

# PENGEMBANGAN GASIFIER UNTUK GASIFIKASI LIMBAH PADAT PATI AREN (*Arenga Pinnata* Wurmb)

Development of Gasifier for Sugar Palm Powder Solid Waste Gasification

Bambang Purwantana<sup>1</sup>

## ABSTRAK

Pada proses pembuatan pati aren dihasilkan limbah berupa serat dan ampas dengan jumlah yang besar. Selama ini limbah tersebut belum dimanfaatkan secara optimal. Melalui penelitian ini dikembangkan suatu proses gasifikasi limbah padat pati aren untuk membuat bahan bakar berupa gas. Tujuan penelitian adalah mengembangkan gasifier tipe aliran ke bawah (downdraft gasifier) dengan titik berat pada perancangan ruang pirolisa, pembakaran dan reduksi gas. Kinerja gasifikasi diamati berdasarkan karakteristik distribusi suhu, komposisi gas, kapasitas produksi, dan panas yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah padat pati aren potensial untuk digunakan sebagai bahan baku gasifikasi. Sudut kemiringan hopper ruang pirolisa lebih besar dari 70° diperlukan untuk efektifitas aliran proses pembakaran dan reduksi. Berdasar hasil percobaan, proses gasifikasi terbaik diperoleh pada dimensi ruang pembakaran berdiameter 180 mm, dan tinggi ruang reduksi 200 mm pada debit udara 11 m<sup>3</sup>/jam. Pada kondisi disain dan operasional tersebut diperoleh karakteristik gasifikasi sebagai berikut: (1) suhu rerata ruang gasifikasi 172°C, ruang pembakaran 353°C, ruang pirolisis 135°C, (2) komposisi gas H<sub>2</sub> 7,4%, CO 18,1%, CH<sub>4</sub> 1,5%, O<sub>2</sub> 2,7%, CO<sub>2</sub> 6,8% dan N<sub>2</sub> 58,0%, (3) produksi gas 18 m<sup>3</sup>/jam, (4) panas 2 MJ/kg bahan.

**Kata kunci:** gasifikasi, limbah padat pati aren, suhu, kalor

## ABSTRACT

Sugar palm powder is a raw material for various food products. Solid wastes produced during the powder processing have not yet been utilized properly. Gasification of the wastes by converting them into gaseous fuel could be an alternative to solve the waste problem. The objective of this research was to develop downdraft gasifier suitable for solid waste of sugar palm powder. The performance of the gasifier was determined by its temperature distribution, gas composition, gas production, and heat. The result showed that solid waste of sugar palm powder are potential to be used as gasification fuel. The gasification process was optimum at gasifier having greater than 70° tilt angle of pyrolysis chamber; 180 mm diameter of combustion chamber; and 200 mm height of reduction chamber; and using air flow rate of 11 m<sup>3</sup>/h. The performance of the gasification were: (1) average temperature in gasification chamber, combustion chamber, and pyrolysis chamber were 172°C, 353°C, and 135°C, respectively; (2) gas composition of H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, and N<sub>2</sub> were 7,4%, 18,1%, 1,5%, 2,7%, 6,8%, and 58,0%, respectively; (3) gas production was 18 m<sup>3</sup>/hour; and (4) heat was 2 MJ/kg.

**Keywords:** gasification, solid waste of sugar palm powder, temperature, heat

## PENDAHULUAN

Di Indonesia ratusan juta ton limbah pertanian seperti jerami, kulit padi, seresah tebu, dan lain-lain dihasilkan setiap tahunnya. Sebagian besar limbah tersebut belum dimanfaatkan atau lebih banyak yang hanya dibakar di lahan. Sebagai bahan bakar padat, limbah pertanian dan biomasa lainnya dapat

secara efektif dioptimalkan dengan cara mengkonversinya menjadi bahan bakar gas melalui sebuah reaktor. Suatu penelitian penunjukkan bahwa bahan bakar gas dari bahan biomassa mengandung nilai kalori yang sangat tinggi yaitu 3,5 – 5,5 MJ Nm<sup>3</sup>, yang terdiri atas karbon monoksida (25% v/v) dan hidrogen (15-20% v/v). Gas ini dapat dibakar melalui suatu burner dan menghasilkan suhu mencapai lebih dari

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Jl. Sosio Yustisia, Yogyakarta, 55281.

1000°C yang dapat digunakan untuk aplikasi pemanasan pada industri (Rajeev dan Rajvanshi, 1997).

