

# Pengujian Kinerja Dan Modifikasi Reaktor *Downdraft* Gasifikasi Biomassa 100 kW

Muhammad Ridwan<sup>1</sup>, Indradjaja<sup>2</sup>, Noviyanti Nugraha<sup>1</sup> dan Irfan Taufik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Teknologi Nasional Bandung, Jl. P.H.H. Mustofa No.23, Bandung, Indonesia

<sup>2</sup>PT. Medina Engineering, Jl. Raya Narogong Km 15, Pangkalan 7, Bekasi, Indonesia  
Email: <sup>1</sup>muhrid@gmail.com, <sup>2</sup>noviyanti.nugraha.itenas@gmail.com

## ABSTRAK

Gasifikasi adalah suatu proses konversi senyawa yang mengandung karbon untuk mengubah material baik cair maupun padat menjadi bahan bakar gas mampu bakar melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas. Reaktor tempat terjadinya proses gasifikasi disebut gasifier. Gas hasil dari proses gasifikasi disebut syngas. Pada penelitian sebelumnya telah dirancang reaktor gasifikasi dengan menggunakan kotoran sapi sebagai bahan bakar proses gasifikasi. Tipe reaktor yang digunakan adalah tipe downdraft. Tujuan dari penelitian ini adalah menguji performa mesin, menganalisa hasil pengujian dan memodifikasi rancangan reaktor gasifikasi downdraft kapasitas 100 kW. Dari pengujian pertama, diperoleh hasil pengujian yaitu temperatur di dalam ruang pembakaran kurang dari 500°C serta masih terdapat kebocoran pada komponen reaktor. Maka di perlukan modifikasi agar temperature yang ditargetkan yaitu diatas 500°C tercapai dan memperbaiki kekurangan lainnya. Modifikasi yang dilakukan meliputi bagian atas yaitu hopper, pemasangan instalasi pipa 2 in, serta pembuatan kembali saringan ash grate. Setelah melakukan modifikasi, dilakukan pengujian kembali, Hasil pengujian setelah dimodifikasi diperoleh temperatur antara 550°C – 600°C.

**Kata kunci :** reaktor, downdraft, gasifikasi, kotoran sapi, pengujian

## ABSTRACT

Gasification is a process of converting carbonaceous compounds to convert both liquid and solid materials into fuel gas capable of burning through a combustion process with limited air supply. The reactor where the gasification process occurs is called a gasifier. The resultant gas from the gasification process is called syngas. Previous studies have designed gasification reactors using cow dung as a fuel for gasification processes. The type of reactor used is the downdraft type. The purpose of this study is to test the performance of the engine, analyze the test results and modify the down draft gasification reactor design capacity of 100 kW. From the first test, obtained the test results that the temperature in the combustion chamber is less than 500°C and there is still leakage in the reactor component. So in need of modifications to the targeted temperature that is above 500°C achieved and fix other deficiencies. Modifications made include the top of the hopper, installation of 2-in pipe installation, as well as re-making ash grate filter. After modification, re-testing, the test results after modified temperature obtained between 550 oC - 600oC.

**Keywords:** reactor, downdraft, gasification, cow dung, test.

## 1. PENDAHULUAN

Gasifikasi adalah suatu proses konversi senyawa yang mengandung karbon untuk mengubah material baik cair maupun padat menjadi bahan bakar gas mampu bakar ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ ) 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 800°C hingga 1400°C. Gas hasil dari proses gasifikasi disebut *syngas*.

Komposisi *syngas* bervariasi tergantung dengan bahan baku biomassa, namun rata-rata dapat menghasilkan *syngas* dengan kadar  $\text{H}_2$  sebesar 18-20%,  $\text{CO}$  sebesar 18-20%,  $\text{CH}_4$  sebesar 2-3%,  $\text{CO}_2$  sebesar 12%,  $\text{H}_2\text{O}$  sebesar 2.5% dan sisanya  $\text{N}_2$ , dengan nilai kalor gas sekitar 4.7 – 5 MJ/m<sup>3</sup> [1]

Pembakaran bahan bakar gas (*syngas*) lebih mudah dalam pengontrolan laju atau suhu 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% [2].

