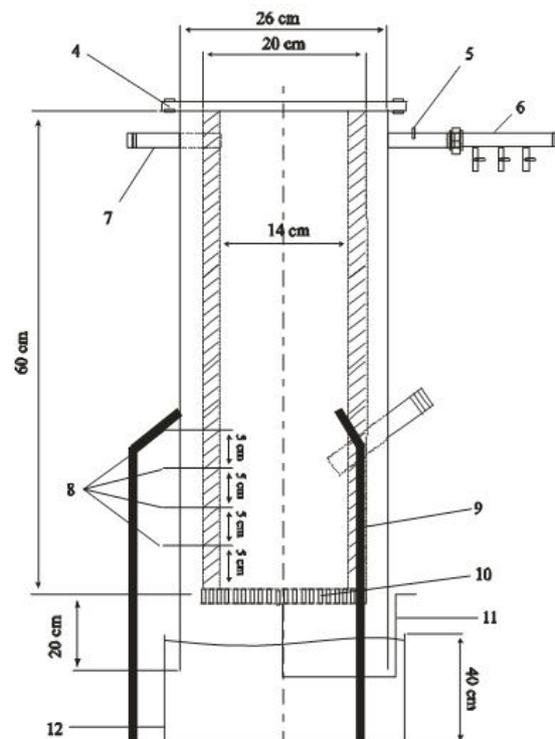
Tinggi reaktor gasifikasi diambil 60 cm.

Skema diagram reaktor gasifikasi disajikan pada Gambar 1.

Karena keterbatasan peralatan dan kemampuan untuk pembuatan alat, maka fabrikasi alat dilakukan di Bengkel Las milik Bp. Joko di daerah Penggung, Kab. Boyolali.



Tampak Atas



Tampak Depan

Keterangan gambar:

1. Bata tahan api
2. Lubang penyulutan
3. Kran ¼ inch
4. Flange
5. Thermowell keluaran gas
6. Pipa keluaran gas produser (Ø 1 inch)
7. Pipa masukan udara (Ø 1 inch)
8. Thermowell bagian dalam reaktor
9. Besi penyangga
10. Angsang/grate
11. Penggerak grate (manual)
12. Tancki berisi air sebagai water seal

Gambar 1. Skema Reaktor Gasifikasi

Tahapan Uji-Kinerja Alat

Reaktor gasifikasi dirancang dengan bagian atas terbuka agar biomassa dapat dimasukkan secara kontinyu bersama-sama dengan udara penggasifikasi yang ditarik oleh *blower* hisap (daya ½ hp). Namun karena sistem pendingin dan pembersih gas belum ada, maka untuk menghindari kerusakan *blower* hisap karena pengembunan tar, pada pelaksanaan uji-kinerja alat bagian atas reaktor ditutup rapat, dan udara penggasifikasi disuplai oleh *blower* dari pipa masukan udara (no.7). Laju alir udara penggasifikasi dapat diatur menggunakan kran pada pipa masukan udara.

Uji-kinerja reaktor gasifikasi dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Limbah Teknik Kimia FT-UNS. Tahapan uji-kinerja alat diuraikan sebagai berikut: bahan baku sekam padi yang sudah kering ditimbang terlebih dahulu (kurang lebih 750 gram (w_i)), kemudian dimasukkan ke dalam reaktor. Tumpukan sekam bagian atas diberi kertas kemudian disulut api dan dibiarkan sampai terbentuk bara. Bagian atas reaktor kemudian ditutup rapat, dan mulai menghidupkan *blower*. Waktu dimana mulai menghidupkan *blower* dicatat sebagai waktu *start-up* operasi.

Di dalam reaktor, sekam padi akan tergasifikasi dan gas produser yang terbentuk akan masuk ke dalam anulus kemudian keluar dari pipa keluaran gas (no.6). Gas produser kemudian dibakar di burner dengan cara disulut dengan nyala api. Laju alir udara diatur sehingga diperoleh nyala api (terbentuk lidah api) yang cukup stabil. Proses dibiarkan berlangsung sampai tidak terbentuk lidah api atau tidak dihasilkan lagi gas produser. Ketika sudah tidak dihasilkan lagi gas produser maka *blower* dimatikan dan dicatat sebagai waktu *shut-down* operasi. Lama waktu operasi/reaksi gasifikasi kemudian dapat dihitung (t_{op}). Setelah reaktor dingin, sisa padatan yang masih berada di *grate* dan yang terdapat di tangki *water seal* kemudian ditimbang, dan diperoleh berat sisa padatan (w_f).