Pati aren merupakan bahan baku dari berbagai produk makanan. Pati aren dibuat melalui proses: pemotongan dan pembelahan batang, pamarutan, perendaman, penyaringan, dan pengendapan. Pada proses penyaringan dihasilkan limbah padat berupa serat dan ampas dengan jumlah yang cukup besar. Selama ini limbah tersebut hanya dibuang dan dibiarkan menumpuk di tempat-tempat seperti di lahan kosong atau di pinggir sungai. Konversi limbah pati aren kedalam bentuk bahan bakar gas merupakan salah satu pilihan cerdas karena disamping merupakan bentuk energi yang dapat disimpan, bahan bakar gas juga merupakan bahan bakar yang bersih. Teknologi pembuatan bahan bakar gas juga relatif sepadan sehingga dapat dikembangkan oleh masyarakat.

Gasifier merupakan instrumen yang dapat mengkonversi berbagai bahan padat maupun cair seperti misalnya biomassa menjadi bahan bakar gas. Gasifier merupakan reaktor dimana berbagai proses kimia dan fisika yang kompleks dapat terjadi, seperti: pengeringan, pemanasan, pirolisis, oksidasi parsial, dan reduksi. Melalui gasifikasi, bahan padat karbonat dipecah menjadi bahan-bahan dasar seperti CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan CH<sub>4</sub>. Gas-gas yang dihasilkan selanjutnya dapat digunakan secara langsung untuk proses pembakaran maupun disimpan dalam tabung gas.

Bahan bakar gas yang dihasilkan dalam proses gasifikasi terutama merupakan hasil dari proses pirolisa dan pembakaran. Dengan demikian efektifitas gasifier akan sangat ditentukan oleh rancangbangun bagian atau zona pirolisis dan pembakaran tersebut. Rancangbangun suatu gasifier sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan. Gasifier dengan bahan bakar kulit gabah (Hoki dkk., 2002) misalnya mempunyai rancangbangun yang berbeda dengan gasifier berbahan bakar seresah tebu (Rajeev dan Rajvanshi, 1997).

Penelitian-penelitian terdahulu tentang gasifier dilakukan pada bahan-bahan seperti sekam, serbuk gergaji, seresah dan daun tebu. Belum ada informasi tersedia untuk pengembangan gasifier dengan bahan limbah padat pati aren. Dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, tingkat teknologi dan kemungkinan penerapannya, melalui penelitian ini dikembangkan suatu gasifier dengan bahan bakar limbah padat pati aren untuk membuat bahan bakar berupa gas. Tujuan utama penelitian adalah mengembangkan gasifier tipe aliran ke bawah dengan penekanan pada rancangbangun ruang pirolisis, pembakaran dan reduksi untuk menghasilkan gas yang paling optimal. Tujuan kedua adalah mengkaji pengaruh perlakuan debit udara pada kinerja gasifier. Pengamatan ditekankan pada stabilitas sistem gasifikasi termasuk didalamnya komposisi gas, produktifitas, suhu, dan kalor yang dihasilkan. Disamping dalam kerangka pengembangan sumber energi terbarukan, penelitian ini diharapkan juga dapat membantu

mengatasi sebagian permasalahan limbah yang dihasilkan di industri pati aren.

**Pati Aren**

Aren (*Arenga Pinnata Wurmb*) merupakan tumbuhan berbiji tertutup dimana biji buahnya terbungkus daging buah. Tanaman aren mirip dengan pohon kelapa, perbedaannya jika pohon kelapa itu batangnya tanpa ijuk sedangkan pohon aren terbalut oleh ijuk berwarna hitam (Sunanto, 1993). Bagian utama pohon aren yang banyak dimanfaatkan antara lain buah untuk makanan, ijuk untuk bahan atap dan peralatan rumah tangga, dan batang untuk diambil patinya.