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 prosentase *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 [2].

Karena udara adalah agen *gasifying*, suhu reaktor tergantung pada laju aliran udara dan laju umpan biomassa. Semakin rendah udara masuk ke hasil sistem sangat rendah suhunya sehingga gas yang dihasilkan lebih rendah, dan hasil tar yang lebih tinggi [3].

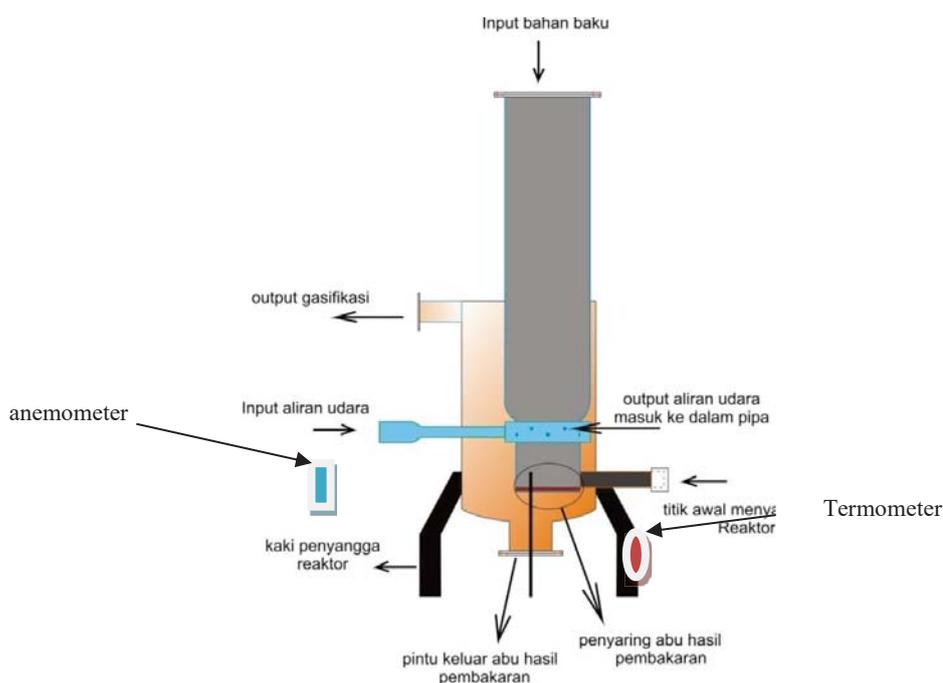
Gasifikasi yang selama ini sering dikenal adalah gasifikasi dengan umpan batubara dan limbah pertanian, akan tetapi gasifikasi dengan umpan limbah peternakan khususnya biomassa kotoran sapi masih jarang dilakukan, padahal kotoran sapi memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan sebagai bahan bakar gasifikasi.

Pada penelitian sebelumnya telah dirancang reaktor gasifikasi dengan menggunakan kotoran sapi sebagai bahan bakar proses gasifikasi. Komposisi kotoran sapi yang digunakan diambil dari ultimate analysis. 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% [4].

Tipe reaktor yang digunakan adalah tipe downdraft. Pada tipe ini sumber panas terletak di bawah bahan bakar, aliran udara bergerak ke zona gasifikasi di bagian 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].

Reaktor yang telah dirancang sebelumnya, diperlihatkan pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Reaktor downdraft kapasitas 100 kW

Komponen-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* biasanya 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 oksigen 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<sup>0</sup> 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.

*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.

Tujuan dari penelitian ini adalah menguji performa mesin dan memodifikasi rancangan reaktor gasifikasi *downdraft*

## 2. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian yaitu: tahap pertama adalah menguji kinerja dari reaktor *downdraft* gasifikasi biomassa 100 kW. Tahap kedua adalah menganalisa hasil pengujian. Tahap ketiga melakukan modifikasi pada reaktor.

