

PENGUJIAN PERFORMA REAKTOR DOWNDRAFT BIOMASSA KOTORAN SAPI

Muhammad Ridwan dan Noviyanti Nugraha

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, ITENAS Bandung
e-mail: muhrid@gmail.com

Abstract: Biomass power plants are electricity generators with alternative energy that utilize organic materials, in this case cow dung. The cow dung is then processed to produce syngas. Syngas is used as fuel to turn turbines. In previous studies, a cow manure gasification reactor was designed and manufactured. This reactor is part of a biomass power plant system (PLTBm) which is made separately. The power output target of this PLTBm is 370 kW. The purpose of this study was to examine the performance of the downdraft reactor of cow dung biomass, namely discharge, temperature, and analyze the gas content released by the reactor so that the power that can be generated by the reactor can be obtained. The test results obtained a combustion chamber temperature of 580°C and a discharge of 0.285 m³/s. The composition of the output gas is acetylene 58.16%, hexane 27.66%, butane 6.38%, and methane 7.8%. From the calculation results, the power generated by the reactor is 342 kW.

Keywords: Experiment, Performance, Reactor, PLTBm, Cow Dung.

PENDAHULUAN

Gasifikasi adalah suatu proses konversi senyawa yang mengandung karbon untuk mengubah material baik cair maupun padat menjadi bahan bakar gas mampu bakar (CO, H₂, CO₂, CH₄ dan H₂O) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas yaitu antara 20% hingga 40% udara stoikiometri.

Reaktor tempat terjadinya proses gasifikasi disebut *gasifier*. Selama proses gasifikasi akan terbentuk daerah proses menurut distribusi temperatur dalam reaktor. Daerah-daerah tersebut adalah pengeringan, pirolisis, pembakaran, dan gasifikasi. Masing-masing daerah terjadi pada rentang suhu antara 25°C hingga 150°C, 150°C hingga 600°C, 600°C hingga 900°C, dan 600 K hingga 900 K. Gas hasil dari proses gasifikasi disebut *syngas* [1].

Pembangkit listrik tenaga biomassa merupakan pembangkit listrik dengan energi alternatif yang memanfaatkan bahan organik, dalam hal ini kotoran sapi. Kotoran sapi ini kemudian diolah sehingga dapat menghasilkan *syngas*. *Syngas* inilah yang pada akhirnya dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk memutar turbin. Seberapa besar daya yang dapat dibangkitkan sangat bergantung dari performa alat tersebut. Komposisi *syngas* bervariasi tergantung dengan bahan baku biomassa, namun rata-rata dapat menghasilkan *syngas* dengan kadar H₂ sebesar 18-20%, CO sebesar 18-20%, CH₄ sebesar 2-3%, CO₂ sebesar 12%, H₂O sebesar 2,5% dan sisanya N₂, dengan nilai kalor gas sekitar 4,7 – 5 MJ/m³ [2].

Pembakaran bahan bakar gas (*syngas*) lebih mudah dalam pengontrolan laju atau temperatur pembakaran dibanding pembakaran bahan bakar padat. Disamping itu, hasil pembakaran bahan bakar gas lebih bersih. Namun, untuk menghasilkan *syngas* dari gasifikasi, teknologi gasifikasi masih harus dikembangkan karena efisiensi tertinggi proses gasifikasi masih disekitar 65% [3].

Banyak parameter yang mempengaruhi efisiensi gasifikasi dan sangat tergantung dari jenis bahan bakar dan tipe gasifier yang dipakai. Pemanasan awal udara gasifikasi merupakan parameter penting yang berpengaruh terhadap efisiensi gasifikasi. Pemanasan tersebut dapat membantu mengurangi kandungan *moisture* bahan bakar. Semakin kecil persentase *moisture* dalam bahan bakar padat, nilai kalor *syngas* semakin besar. Namun, pemanasan awal udara gasifikasi harus dicari nilai optimumnya sehingga tidak menimbulkan permasalahan lagi yaitu terbentuknya tar [3]. Karena udara adalah agen *gasifying*, temperatur reaktor tergantung pada laju aliran udara dan laju umpan biomassa [4].

