

## UJI ANALISA DIAMETER TUNGKU GASIFIKASI MODEL “CASTLE” TERHADAP PERFORMA TUNGKU

**Eko Surjadi**

Teknik Mesin Universitas Surakarta  
Jl. Raya Palur Km. 5 Surakarta 57772  
Email: doel\_qellyk@yahoo.co.id

### Abstrak

*Perkembangan teknologi bergerak seiring kebutuhan akan energi yang meningkat terutama energi fosil yang sampai sekarang masih diandalkan sedangkan ketersediaan energi fosil semakin menipis. Khusus daerah pedesaan di Indonesia rata-rata konsumsi energi perkapita harian dalam rumah tangga pedesaan adalah sekitar 25 MJ. Kegiatan utama yang menyerap banyak energi adalah untuk memasak sekitar 95% dan 5% penerangan. Sehingga pengadaan energi terbarukan perlu secepatnya dilaksanakan. Salah satunya adalah pemanfaatan residu padi yaitu biomassa sekam padi sebagai energi terbarukan dengan teknologi gasifikasi. Tujuan dari penelitian ini adalah didapatkannya energi alternatif pengganti energi fosil. Penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi masyarakat baik masyarakat secara umum maupun masyarakat industri kecil menengah. Di mana selain didapatkan energi alternatif juga didapatkannya teknologi yang menyertainya, secara terinci tujuan awal dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kecepatan udara primer mula yang menghasilkan output power yang sebesar mungkin pada tungku gasifikasi biomassa tipe down-draft. Eksperimen dilakukan menggunakan biomassa residu tanaman padi (sekam) sebagai umpan dan variasi dimensi pada tungku gasifikasi biomassa tipe down-draft. Dengan Water Boilling Test didapat data start up time, operating time dan total operating time dari penggunaan tungku gasifikasi biomassa tipe down-draft, sehingga mendapatkan data dimensi tungku dengan efisiensinya. Hasil penelitian didapat kesimpulan bahwa tipe Down-draft lebih sesuai dengan tujuan penelitian ini daripada tipe cross-draft, performa tungku berbanding lurus dengan luas penampang gasifier, waktu operasi gas berbanding lurus dengan tinggi tungku dan performa tungku terbaik dihasilkan pada penggunaan umpan 3/4 dari tinggi tungku, material tungku stainless steel mampu memberikan performa tungku paling baik serta waktu operasi tungku lebih lama, semakin cepat udara primer maka performa dari tungku semakin baik, penggunaan fan sebagai udara sekunder tidak dianjurkan, umpan sekam padi dianjurkan menggunakan sekam padi dengan sedikit kulit ari padi, jumlah dan atau diameter lubang udara sekunder mempengaruhi ketinggian api gasifikasi.*

*Kata kunci : Gasifikasi, Dimensi, Efisiensi, Tungku*

### 1. PENDAHULUAN

Ketika ketergantungan manusia terhadap bahan bakar tak terbarukan dirasa semakin meningkat, sedangkan ketersediaannya semakin menipis, sehingga membawa Indonesia menjadi *net oil importer*, substitusi ke energi non fosil dengan memanfaatkan sumber energi alternatif secara lebih efisien dan menggunakan teknologi yang lebih modern merupakan salah satu langkah yang bisa dilaksanakan, salah satunya adalah dengan memanfaatkan energi terbarukan dari limbah pertanian yang banyak dimiliki oleh negara agraris seperti Indonesia.

Selain itu, dari segi lingkungan, penggunaan biomassa sebagai bahan bakar dapat mendaur ulang CO<sub>2</sub>, sehingga emisi CO<sub>2</sub> ke atmosfer berjumlah nol secara netto dan sebagai sarana mengatasi masalah limbah pertanian. Dari segi biaya, biomassa tersedia secara melimpah sehingga harganya jauh lebih murah dibanding minyak dan penggunaan listrik PLN melalui kabel, hal tersebut akan menambah biaya jika ada penggunaan sarana transportasi sebagai pendukung, terutama didaerah terpencil dalam hal ini daerah pedesaan.