### 2.1 Parameter pengujian

Parameter-parameter penting yang harus dipertimbangkan dalam proses gasifikasi yaitu temperatur dan debit. Temperatur di ruang pembakaran gasifikasi harus lebih dari 500°C karena dalam tahap pertama gasifikasi adalah pengeringan untuk menguapkan kandungan air agar menghasilkan gas yang bersih. Temperatur yang lebih dari 500°C juga dapat berpengaruh dalam menghasilkan gas yang mudah terbakar. Untuk mempertahankan temperatur, maka tangki reaktor diisolasi dengan pita asbes dan alumunium foil agar tidak ada panas yang keluar ke lingkungan sehingga efisiensi reaktor menjadi baik [6].

Bila temperatur gasifikasi sudah lebih dari 500°C maka akan menghasilkan komposisi kimia yang mampu bakar yaitu :

$$H_2 = 20\% \pm 2\%$$

$$CO = 19\% \pm 1\%$$

$$CH_4 = 1,5\% \pm 0,5\%$$

$$CO_2 = 12\% \pm 1\%$$

### 2.1. Prosedur Pengujian

#### 2.1.1. Prosedur sebelum pengujian

Memasukkan bahan bakar berupa kotoran sapi yang sudah dikeringkan dengan berat 2 kg. Memasang alat uji anemometer pada input udara dari blower. Memasang *thermometer* pada ruang pembakaran (*Combustion Zone*)

#### 2.1.2. Prosedur Pengujian Performa Mesin

Prosedur pengujian yang dilakukan untuk mengetahui performa mesin adalah:

1. Melakukan penyalaan awal yang menggunakan *burner* pada *combustion zone*.
2. Menyalakan blower untuk meng sirkulasi udara yang masuk pada reaktor.
3. Memutarakan screw untuk menurunkan bahan bakar biomassa ke dalam *combustion zone*.
4. Apabila asap yang keluar dari output syngas tidak berwarna maka bisa dilakukan proses penyalaan.
5. Apabila api yang keluar sudah kontinu maka bisa dilakukan pengujian performa mesin, dengan melakukan 3 tahap pengujian:
  - a. Tutup full pada *blower* dengan hasil dari anemometer dan *thermometer* pada ruang pembakaran.
  - b. Buka setengah pada *blower* dengan hasil dari anemometer dan hasil *thermometer* pada ruang pembakaran.
  - c. Buka full pada *blower* dengan hasil dari *anemometer* dan hasil *thermometer* pada ruang pembakaran.

### 2.2. Analisa Hasil Pengujian

Analisa dari hasil pengujian pertama reaktor *downdraft* gasifikasi biomassa yaitu:

1. Temperatur di pembakaran tidak sampai tidak sesuai dengan syarat proses terjadinya syngas (*synthetic gas*) yaitu 500°C. Hasil dari pengujian pertama yaitu sebelum dimodifikasi, diperlihatkan pada tabel 1 dibawah ini.

**Tabel 1. Hasil pengujian 1 sebelum dilakukan modifikasi**

Bukaan Blower	Aliran Udara V (m/s)	Temperatur T (°C)	Debit Q ( $\frac{l}{m}$ )
Tutup Full	5,5	430	666
Bukaan Setengah	5,8	450	702
Bukaan Full	6,5	470	787,8

2. Pada saat melakukan pengujian masih terdapat kebocoran pada reaktor yang mengakibatkan tidak maksimumnya keluaran udara pada output.
3. Sisa pembakaran yang berada di atas dan menghasilkan tar yang bergerak ke atas. Gambar 2 memperlihatkan tar yang keluar dari hopper.



**Gambar 2. Tar yang keluar pada hopper**

Gambar 3 memperlihatkan syngas yang keluar pada hopper yang bergerak ke atas.



**Gambar 3. Syngas yang keluar pada hopper**

4. Bahan baku yang masuk pada ruang pembakaran *Combustion Zone* tidak kontinu karena masih terdapat bahan baku tidak turun ke ruang pembakaran, hal tersebut diperlihatkan pada gambar 4.