Gasifikasi yang selama ini sering dikenal adalah gasifikasi dengan umpan batubara dan limbah pertanian, akan tetapi gasifikasi dengan umpan limbah peternakan khususnya biomassa

kotoran sapi masih jarang dilakukan, padahal kotoran sapi memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan sebagai bahan bakar gasifikasi.

Kotoran sapi yang telah melalui proses pengeringan akan diperoleh *mass moisture content* (wt%) sebesar 10%. Sedangkan kotoran sapi yang belum dikeringkan rata-rata memiliki *mass moisture content* sebesar 78.4%.

Tipe reaktor yang digunakan adalah tipe *downdraft*. Pada tipe ini sumber panas terletak di bawah bahan bakar, aliran udara bergerak ke zona gasifikasi dibagian bawah yang menyebabkan asap pirolisa yang dihasilkan melewati zona gasifikasi yang panas. Hal ini membuat tar yang terkandung dalam asap terbakar, sehingga gas yang dihasilkan oleh reaktor ini lebih bersih [5].

Keuntungan reaktor tipe ini adalah reaktor ini dapat digunakan untuk operasi gasifikasi yang berkesinambungan dengan menambahkan bahan bakar melalui bagian atas reaktor. Namun untuk operasi yang berkesinambungan dibutuhkan sistem pengeluaran abu yang baik, agar bahan bakar bisa terus ditambahkan kedalam reaktor [5].

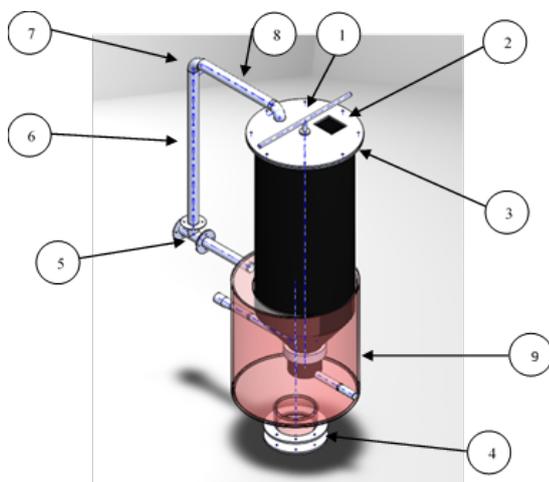
Pada penelitian sebelumnya telah dirancang serta dibuat reaktor gasifikasi kotoran sapi. Reaktor ini adalah bagian dari sistem PLTBm (Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa) yang dibuat terpisah. Target keluaran dari PLTBm ini adalah 370 kW, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Untuk itu diperlukan pengujian performa dari reaktor tersebut. Maka tujuan dari penelitian ini adalah menguji kinerja dari reaktor *downdraft* biomassa kotoran sapi.



Gambar 1. Reaktor *downdraft*

METODOLOGI

Skema beserta komponen reaktor *downdraft* yang akan diuji diperlihatkan pada Gambar 2.



Komponen-komponen Reaktor *downdraft*

1. Tiang *paddle*.
2. Lubang untuk memasukkan bahan baku.
3. Tutup.
4. Saringan *ash grate*.
5. Sambungan pipa T.
6. Pipa panjang 720 mm.
7. Belokan 2 in.
8. Pipa panjang 582 mm.
9. *Gasifier*

Gambar 2. Komponen reaktor *downdraft*

Reaktor *downdraft* gasifikasi biomassa ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu: *Gasifier* (tungku gasifikasi), berfungsi sebagai komponen utama sebagai tungku tempat berlangsungnya proses gasifikasi, dimana biomassa dibakar dengan temperatur tinggi sehingga menghasilkan sintetik gas (*syngas*). *Gasifier* terbuat dari pipa baja, plat baja dan piringan (*plate*) baja. Reaktor *gasifier* terdiri dari *throat* atau leher reaktor yang terbuat dari pipa baja dan *hearth* atau tungku pembakaran dari plat baja yang di-*bending* menyerupai kerucut.

Syngas outlet (tempat pengeluaran *syngas*) berfungsi sebagai saluran pengeluaran *syngas* yang dihasilkan *gasifier*. Bahan yang digunakan untuk *syngas outlet* ini adalah pipa ST-40 dengan diameter 3 inchi dan panjang 10 cm.