Specific Gasification Rate (SGR) didefinisikan sebagai kecepatan konsumsi biomassa per satuan luas penampang reaktor. SGR dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Belonio, 2005):

$$SGR = \frac{w_i - w_f}{A_{reaktor} \times t_{op}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{jam}} \right) \quad (4)$$

$A_{reaktor}$ adalah luas penampang reaktor bagian dalam. Nilai persentase padatan sisa dihitung dengan persamaan berikut (Belonio, 2005):

$$\text{Persentase padatan sisa} = \frac{w_f}{w_i} \times 100\% \quad (5)$$

Equivalent Ratio (ER) didefinisikan sebagai perbandingan kebutuhan udara aktual yang digunakan terhadap kebutuhan udara stoikiometrik. Kebutuhan udara stoikiometrik untuk menggasifikasi sekam padi adalah sebesar 3,3468 m³ per kg sekam padi kering (Jain, 1996 dalam Jain, 2006).

$$ER = \frac{\text{Jumlah udara aktual}}{\text{Jumlah udara stoikiometrik}} \quad (6)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pabrikasi rancangan reaktor gasifikasi sekam padi disajikan pada Gambar.2. Tinggi total reaktor dari dasar penyangga sampai bagian atas kurang lebih 90 cm. Reaktor dilengkapi dengan *thermowell* untuk lubang pengukuran temperatur reaktor dan temperatur gas produser. Selama proses gasifikasi tidak terjadi kebocoran dari dalam reaktor maupun dari pipa saluran gas. Selain itu terdapat *handle* yang menempel pada *grate* yang berfungsi untuk mengerakkan *grate* jika terjadi penyumbatan oleh sisa padatan. Secara umum, proses pengoperasian reaktor gasifikasi hasil rancangan cukup mudah.

Pembakaran gas produser hasil gasifikasi sekam padi di *burner* belum sesuai yang diharapkan, lidah api yang terbentuk belum cukup stabil (kadang hilang). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh proses gasifikasi yang belum berjalan baik atau disebabkan oleh desain burner yang kurang tepat. Permasalahan lain yang dihadapi adalah jumlah tar yang terbentuk cukup banyak, tar bahkan menetes pada ujung pangkal burner.

Lidah api sudah mulai terlihat pada ujung burner kira-kira 6 -7 menit setelah waktu *start-up* (Gambar 3). Lama waktu proses gasifikasi 750 gram sekam padi kurang lebih 85 menit. Berdasarkan hasil pengamatan stabilitas nyala/lidah api yang terbentuk, nilai-nilai parameter gasifikasi pada kondisi terbaik diperoleh sebagai berikut: nilai SGR antara 19,5 – 19,7 kg/m².jam, Persentase padatan sisa sekitar 43%, dan ER antara 0,71 – 0,81.

Besarnya jumlah padatan sisa kemungkinan disebabkan oleh besarnya jumlah udara pembakaran (nilai ER cukup besar), sehingga pada saat proses gasifikasi kondisi di dalam reaktor dingin dan menyebabkan proses gasifikasi kurang sempurna. Tidak stabilnya nyala api kemungkinan juga disebabkan

besarnya jumlah udara yang disuplai ke dalam reaktor, konsentrasi *combustible gas* di dalam gas produser menjadi lebih kecil karena terdapat N_2 ikutan dalam jumlah yang cukup banyak.



Gambar 2. Reaktor Gasifikasi



Gambar 3. Lidah Api yang Terbentuk pada Pembakaran Gas Produser

KESIMPULAN

Reaktor gasifikasi sekam padi sudah dapat dioperasikan dengan baik, namun stabilitas nyala/lidah api yang dihasilkan belum cukup stabil. Nilai parameter gasifikasi pada kondisi terbaik (nyala/lidah api yang paling stabil) diperoleh nilai *specific gasification rate* (SGR) sekitar $19,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jam}$. Pada kondisi tersebut diperoleh nilai *equivalence ratio* (ER) sekitar 0,71 dan proses gasifikasi sekam padi masih menyisakan padatan sisa yang cukup banyak sekitar 43% berat sekam padi awal.

DAFTAR PUSTAKA

- Belonio, 2005, *Rice Husk Gas Stove Hand Book*, Department of Agricultural Engineering and Environmental Management College of Agriculture Central Philippine University Iloilo City, Philippines
- Brown, Robert C., 2003, *Biorenewable Resources*, Iowa State Press, Iowa.
- Jain, A.K., 2006, *Design Parameters for a Rice Husk Throatless Gasifier Reactor*, Agricultural Engineering International: the CIGR E-journal, Manuscript EE 05 012, Vol VIII.
- Milne, T.A., Evans, R.J, 1998, *Biomass gasifier "Tars" : their nature, formation, and conversion*, National Renewable Energy Laboratory.
- Panwar, N.L., Rathore, N.S., 2008, *Design and performance evaluation of a 5 kW producer gas stove*, Biomass and Bioenergy, 32, 1349-1352.
- Shuying, L., Guocai, W., and DeLaquil, P., 2001, *Biomass Gasification for combined heat and power in Jilin Province, People's Republic of China*, Energy for Sustainable Development, vol. 5 (1), 47-53
- Susanto, H., 2005, *Pengujian PLTD-Gasifikasi Sekam 100 kW di Haurgeulis, Indramayu*, Program Studi Teknik Kimia FTI – ITB.
- Susanto, H., 2006, *Peluang Gasifikasi Biomassa dalam Program Diversifikasi Sumber Energi*, Presentasi Badan Kejuruan Kimia – Persatuan Insinyur Indonesia, Yogyakarta
- Susanto, H., 2009, *Pengembangan Proses Pemanfaatan Limbah Pertanian dan Perkebunan sebagai Sumber Energi dan Bahan Kimia*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2009, UPN Yogyakarta