Teknologi ini merupakan teknologi yang relatif sederhana dan mudah pengoperasiannya serta secara teknik maupun ekonomi adalah layak untuk dikembangkan. Dengan demikian teknologi gasifikasi biomassa sangat potensial menjadi teknologi yang sepadan untuk diterapkan di berbagai tempat di Indonesia. Namun masih diperlukan penelitian mendasar untuk menjadikannya

teknologi ini siap sebar. Gasifikasi merupakan konversi biomassa menjadi bahan bakar gas melalui pemanasan dalam media gasifikasi, seperti udara, oksigen atau uap. Tidak seperti dalam pembakaran, oksidasi sempurna dalam satu kali proses, gasifikasi mengubah energi kimiawi intrinsik karbon dalam biomassa menjadi gas mampu terbakar dalam dua tahap. Gas yang dihasilkan dapat distandardisasi dalam kualitas dan lebih mudah serta beragam dalam penggunaannya daripada biomassa dalam bentuk baku.

Berdasarkan Statistik Energi Indonesia (DESDM, 2004) diketahui bahwa potensi energi biomassa di Indonesia cukup besar, yaitu mencapai 434,08 GWh. Dari tabel diatas dapat dilihat limbah pertanian, dalam hal ini padi memiliki total potensial energi 138,568 GWh sehingga penggunaan limbah padi sebagai sumber energi biomassa cukup menjanjikan.

**Tabel 1. Potensi energi biomassa di beberapa daerah di Indonesia**

Wilayah	Energi (GWh)				
	Limbah Padi	Limbah Jagung	Limbah Cassava	Limbah Kayu	Limbah Kelapa
Jawa	65.652	26.534	16.216	5.053	1.532
Sumatera	36.292	8.103	7.062	41.785	2.243
Kalimantan	13.298	715	1.007	68.649	381
Bali, Nusa Tenggara	7.486	5.039	2.311	3.309	399
Sulawesi	15.304	7.705	2.086	19.275	1.613
Maluku	323	474	434	7.789	558
Papua	213	59	78	59.721	32
Total Potensial (GWh)	138.568	48.629	29.194	205.581	6.758

Sumber: Diolah dari INDONESIA ENERGI Outlook & Statistics 2000, PSE-UI dalam Statistik Energi Indonesia, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.

Di Indonesia terdapat banyak wilayah pedesaan atau perkebunan sehingga lebih memudahkan untuk mensosialisasikan dan mewujudkan penggunaan energi biomassa, dalam hal ini limbah pertanian sebagai pengganti energi fosil, yang sebetulnya telah dilakukan oleh masyarakat dipedesaan secara tradisional, berikut beberapa informasi pemakaian energi di pedesaan menurut Suyitno (2009) dalam Seminar Nasional Energi Terbarukan :

1. Rata-rata konsumsi energi perkapita harian dalam rumah tangga pedesaan adalah sekitar 25 MJ.
2. Kegiatan utama yang menyerap banyak energi adalah untuk memasak sekitar 95% dan penerangan yaitu sekitar 5%.
3. Selain kebutuhan energi untuk memasak dan penerangan, energi pedesaan diperlukan untuk kegiatan ekonomi. Listrik dan bahan bakar minyak utamanya untuk menggerakkan peralatan pertanian, pertukangan, pengergajian.

Dengan asumsi nilai kalor biomasa terendah adalah 15 MJ/kg, maka per hari per kapita penduduk desa memerlukan biomassa minimal sebanyak 1,7 kg. Jumlah biomassa ini akan bertambah banyak jika teknologi pengolahan energinya tidak efisien. Sehingga perlu adanya pengembangan teknologi agar penggunaan biomassa lebih efisien dan emisi CO<sub>2</sub> atau gas buang hasil pemanfaatan biomassa tersebut bisa ditekan jumlahnya.

Dengan kenaikan harga bensin dan solar akhir-akhir ini, maka pemanfaatan biomassa menjadi lebih menarik secara ekonomi. Hal ini menjadi semakin lebih menarik, karena pemerintah mencabut subsidi minyak tanah, maka kebutuhan untuk pemanfaatan biomassa di sektor rumah tangga akan meningkat.

Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan prototipe tungku untuk memasak dengan tinggi tungku yang menghasilkan performa terbaik dengan sekam padi sebagai umpan.

Penelitian gasifikasi biomassa telah dilakukan oleh Reed dkk (1999), Bhattacharya (1999), Wander dkk (2004), Ramirez dkk (2006), dan Suvarnakuta (2006).

Reed dkk (1999) telah melakukan penelitian propertis pembakaran dan gasifikasi biomassa dengan tungku " Turbo Stove ". Tungku ini sederhana dan mudah dibuat serta dapat beroperasi dengan daya blower sebesar 3 W menghasilkan 1 – 3 KW<sub>thermal</sub> untuk memasak. Pengujian tungku

masak biomassa dilakukan pula oleh Suvarnakuta (2006) dengan bahan bakar biomasa padi. Disimpulkan bahwa tungku ini memiliki kualitas sama dengan tungku LPG, dengan efisiensi termal mencapai 21,86 %, bahkan memiliki keuntungan dalam hal biaya operasi yang rendah dan ramah lingkungan.