Air nozzle (*nozzle* udara) berfungsi sebagai sumber udara pada proses gasifikasi dan sebagai pengatur arah aliran *syngas*. *Air nozzle* (*nosel* udara) ini terbuat dari material pipa ST-40 dengan diameter 8 mm yang terdiri dari 8 buah *nozzle* dimana 4 *nozzle* terpasang horizontal dan 4 *nozzle* lainnya terpasang miring 45° ke bawah.

Ash grate berfungsi sebagai tempat penampung abu dari sisa pembakaran biomassa. *Ash grate* terbuat dari plat baja ST-40 dengan ketebalan 2 mm yang di-*roll* menyerupai tabung dan di-*bending* menyerupai kerucut. Pada saringan *ash grate* terdapat banyak lubang saringan agar memudahkan pada saat penyaringan bekas pembakaran yang berupa abu ke dalam *ash grate*.

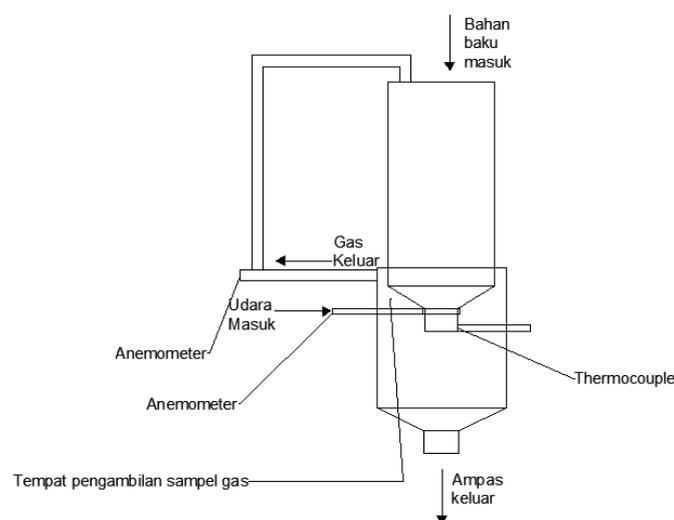
Hopper (*corong*) berfungsi untuk tempat memasukkan biomassa ke dalam reaktor. *Hopper* (*corong*) terbuat dari plat baja ST-40 dengan ketebalan 2 mm yang di-*roll* membentuk tabung dengan diameter 45 cm dan tinggi 100 cm.

Pipa dengan panjang 582 mm digunakan untuk aliran sisa pembakaran dari atas *hopper* yang disambungkan ke belokan 2 in. Pipa dengan panjang 720 mm digunakan untuk aliran sisa pembakaran dari atas *hopper* yang disambungkan ke belokan 2 in dan diteruskan ke *syngas output*. Belokan 2 in yang digunakan sebanyak 2 buah, 1 buah dipasangkan diatas tutup *flens hopper* dan yang lain disambungkan pada sambungan pipa 582 mm dan pipa 720 mm. Sambungan T digunakan untuk membagi aliran dari atas *hopper* dan dari *output syngas*. Pipa-pipa ini juga dimaksudkan untuk mengatasi adanya *syngas* ke atas.

Tiang *paddle* yang diletakkan didalam reaktor, digunakan untuk memasang *screw* pendorong bahan bakar ke ruang pembakaran.

Skema Pengujian

Skema pengujian reaktor dapat dilihat dari Gambar 3. parameter yang diamati dari reaktor antara lain temperatur ruang bakar, kecepatan udara masuk kedalam reaktor, debit gas keluar reaktor, temperatur gas keluar reaktor, dan kandungan gas keluar reaktor.



Gambar 3. Skema pengujian reaktor

Hasil gas yang keluar dari reaktor ditampung ke dalam wadah untuk kemudian dimasukkan ke dalam *gas chromatography*. Untuk mengukur debit yang keluar dilakukan dengan anemometer, akan diperoleh laju aliran gas yang keluar. Setelah itu akan dikalikan dengan luas penampang pipa, maka diperoleh debit dari gas yang keluar.