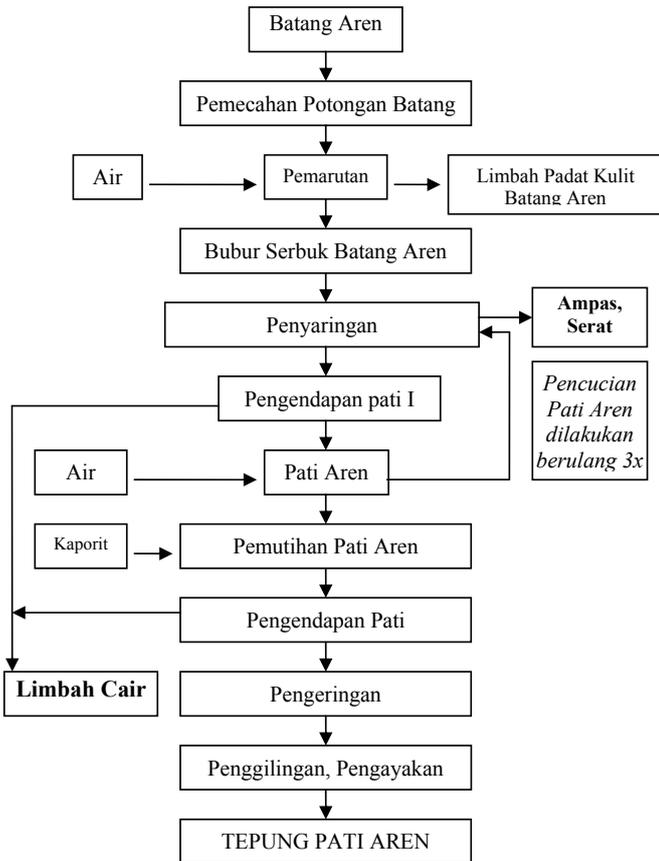
Pati aren dapat digunakan untuk pembuatan aneka produk makanan seperti soun, cendol, bakmi, dan hun kwe. Proses pembuatan pati aren secara gars besar dapat dibagi menjadi tiga yaitu proses pengambilan serat, ekstraksi, dan pemurnian. Urutan prosesnya meliputi: 1) batang aren dipotong, 2) potongan batang dibelah memanjang menjadi 4 atau 6 bagian, 3) belahan potongan batang diparut di bagian isinya, 4) serat hasil parutan diambil kemudian direndam, 5) rendaman serat diaduk dan diendapkan untuk diambil ekstraknya, 6) proses ekstraksi melalui penyaringan dilakukan 3 – 7 kali, 7) endapan pati ditambah kaporit untuk menghasilkan warna pati yang putih. Proses tersebut secara sederhana dapat dirangkum seperti pada Gambar 1 (Firdayati dan Handayani, 2005).

Dari diagram proses tersebut terlihat bahwa limbah padat berupa ampas dan serat dihasilkan pada proses penyaringan dan pengendapan. Volume limbah yang dihasilkan sangat besar dibanding dengan volume patinya. Karena merupakan bagian dari bahan penghasil tepung karbohidrat limbah padat pati aren ini sangat kaya unsur karbon. Berdasar hasil penelitian Firdayati dan Handayani (2005) dapat diketahui

**TABEL 1. KARAKTERISTIK BAHAN LIMBAH PADAT PATI AREN**

Parameter	Satuan	Parutan batang	Pati aren	Limbah padat
C-Organik	% Bahan Kering (BK)	80,17	76,53	69,59
NTK	% BK	2,69	0,85	0,74
Organik Nitrogen	% BK	2,13	0,80	0,70
Kadar Air	% BB	41,59	87,50	71,72
Total Phosfat	mg/kg BK	1450,19	1339,83	1464,46
Kalium	mg/kg BK	2280,85	4026,12	2206,96
Amoniak	mg/kg BK	0,56	0,05	0,04
Magnesium	mg/kg BK	953,35	638,97	635,85
Besi (Fe)	mg/kg BK	404,78	2061,41	652,23
Seng (Zn)	mg/kg BK	28,19	7,11	106,06
Tembaga (Cu)	mg/kg BK	<0,001	8,47	5,82
Fosfor	mg/kg BK	482,91	446,16	487,67
Mangan (Mn)	mg/kg BK	16,63	51,59	41,86

bahwa kandungan C-Organik limbah padat pati aren adalah lebih dari 70% (Tabel 1). Dengan demikian limbah padat pati aren sangat potensial sebagai bahan bakar gasifikasi untuk diproses menjadi bahan bakar gas. Bahan bakar yang dihasilkan selanjutnya akan dapat digunakan misalnya dalam proses pembuatan soun maupun untuk proses-proses pemanasan pada industri pengolahan lainnya.



Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan pati aren

**Gasifikasi Biomasa**

Gasifikasi merupakan proses konversi bahan bakar padat atau cair menjadi bahan bakar gas tanpa menghasilkan limbah atau residu karbon padat. Gasifikasi merupakan salah satu bentuk konversi yang sangat penting karena dapat secara efektif dimanfaatkan untuk desentralisasi pembangkit daya dan penerapan pemanfaatan panas. Gasifikasi juga merupakan teknologi konversi energi yang dapat digunakan untuk berbagai macam bahan bakar biomassa.