Wander dkk (2004) melakukan penelitian bahwa teknologi gasifikasi kayu dapat menghasilkan gas dapat dibakar dalam mesin pembakaran dalam, dengan syarat dibersihkan dulu. Dalam rangka untuk mengakses unjuk kerja proses gasifikasi residu kayu, berbagai macam gasifier dibuat. Gasifier ini, dengan kapasitas sekitar 12 kg/h, mempunyai resirkulasi gas internal, baru untuk tipe gasifier ini yang dapat membakar bagian gas yang dihasilkan untuk menaikkan temperatur reaksi gasifikasi. Melalui beberapa parameter yang diukur dalam eksperimen, keseimbangan massa dan energi dari gasifier dipelajari dan ditentukan pula efisiensinya.

Ramirez dkk (2006) telah mengembangkan metodologi praktis desain fluidized bed gasifier untuk biomasa padi, dalam rangka memberikan nilai tambah energi sampah padat pertanian. Peralatan gasifier mempunyai ruang reaksi dengan diameter dalam 0,3 m dan tinggi 3 m, didesain berdasarkan informasi eksperimental dan teoretis yang tersedia dalam literatur dan pengalaman terdahulu kelompok riset. Suatu prosedur desain dikembangkan untuk tiap-tiap bagiannya sedemikian hingga menghasilkan daya 70 kW.

Suvarnakuta (2006) dengan bahan bakar biomasa padi. Disimpulkan bahwa tungku gasifikasi memiliki kualitas sama dengan tungku LPG, dengan efisiensi termal mencapai 21,86 %, bahkan memiliki keuntungan dalam hal biaya operasi yang rendah dan ramah lingkungan.

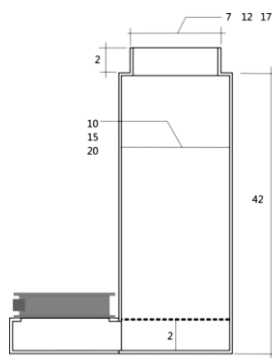
Pada proses gasifikasi, terjadi reaksi yang terjadi didalam gasifier dapat dirangkum sebagai berikut :

Oksidasi parsial	$C + 1/2CO_2 \leftrightarrow CO$	$dH = -268 \text{ Mj/kg mole}$
Oksidasi sempurna	$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$	$dH = -406 \text{ MJ/kg mole}$
Reaksi gas dan air	$C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$	$dH = +118 \text{ MJ/kg mole}$

Reaksi kalor dalam tiga proses tersebut menunjukkan bahwa energi terbesar yang dilepaskan berasal dari oksidasi sempurna dari karbon ke karbon dioksida yaitu pembakaran, sementara oksidasi parsial dari karbon ke karbon monoksida menerangkan hanya sekitar 65% dari pelepasan energi selama proses oksidasi sempurna. Tidak seperti pembakaran yang memproduksi hanya gas panas, karbon monoksida, hidrogen dan uap, tapi dapat mengalami reaksi lebih lanjut selama gasifikasi sebagai berikut :

Reaksi perubahan gas air	$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$	$dH = -42 \text{ MJ/ kg mole}$
Formasi metana	$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$	$dH = -88 \text{ Mj/kg mole}$

Tanda panah mengindikasikan bahwa reaksi tersebut seimbang dan dapat dimulai di tiap arah tergantung dari suhu, tekanan dan konsentrasi jenis reaksi. Hal itu mengikuti fakta bahwa gas produk dari gasifikasi terdiri dari campuran karbon monoksida, karbon dioksida, metana, hidrogen dan uap air.



**Gambar 1. Sketsa tungku gasifikasi Tipe *Down-draft* dan tungku gasifikasi model "Castle" dengan diameter berbeda**

Tiga kualitas gas produk dapat diproduksi dari gasifikasi bermacam-macam agen gasifikasi, metode operasi, dan proses kondisi pelaksanaan. Agen gasifikasi yang utama biasanya udara tapi uap/oksigen dan proses hidrogenasi juga dapat digunakan. Gasifikasi uap katalitik adalah bentuk lain pelaksanaan yang mempengaruhi baik performa dan efisiensi secara keseluruhan. Tiga tipe gas produk mempunyai Calorific Value (CV) yang berbeda :

CV rendah	4-6 MJ/Nm <sup>3</sup>	menggunakan udara dan uap/udara
CV medium	12-18 MJ/Nm <sup>3</sup>	menggunakan oksigen dan uap
CV tinggi	40 MJ/Nm <sup>3</sup>	menggunakan hidrogen dan hidrogenasi

Gas CV rendah digunakan secara langsung dalam pembakaran atau sebagai bahan bakar mesin, sementara gas CV medium/tinggi dapat dimanfaatkan sebagai cadangan untuk konversi berikutnya menjadi zat kimia dasar yaitu metana dan methanol.