Prosedur Pengujian

1. Memasukkan kotoran sapi ke dalam reaktor.
2. Membakar kotoran sapi dengan gas *burner* melalui jalur inisiasi.
3. Menyalakan *blower* dengan bukaan paling kecil.
4. Setelah kotoran sapi menyala di dalam, kemudian menutup jalur inisiasi dengan *thermocouple*.
5. Menunggu reaktor hingga panasnya mencapai lebih dari 500°C sambil memutar tuas secara perlahan.
6. Setelah temperatur reaktor diatas 500°C, kemudian membuka bukaan *blower* pada posisi setengah.
7. Mengukur temperatur ruang pembakaran dengan *thermocouple*.
8. Mengukur laju aliran gas yang keluar dengan anemometer.
9. Mengukur laju aliran yang masuk dengan anemometer.
10. Mengulangi langkah 7 sampai 9 dengan bukaan *full* sambil terus memutar tuas secara perlahan.
11. Mengambil sampel gas yang keluar dari reaktor kedalam suatu wadah, kemudian menganalisa dengan alat *gas chromatography*.
12. Mematikan reaktor dengan mematikan *blower*.

ANALISIS

Data hasil pengujian yang diperoleh diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil pengujian reaktor

Bukaan blower	Aliran udara masuk (m/s)	Aliran syngas keluar (m/s)	Temperatur ruang bakar (°C)	Temperatur syngas keluar (°C)
setengah	7.9	0.8	520	135
full	10	0.9	580	135

Hasil gas yang keluar dari reaktor diuji menggunakan *gas chromatography*, untuk mengetahui kandungannya. Data hasil pengujian diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil *gas chromatography*, LHV, dan densitas gas yang terkandung

Nama zat	Area %	LHV (MJ/m ³)	Densitas (kg/m ³)
Udara	98,59	-	-
Acetaldehyde	0,82	53,9	1,092
2-Hexanone	0,39	160,9	3,79
2,3-Butanedione	0,09	111	2,485
2-Methylfuran	0,11	33,9	0,668

Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan debit gas yang keluar, LHV *syngas* serta daya yang dihasilkan.

Debit Gas yang Keluar

Untuk menghitung debit gas yang keluar dapat menggunakan persamaan berikut:

$$d = 2,5 \text{ inchi} = 0,0635 \text{ m}$$

$$Q = v \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0,9 \frac{m}{s} \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,0635 m}{2}\right)^2 = 0,285 \frac{m^3}{s} \quad (1)$$

LHV Syngas

Untuk menghitung LHV dari Syngas maka digunakan persamaan berikut, dengan melihat pada hasil *gas chromatography* pada Tabel 2, sehingga:

$$LHV_{syngas} = X \cdot LHV_{acetylene} + X \cdot LHV_{hexane} + X \cdot LHV_{butane} + X \cdot LHV_{methane} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} LHV_{syngas} &= 0,82\% \cdot 53,9 \frac{MJ}{m^3} + 0,39\% \cdot 160,9 \frac{MJ}{m^3} + 0,09\% \cdot 111 \frac{MJ}{m^3} + 0,11\% \cdot 33,9 \frac{MJ}{m^3} \\ &= 1,2 \frac{MJ}{m^3} \end{aligned}$$

Daya Gas

Untuk menghitung daya gas menggunakan persamaan berikut:

$$P_{syngas} = LHV_{syngas} \cdot Q = 1,2 \frac{MJ}{m^3} \cdot 0,285 \frac{m^3}{s} = 0,342 MW = 342 kW \quad (3)$$

Dari pengujian yang dilaksanakan dapat diperoleh analisa sebagai berikut:

1. Reaktor gasifikasi memiliki spesifikasi yang harus dipenuhi yaitu daya keluaran gas sebesar 370 kW, pada data hasil pengujian menunjukkan bahwa reaktor hanya dapat mengeluarkan daya keluaran gas sebesar 342 kW.
2. Dikarenakan reaktor yang diuji tidak berada dalam suatu sistem PLTBm (Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa) melainkan berdiri sendiri, mengakibatkan sampel gas yang keluar tercampur dengan udara.
3. Jika dari data yang diperoleh diasumsikan dimana kondisi reaktor berada dalam suatu sistem. Sehingga udara dipisahkan dari sampel dan menyisakan syngas murni. Untuk itu akan diperoleh LHV dan debit yang berbeda sebagai berikut:

$$Total\ syngas = \% \text{ area acetylene} + \% \text{ area hexane} + \% \text{ area butane} + \% \text{ area methane} \quad (4)$$