Biomassa secara umum mengandung karbon, hidrogen dan oksigen bersama-sama dengan kadar air. Pada kondisi yang terkontrol, yaitu pada kondisi oksigen yang rendah dan suhu yang tinggi, bahan biomassa dapat dikonversi dalam bentuk gas atau biasa disebut gas produksi yang mengandung karbon monoksida, hidrogen, karbon dioksida,

methan, dan nitrogen. Bridgewater (2003), menyatakan bahwa bahan bakar gas dapat diperoleh melalui suatu proses panas menggunakan oksidasi parsial, uap air (*steam*), atau gasifikasi pirolistik (*pyrolytic gasification*). Konversi thermo-khemis biomassa padat menjadi bahan bakar gas ini secara umum disebut gasifikasi biomassa. McKendry (2002a) menyimpulkan bahwa gasifikasi biomassa merupakan proses pengkonversian biomassa menjadi bahan bakar berbentuk gas karena adanya proses oksidasi parsial (sedikit oksigen) dari biomassa tersebut pada suhu tinggi antara 800-900°C. Gas yang dihasilkan antara lain terdiri dari unsur-unsur hidrogen, karbon monoksida, methan, karbon dioksida, uap air, senyawa hidrokarbon lain dalam jumlah yang kecil, serta bahan-bahan non-organik (Lim dan Sims, 2003). Gas yang dihasilkan mempunyai nilai kalori yang rendah (1000-1200 kCal/Nm<sup>3</sup>) tetapi dapat dibakar dengan efisiensi yang tinggi dan tidak menghasilkan emisi asap. Setiap kilogram biomassa kering-udara (kadar air ± 10%) mengandung sekitar 2,5 Nm<sup>3</sup> bahan bakar gas. Dalam terminologi energi, efisiensi konversi pada proses gasifikasi biomassa berkisar antara 60 – 70% (McKendry, 2002b).

Gasifier merupakan perangkat atau instrumen untuk terjadinya suatu proses gasifikasi. Beberapa jenis gasifier yang berkembang antara lain gasifier alas tetap (*fixed bed*) dengan sistem aliran ke atas (*updraft*) dan aliran ke bawah (*downdraft*), gasifier dengan pelumasan (*fluidized bed*) dengan sistem gelembung (*bubbling*) dan sirkulasi (*circulating*), dan gasifier aliran berjalan (*entrained flow*). *Fluidized bed* dan *entrained flow gasifier* lebih sesuai dan dipakai untuk pembangkit energi atau industri skala besar, sehingga dalam proposal ini hanya dibahas jenis *fixed bed gasifier* atau gasifier dengan alas tetap.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan gasifier aliran ke atas. (*updraft gasifier*) Studi tentang kesetimbangan massa pada *updraft gasifier* untuk serbuk gergaji telah dilakukan oleh Payne dan Chandra (1985). Payne dkk., (1985) juga melakukan uji terhadap tiga ukuran serbuk gergaji untuk menentukan pengaruh ukuran serbuk pada efisiensi sistem. Dunlap dan Payne (1988) melakukan studi penerapan kontrol dengan mikro-komputer. Studi terhadap gasifikasi biomassa juga dilakukan oleh Hoki dkk., 1992. Mereka juga meneliti aspek kestimbangan panas dan efisiensi gasifikasi (Hoki dkk., 1994), serta stabilitas laju produksi gas (Hoki dkk., 1995). Studi tentang kontrol suhu pada gasifier juga telah dilakukan dengan perlakuan kontrol aliran bahan baku (Hoki dkk., 2002).

Gasifier aliran ke bawah (*downdraft gasifier*) merupakan jenis gasifier yang banyak dikembangkan dan digunakan khususnya di negara-negara berkembang. Di India misalnya, Rajeev dan Rajvanshi (1997) mengembangkan gasifier dengan bahan bakar seresah dan daun tebu untuk penerapan

pemanasan pada industri. Dari penelitian ini dilaporkan bahwa gasifier mencapai nilai ekomisnya pada kapasitas 1080 MJ per jam. Studi tentang penggunaan bahan keramik untuk gasifier biomassa juga telah dilakukan oleh Sasidharan dkk., (1995). Dilaporkan bahwa selain menghemat biaya konstruksi, umur pakai gasifier keramik ini relatif panjang meskipun efisiensi produksi gasnya rendah. Penggunaan gasifier yang digabungkan dengan mesin gas diteliti oleh Barrio dkk., 2004. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk bisa digabungkan dengan gasifier diperlukan beberapa modifikasi pada mesin karena gabungan gas hasil gasifikasi dan hasil karburasi berdampak pada konsentrasi campuran yang mempengaruhi perbandingan kompresi dan penyalaaan.