**Gambar 4. Bahan baku yang tidak turun ke ruang pembakaran**

5. Saringan untuk pembakaran sisa yang tidak bekerja dengan baik dimana masih adanya pembakaran sisa terdapat di ruang pembakaran dan tidak turun ke ruangan *ashfit*.

Dari hasil analisa di atas penulis mendapatkan kesimpulan bahwa performa dari mesin tersebut tidak bekerja dengan baik, maka harus ada tindak lanjut, dengan memodifikasi reaktor.

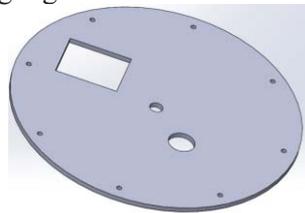
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Modifikasi Reaktor

Modifikasi yang dilakukan meliputi:

1. Tutup flens

Tutup *flens* pada *hopper* dimodifikasi karena untuk memudahkan pada saat memasukan bahan bakar secara kontinu dan dilubangi sebesar 2 in untuk memanfaatkan sisa pembakaran yang ada diatas *hopper*. Bahan yang digunakan adalah ST-40. Gambar 5 menunjukkan tutup flens.



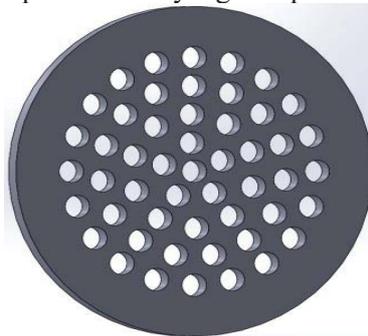
Gambar 5. Tutup *Flens Hopper* Yang Dimodifikasi

2. Penambahan pipa-pipa untuk saluran sisa pembakaran

Penambahan 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*. Penambahan belokan 2 in yang digunakan sebanyak 2 buah, 1 buah dipasangkan diatas tutup *flens hopper* dan yang lain dismbungkan pada sambungan pipa 582 mm dan pipa 720 mm. Sambungan T digunakan untuk mebagi aliran dari atas *hopper* dan dari *output syngas*. Penambahan pipa pipa ini juga dimaksudkan untuk mengatasi adanya *syngas* ke atas.

3. Perubahan saringan *ash grate* (Gambar 6)

Saringan *ash grate* diganti dengan memperbanyak lubang saringan karena agar memudahkan pada saat penyaringan bekas pembakaran yang berupa abu ke dalam *ash grate*

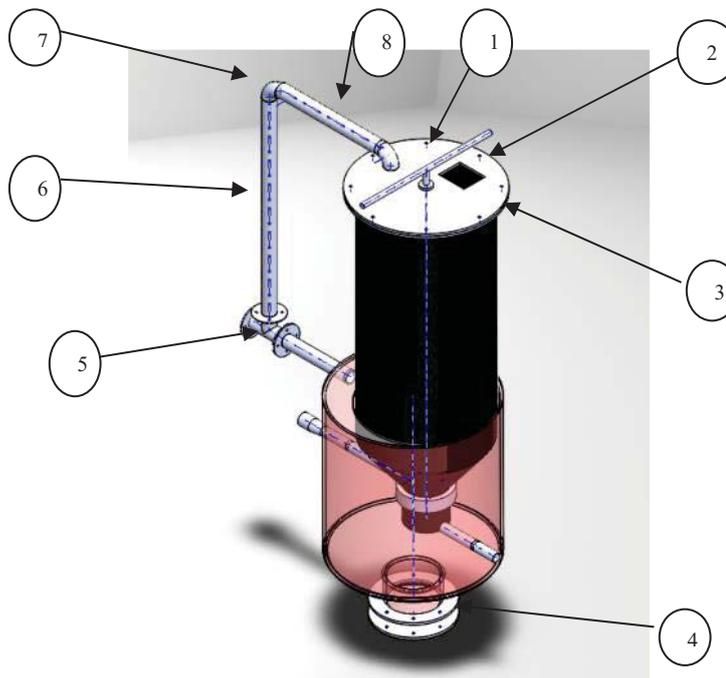


Gambar 6. Saringan *ash grate*

4. Tiang *Paddle*

Penambahan Tiang yang digunakan untuk memasangkan *screw* pendorong bahan bakar ke ruang pembakaran.