Karena penggunaan oksigen untuk gasifikasi mahal, udara digunakan untuk memproses sampai kira-kira MWth. Kerugiannya adalah nitrogen yang digunakan dengan udara mencairkan gas produk, membuat gas dengan kandungan CV 4-6 MJ/Nm<sup>3</sup> (dibandingkan dengan gas alami pada 36 MJ/Nm<sup>3</sup>). Gasifikasi dari oksigen memberi gas kandungan CV 10-15 MJ/Nm<sup>3</sup> dan dengan uap 13-20 MJ/Nm<sup>3</sup>. hal ini dapat terlihat ketika sementara jarak kualitas gas produk dapat diproduksi, factor ekonomi menjadi pertimbangan utama. Tidak seperti reaksi dengan udara atau oksigen, reaksi karbon dengan uap (reaksi gas air) adalah endotermik, membutuhkan panas untuk ditransfer pada suhu sekitar 700° C yang sulit dicapai. Kecukupan diri gas dalam panas disebut auto-termal dan jika membutuhkan panas disebut allotermal. Proses autotermal merupakan proses yang lebih umum. Efisiensi keseluruhan dari konversi biomasa ke energi menggunakan gasifikasi dan pirolisis diperkirakan 75-80%.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Bahan

Penelitian menggunakan tungku model menara atau kastel dengan tipe *down draft*. Tungku dibuat dengan material plat besi dengan diameter 100 mm, 150 mm dan 200 mm serta diameter 500 mm. Umpan yang digunakan sekam padi dengan jumlah bervariasi.

### 2.2. Pengujian

#### 2.2.1 Prosedur Pengujian

*Water Boiling Test*, secara rinci pengujian dengan *Water Boiling Test* seperti dibawah ini,

1. Tungku dalam kondisi *ready for use*,
2. Biomasa umpan dalam kondisi kering dan telah dilakukan pengukuran nilai kalor dan analisis proximate,
3. Peralatan uji dalam kondisi ready for use,
4. Mengukur berat umpan yang akan dimuat reaktor dengan neraca digital dan dicatat,
5. Membakar umpan dan mencatat waktu starting time (waktu saat burner ditutupkan sampai gas keluar dari burner) dengan stop watch,
6. Menyalakan gas yang dipancarkan burner dan mencatat dengan stop watch waktu operasi tungku dari mulai menghasilkan gas mampu bakar sampai mulai tidak dihasilkan gas mampu bakar,
7. Panci dengan air didalamnya diukur dan dicatat beratnya dan diletakkan diatas burner,
8. Temperatur awal air diukur dan dicatat, demikian pula kenaikan temperatur per menit sampai mencapai titik didih hingga gas terbakar habis.
9. Setelah seluruh bahan bakar yang disuplai terbakar habis, air pada panci diukur dan dicatat beratnya,
10. Char yang dihasilkan reaktor diukur dan dicatat beratnya.
11. Kecepatan udara dijaga konstan sesuai kondisi yang diinginkan dengan mengamati *Anemometer*.

#### 2.2.2 Skenario Pengujian

Karena pengujian yang harus dilakukan banyak maka dibuat skenario atau urutan supaya runut,

1. Pengujian terhadap tinggi gasifier (tiga ukuran) dengan jumlah umpan bervariasi (1,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  dan  $\frac{1}{4}$  bagian tinggi gasifier)
2. Pengujian menggunakan sekam padi sebagai umpan
3. Pengujian menggunakan fan AC kecil sebagai pemberi udara primer (lebih ekonomis)



**Gambar 2. Water boiling test tungku gasifikasi**

### 3. PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian berupa data performa tungku dengan perlakuan perubahan diameter, sementara tinggi tungku dan bentuk tetap. Data tersebut ditabelkan seperti dibawah ini :

1. Diameter tungku 100 mm  
Pada diameter ini umpan tidak dapat terbakar semua, tersisa rata-rata  $\frac{1}{4}$  bagian tinggi tungku.
2. Diameter tungku 150 mm,  
Pada diameter ini umpan terbakar semua