Stassen (1995) menyatakan bahwa di negara-negara berkembang, prospek pengembangan gasifier biomassa masih terkendala oleh lebih murah dan mudahnya sumber bahan bakar biomassa dan bahkan minyak, serta biaya awal yang relatif besar, serta belum dijadikannya faktor kelestarian lingkungan dalam seluruh aspek kehidupan. Meskipun demikian dalam jangka panjang, khususnya dengan semakin mahal dan langkanya minyak, dan dengan semakin meningkatnya taraf hidup masyarakat, gasifikasi merupakan salah satu alternatif yang perlu terus dikembangkan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Energi dan Mesin Pertanian Jurusan Teknik Pertanian Universitas Gadjah Mada. Bahan utama berupa limbah padat pati aren diperoleh dari perajin pati aren di Jatinom, Klaten. Pelaksanaan penelitian secara garis besar dibagi dalam beberapa tahap yaitu: studi pendahuluan, perancangan, pembuatan, uji fungsional, modifikasi dan pengujian kinerja gasifikasi.

Studi pendahuluan dilakukan untuk melihat potensi limbah yang tersedia, sifat fisik limbah dan informasi lain yang mendukung proses pengembangan gasifier. Informasi yang diperoleh melalui studi pendahuluan digunakan sebagai bahan dalam melakukan perancangan khususnya yang berkaitan dengan kapasitas atau dimensi gasifier. Berdasarkan gambar rancangan, dibuat konstruksi gasifier. Sebelum dilakukan pengujian, dilakukan uji fungsional terhadap alat untuk melihat apakah alat dapat berjalan atau bekerja sesuai rancangan. Apabila dalam uji fungsional didapati hal-hal yang perlu disempurnakan, maka dilakukan modifikasi terhadap rancangan dan konstruksi alat.

Pengujian kinerja gasifikasi dilakukan terhadap parameter komposisi gas, suhu di masing-masing zona, waktu efektif produksi gas, kalor gas, dan karakteristik bahan sisa gasifikasi. Dalam sekali proses gasifikasi dimasukkan 3 kg bahan limbah padat pati aren. Pengujian dilakukan pada

variasi debit udara masukan yang berbeda. Debit udara diatur melalui sebuah stop-kran dan sebuah manometer.

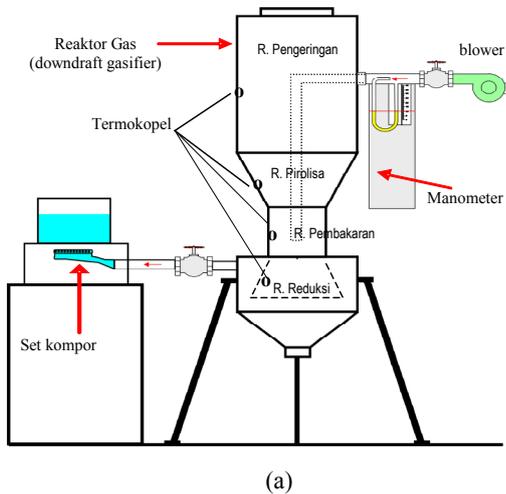
Komposisi gas diukur menggunakan gas tester pada sejumlah contoh gas hasil gasifikasi. Gas yang diamati adalah CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>. Setiap perlakuan pengujian diambil tiga contoh pengukuran. Pengamatan karakteristik suhu diukur menggunakan termokopel yang dipasang pada zona-zona pengeringan, pirolisis, pembakaran dan reduksi. Sinyal suhu dari termokopel direkam melalui data logger untuk setiap interval 15 detik. Waktu efektif gasifikasi diukur mulai saat gas dapat dibakar sampai gas tidak dapat menyala lagi. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan stopwatch.