Setelah dilakukan rancangan tiap komponen yang berupa gambar, hasil modifikasi tersebut dilakukan penggabungan dengan reaktor yang sudah dibuat sebelum seperti gambar 7.



Gambar 7. Reaktor yang telah dimodifikasi

Penjelasan dari hasil gambar 8 atau hasil modifikasi reaktor adalah sebagai

1. Tiang *Paddle*.
2. Lubang untuk memasukan bahan baku.
3. Tutup yang di modifikasi.
4. Saringan *ash grate*.
5. Sambungan pipa T.
6. Pipa panjang 720 mm.
7. Belokan 2 in.
8. Pipa panjang 582 mm.

### 3.2. Pengujian Reaktor yang telah dimodifikasi

Setelah memodifikasi beberapa komponen, kemudian dilakukan pengujian kembali. pengujian dilakukan dengan cara yang sama seperti pengujian pada reaktor *downdraft* sebelum dimodifikasi. Hasil pengujian reaktor *downdraft* yang telah dimodifikasi diperlihatkan pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil pengujian 2. reaktor downdraft yang telah dimodifikasi

Bukaan Blower	Aliran Udara V (m/s)	Temperatur T (°C)	Debit Q ( $\frac{l}{m}$ )
Tutup full blower	6.6	550	0.799
Bukaan setengan blower	8.9	570	1.079
Buka full blower	10	600	1.212

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah:

1. Komponen-komponen yang dimodifikasi adalah:
  - a. Pembuatan lubang pada tutup flens berukuran 55 cm dan penutupnya berukuran 15 cm×10 cm dengan bahan ST-40.
  - b. Pembuatan lubang 2 in pada flens.
  - c. Pemasangan belokan 2 in pada lubang diatas flens, tujuannya untuk mengatasi sisa bahan bakar yang bergerak keatas.
  - d. Pemasangan pipa dengan 2 ukuran yang berbeda. Tujuan pemasangan pipa untuk melanjutkan aliran asap sisa pembakaran dari hopper yang dilanjutkan ke output syngas (synthetic gas) dengan bahan galvanis.
  - e. Pemasangan sambungan T 2 in, bertujuan untuk menyambungkan pipa dengan output syngas (synthetic gas).
  - f. Pembuatan kembali saringan ash grate dengan dimensi lubang 12 mm
2. Temperatur di ruang pembakaran sesuai dengan syarat proses terjadinya syngas yaitu diatas 500°C.
3. Temperatur gasifikasi yaitu 550°C - 600°C
4. Performa reaktor sesudah dimodifikasi, menjadi lebih baik

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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. Preceding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (SNTTM XV).
- [2] Anis,Samsudin, Karnowo, Wahyudi, Sri Mulyo Bondan Respati. 2010. Studi
- [3] Sadaka, Samy. 2006. Gasification. Nevada: Department of Agricultural and Biosystem Engineering Iowa State University
- [4] Demirbas, Ayhan. 2004. Biomass Feedstocks. Turkey: University Mah. Tersedia di: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c17/e6-58-06-16.pdf>, diakses April 2016.
- [5] Susanto, H. 2005. "Pengujian PLTD-Gasifikasi Sekam 100 kW di Haurgeulis, Indramayu". Laporan singkat Pengoperasian PLTD-G sekam di Haurgeulis selama bulan September 2005, Dasar-dasar Proses Gasifikasi dan Pengalaman Teknik Kimia ITB dalam pengoperasian PLTD-Gasifikasi Sekam.
- [6] Das, A. dan Reed, T. B. 1988. Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System. Colorado: Solar Energy Research Institute