**Tabel 2. Data Performa Gasifier diameter 150 mm, Tinggi 500 mm**

<i>Gasifier Performance</i>	Hasil pengolahan data pengujian			
Umpan sekam (0,78 kg)	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
<i>Stove efficiency (%)</i>	10,98	11,98	-0,21	-0,44
<i>Power input (kW)</i>	8,49	8,68	9,76	5,56
<i>Power output (kW)</i>	0,93	1,04	-0,02	-0,02

3. Diameter tungku 200 mm,  
Pada diameter ini umpan terbakar semua

**Tabel 3. Data Performa Gasifier diameter 200 mm, Tinggi 500 mm**

<i>Gasifier Performance</i>	Hasil pengolahan data pengujian			
Umpan sekam (1,20 kg)	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
<i>Stove efficiency (%)</i>	8,82	9,90	10,93	-3,79
<i>Power input (kW)</i>	10,35	10,72	8,83	9,38
<i>Power output (kW)</i>	0,91	1,06	0,97	-0,36

Pengujian terhadap diameter gasifier (tiga ukuran) dengan jumlah umpan bervariasi (1,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  dan  $\frac{1}{4}$  bagian tinggi gasifier), didapat kesimpulan bahwa performa tungku berbanding lurus dengan luas penampang gasifier. Didaerah penampang tungku yang berbentuk lingkaran tempat terjadinya penyalaan umpan dan gasifikasi sehingga semakin luas penampang maka semakin banyak jumlah umpan sehingga performa tungku semakin baik. Hasil lain dari penelitian ini adalah bahwa untuk umpan sekam padi dianjurkan menggunakan sekam padi dengan sedikit kulit ari padi, jumlah dan atau diameter lubang udara sekunder mempengaruhi ketinggian api gasifikasi. Semakin kecil ruang antara umpan dengan umpan maka semakin besar tekanan yang harus diberikan, kulit ari padi dan serpihan kecil kulit padi (dedak atau katul dalam bahasa jawa) akibat proses penggilingan yang tercampur dalam umpan sekam adalah penyebab semakin kecilnya ruang antar sekam padi. Ketika tekanan besar maka dibutuhkan udara primer dengan kecepatan lebih tinggi agar gasifikasi dapat terjadi.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil yang dicapai di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Performa tungku berbanding lurus dengan luas penampang gasifier.
2. Umpan sekam padi dianjurkan menggunakan sekam padi dengan sedikit kulit ari padi, jumlah dan atau diameter lubang udara sekunder mempengaruhi ketinggian api gasifikasi.

#### 5. REFERENSI

- Belonio, Alexis T., (2005), " Rice Husk Gas Stove Handbook ", Appropriate Technology Center, Central Philippine University, Philippine,.
- Higman, Christopher, and Burgt, Maarten Van Der, (2007), " Gasification ", Second Edition, Gulf Professional Publishing, Littlewood, Kenneth, " Gasification : Theory and Application ", Prog. Energy Combust. Sci., Vol. 3. Pp. 35-71, Pergamon Press, 1977.
- McKendry, P., " Energy Production from Biomass (part 1): Overview of Biomass ", Bioresource Technology 83(1), 37-46, 2002.
- McKendry, P., " Energy Production from Biomass (part 2): Conversion Technologies ", Bioresource Technology 83(2), 47-54, 2002.
- McKendry, P., " Energy Production from Biomass (part 3): Gasification Technologies ", Bioresource Technology 83(3), 55-63, 2002.
- Reed, T. B. and Larson, R., " A Wood-Gas Stove for Developing Countries", in Developments in Thermochemical Biomass Conversion, Ed. A. V. Bridgwater, Blackie Academic Press, 1996.
- Reed, T. B., Walt, R., Ellis, S., Das, A. and Deutch, S., " Superficial Velocity – the Key to Downdraft Gasification, in the 4<sup>th</sup> Biomass Conference of the Americas, Oakland, CA, Sept. 8, 1999.
- Suvarnakuta, Pitaksa, and Suwannakuta, Prapaporn, " Biomass Cooking Stove for Sustainable Energy and Environment ", in the 2<sup>nd</sup> Joint International Conference on " Sustainable Energy and Environment (SEE 2006) ", Bangkok, Thailand, Nov. 21-23, 2006.
- Suyitno, "Energi dari Biomasa: Potensi, Teknologi dan Strategi", Teknik Mesin UNS, Solo, Indonesia, 10 Maret 2009.