Kalor yang dihasilkan diukur melalui metode perbedaan suhu pada pemanasan sejumlah masa air. Suhu air yang dipanaskan dideteksi menggunakan termokopel dan direkam ke dalam data logger. Kalor yang dikandung gas tersebut dapat dihitung berdasarkan :  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ , dimana  $Q$  = kalor (Joule),  $m$  = massa air (kg),  $c$  = kalor jenis air (Joule/kg°C) dan  $\Delta T$  = kenaikan suhu air (°C).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Prototipe Gasifier

Gambar 2 memperlihatkan prototipe gasifier limbah padat pati aren yang dikembangkan. Ruang pengeringan terdiri atas sebuah tabung dengan diameter 360 mm, tinggi 400 mm, dan dilengkapi dengan inlet berdiameter 200 mm pada bagian ujung atasnya. Ruang pirolisa terbuat dari sebuah kerucut terpancung dengan sudut 70°, dengan diameter atas 360 mm dan diameter bawah 180 mm serta tinggi 250 mm. Ruang pembakaran terbuat dari sebuah tabung diameter 180 mm tinggi 120 mm. Pada bagian tengah ruang pembakaran dimasukkan pipa udara diameter 2 inchi dengan 12 lubang masing-masing berdiameter 8 mm di bagian ujung pipa. Posisi lubang adalah 50 – 100 mm diatas dasar ruang pembakaran. Ruang reduksi tersusun atas sebuah kerucut terpancung dengan sudut 75°, dengan diameter atas 180 mm dan diameter bawah 290 mm serta tinggi 200 mm. Pada ujung atas zona reduksi ini dipasang ayakan kasar terbuat dari besi eser 10 mm dengan jarak 50 mm untuk menahan laju penurunan bahan. Pada bagian bawah ruang reduksi dipasang ayakan dari plat eser berlubang dengan diameter masing-masing 12 mm, untuk menahan sementara arang hasil pembakaran. Ruang penampungan gas terbuat dari tabung diameter 360 mm, tinggi 300 mm. Pada bagian atas tabung dipasang pipa outlet gas, sedang di ujung bawah dipasang pipa outlet abu sisa gasifikasi. Sebuah kompor gas dipasangkan ke pipa outlet gas.



Gambar 2. Prototipe gasifier limbah padat pati aren

TABEL 2. KOMPOSISI GAS HASIL GASIFIKASI LIMBAH PADAT PATI AREN (%)

Nilai / Gas	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Selang	4,1 – 12,4	0,3 – 2,8	14,1 – 20,8	5,4 – 10,2	0,1 – 7,0	51,1 – 66,3
Rerata	7,4	1,5	18,1	6,8	2,7	58,0

**Distribusi Suhu**

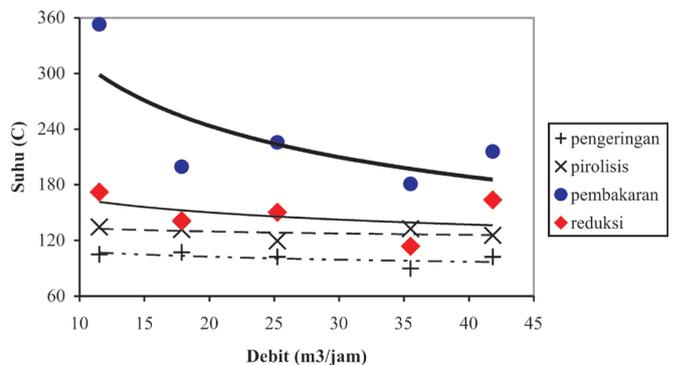
*Downdraft gasifier* memiliki 4 ruang yaitu ruang pengeringan, pirolisis, pembakaran dan reduksi. Rerata suhu pada masing-masing ruang gasifier dengan bahan limbah pati aren selama satu proses pengoperasian adalah sebagai berikut: ruang pengeringan 108°C, ruang pirolisis 135°C, ruang pembakaran 353°C, dan ruang reduksi 172°C. Suhu tersebut dicapai pada debit udara 11 m<sup>3</sup>/jam. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu yang dicapai pada reaktor masih rendah sehingga proses gasifikasi belum sempurna. Sebagai akibatnya masih cukup banyak tar dan arang yang dihasilkan selama proses gasifikasi. Penyebab utama belum tercapainya suhu gasifikasi adalah struktur limbah padat pati aren yang lembut sehingga menyulitkan kontrol laju debit bahan. Hal ini ditunjukkan dari operasional yang sering tersendat karena harus mengatur debit bahan serta debit gas yang kadang-kadang tidak konstan. Sebagai jalan keluar disarankan untuk mencampur limbah padat pati aren dengan struktur yang lebih kasar seperti misalnya serpihan kayu dan sekam.