$$Total\ syngas = 0,82\% + 0,39\% + 0,09\% + 0,11\% = 1,41\%$$

Untuk LHV,

$$\begin{aligned} LHV_{syngas} &= \frac{0,82}{1,41} \times 100\% \cdot 53,9 \frac{MJ}{m^3} + \frac{0,39}{1,41} \times 100\% \cdot 160,9 \frac{MJ}{m^3} + \frac{0,09}{1,41} \times 100\% \cdot 111 \frac{MJ}{m^3} + \\ &\quad \frac{0,11}{1,41} \times 100\% \cdot 33,9 \frac{MJ}{m^3} \end{aligned} \quad (5)$$

$$LHV_{syngas} = 58,16\% \cdot 53,9 \frac{MJ}{m^3} + 27,66\% \cdot 160,9 \frac{MJ}{m^3} + 6,38\% \cdot 111 \frac{MJ}{m^3} + 7,8\% \cdot 33,9 \frac{MJ}{m^3}$$

$$LHV_{syngas} = 85,57 \frac{MJ}{m^3}$$

Untuk Debit,

$$Q = 0,285 \frac{m^3}{s} \times 1,41\% = 0,004 \frac{m^3}{s} \quad (6)$$

Maka berdasarkan persamaan (3) daya dari gas sebagai berikut,

$$P_{syngas} = LHV_{syngas} \cdot Q = 85,57 \frac{MJ}{m^3} \cdot 0,004 \frac{m^3}{s} = 0,3423 MW = 342,3 kW$$

Dapat dilihat bahwa hasil perhitungan murni *syngas* menghasilkan LHV yang lebih tinggi.

4. Jika dibutuhkan LHV dalam satuan basis massa, maka masing-masing gas dibagi dengan densitasnya yang diperoleh dari Tabel 2. Perhitungannya sebagai berikut.

$$LHV_{syngas} = \frac{X.LHV_{acetylene}}{\rho_{acetylene}} + \frac{X.LHV_{hexane}}{\rho_{hexane}} + \frac{X.LHV_{butane}}{\rho_{butane}} + \frac{X.LHV_{methane}}{\rho_{methane}} \quad (7)$$

$$LHV_{syngas} = \frac{58,16\% \cdot 53,9 \frac{MJ}{m^3}}{1,092 \frac{kg}{m^3}} + \frac{27,66\% \cdot 160,9 \frac{MJ}{m^3}}{3,79 \frac{kg}{m^3}} + \frac{6,38\% \cdot 111 \frac{MJ}{m^3}}{2,485 \frac{kg}{m^3}} + \frac{7,8\% \cdot 33,9 \frac{MJ}{m^3}}{0,668 \frac{kg}{m^3}}$$

$$LHV_{syngas} = 47,11 \frac{MJ}{kg}$$

SIMPULAN

1. Debit dari gas yang keluar reaktor adalah sebesar 0,285 m³/s.
2. Temperatur dari ruang bakar adalah 580 °C pada bukaan *blower* maksimal.
3. Adapun komposisi *syngas* yang dihasilkan adalah:

Kondisi Syngas	Acetylene	Hexane	Butane	Methane
Syngas tercampur udara	0,82%	0,39%	0,09%	0,11%
Syngas murni	58,16%	27,66%	6,38%	7,8%

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Technology of Biomass Gasification* : <http://cgpl.iisc.ernet.in/site/Portals/0/Technologies/GasificationTechnology.pdf> diunduh pada April 2017
- [2] Muhammad Ridwan, Indradjaja, Faqih Azizuddin dan Stefan Arichta. (2016). *Perancangan Reaktor Gasifikasi Downdraft dan Cyclone Separator Pilot Plant Pembangkit Listrik Gasifikasi Biomassa Kapasitas 100 kW*. Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (SNTTM XV).
- [3] Anis, Samsudin, Karnowo, Wahyudi, Sri Mulyo Bondan Respati. (2010). *Studi Eksperimen Gasifikasi Sekam Padi pada Updraft Circulating Fluidized Bed Gasifier*. Semarang : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
- [4] Sadaka, Samy. (2006). *Gasification*. Nevada: Department of Agricultural and Biosystem Engineering Iowa State University.
- [5] Susanto, H. (2005). *Pengujian PLTD-Gasifikasi Sekam 100 kW di Haurgeulis, Indramayu*. Laporan singkat Pengoperasian PLTD-G sekam di Haurgeulis.