Debit udara ke dalam gasifier memiliki kontribusi terhadap distribusi suhu pada ruang di dalam gasifier. Hubungan debit masukan udara terhadap ruang pengeringan, pirolisis, pembakaran dan reduksi ditunjukkan pada Gambar 3. Terlihat bahwa secara umum penambahan debit udara menyebabkan penurunan suhu di seluruh ruang. Penurunan

**Komposisi Gas**

Hasil pengukuran gasifikasi limbah padat pati aren menunjukkan bahwa pada debit udara 11 m<sup>3</sup>/jam dihasilkan gas sebesar 18 m<sup>3</sup>/jam. Tabel 2 menunjukkan komposisi gas hasil gasifikasi. Nilai-nilai rerata gas karbon monoksida, hidrogen dan metan masing-masing adalah 18,1, 7,4 dan 1,5 %. Nilai-nilai tersebut sedikit lebih tinggi apabila dibandingkan dengan komposisi gas hasil gasifikasi sekam padi. Pada gasifikasi sekam padi nilai rerata untuk masing-masing gas tersebut diatas adalah 14,8, 3,9 dan 1,1 % (Hoki dkk., 2002). Dengan demikian limbah padat pati aren secara potensial menghasilkan komponen gas yang lebih mudah dibakar daripada sekam padi.

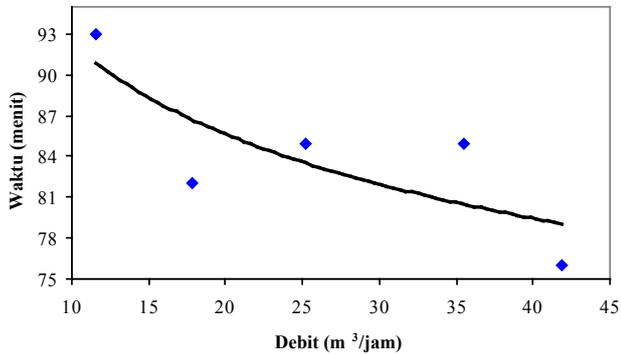
terbesar terjadi pada ruang pembakaran, diikuti oleh ruang reduksi, pirolisis dan pengeringan.



Gambar 3. Grafik hubungan debit dengan suhu gasifikasi

**Waktu Efektif Reaktor Menghasilkan Gas**

Gasifier tipe *downdraft* yang diuji memiliki waktu efektif rata-rata sekitar 1,5 jam dalam menghasilkan gas untuk setiap 3 kg bahan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa lamanya waktu efektif dipengaruhi oleh debit udara yang dimasukkan. Pada debit udara terkecil yaitu 11 m<sup>3</sup>/jam memiliki waktu efektif 93 menit. Gambar 4 memperlihatkan bahwa penambahan debit udara menyebabkan waktu

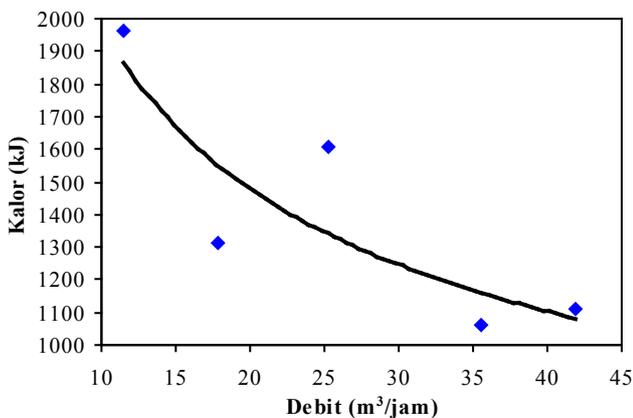


Gambar 4. Grafik hubungan debit dengan waktu efektif gasifikasi

efektif reaktor dalam menghasilkan gas semakin berkurang. Penambahan jumlah O<sub>2</sub> di dalam reaktor menyebabkan lebih banyak bahan yang terbakar, sehingga bahan lebih cepat menjadi arang. Kandungan organik yang dapat dikonversi menjadi gas sangat sedikit pada bahan yang sudah berubah menjadi arang sehingga volume gas yang dapat dibakar berkurang.

**Panas Dhasilkan**

Kalor yang dihasilkan pada proses gasifikasi diukur menggunakan metode perbedaan suhu sejumlah masa air yang dipanaskan dengan menggunakan gas hasil gasifikasi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada debit udara 11 m<sup>3</sup>/jam, dihasilkan kalor sekitar 2000 kJ per kilogram bahan. Dari hasil pengukuran pada beberapa interval debit udara didapatkan penurunan kalor pada saat dilakukan penambahan debit udara. Penambahan udara menyebabkan peningkatan jumlah O<sub>2</sub> di dalam reaktor. Peningkatan jumlah O<sub>2</sub> menurunkan jumlah gas CO yang dihasilkan, tetapi menambah jumlah produksi CO<sub>2</sub>.



Gambar 5. Grafik hubungan debit udara dengan panas hasil gasifikasi

Berdasarkan hasil analisa terhadap 1 kg sisa gasifikasi diperoleh komposisi 35,3% abu, 58,9% arang dan 5,8% bahan yang belum terbakar. Disamping itu juga dihasilkan tar yang

masih tercampur pada sisa gasifikasi. Prosentase bahan yang belum terbakar masih relatif tinggi dan menunjukkan bahwa proses pirolisa, pembakaran dan reduksi belum berjalan sempurna. Hal ini dimungkinkan karena struktur bahan yang sangat bervariasi yaitu limbah ekstraksi yang sangat lembut serta serat yang kasar dan panjang. Struktur yang beragam ini menyebabkan laju bahan dari ruang pembakaran ke ruang reduksi yang tidak konstan.

Dari hasil-hasil pengujian diatas ditunjukkan bahwa secara umum limbah padat pati aren potensial untuk digunakan sebagai bahan baku gasifikasi. Beberapa kelemahan dan hambatan yang masih dihadapi antara lain adalah suhu yang dicapai belum optimal untuk proses gasifikasi yang sempurna sehingga perbaikan rancangbangun masih diperlukan. Disamping itu perbaikan laju aliran bahan perlu dilakukan melalui pemisahan antara seratbut dengan bubuk untuk diproses secara terpisah atau melalui pencampuran dengan biomasa lain.

**KESIMPULAN**

1. Limbah padat pati aren potensial untuk digunakan sebagai bahan baku gasifikasi.
2. Proses gasifikasi limbah padat pati aren terbaik diperoleh pada dimensi sudut kemiringan hoper 70°, diameter ruang pembakaran 18 cm, tinggi titik pembakaran 5 – 10 cm diatas dasar ruang pembakaran dan tinggi kerucut ruang reduksi 20 cm.
3. Produksi gas maksimum sebesar 18 m<sup>3</sup>/jam dengan nilai rerata gas karbon monoksida, hidrogen dan methan masing-masing adalah 18,1, 7,4 dan 1,5 persen. Waktu efektif rata-rata produksi gas adalah 0,5 jam per kilogram bahan
4. Rerata suhu yang dicapai pada ruang pengeringan, pirolisis, pembakaran dan reduksi masing-masing adalah 108°C, 135°C, 353°C, dan 172°C.
5. Pada debit udara 11 m<sup>3</sup>/jam, dihasilkan kalor sebesar 2 MJ per kilogram bahan.

**UCAPAN TERIMAKASIH**

Ucapan terimakasih disampaikan kepada pengelola Program Hibah Kompetisi (PHK) A3 Jurusan Teknik Pertanian Universitas Gadjah Mada yang telah memberi kesempatan dan pendanaan untuk penelitian ini. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Angga Senoaji H., Wanda Zulfi Kusuma, Sri Markumningsih dan Dwi Raharjo alumni Jurusan Teknik Pertanian UGM yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Barrio, M., Fossum, M., dan Hustad, J.E. (2004). *A small-scale stratified downdraft gasifier coupled to a gas engine for combined heat and power production*. Norwegian Univ of Science and Technology, 7491 Trondheim, Norway
- Bridgewater, A. (2003). Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal* **91**: 87-102
- Dunlap, J.L., dan Payne, F.A. (1988). Microcomputer control of two stage combustor. *Transaction of the ASAE* **31**(3):974-980
- Firdayati, M., dan Handajani, M. (2005). Studi Karakteristik Dasar Limbah Industri Tepung Aren. *Infrastructure and Built Environment I*, No. 2
- Hoki, M., Sato, K., dan Umezawa, Y. (1992). Sawdust gasification for small poer plant. *The ASAE Paper No. 926032*
- Hoki, M., Sato, K., Yamada Y., dan Umezawa, Y. (1994). *The development study of biomass gasification system*. Proceeding of the International Agricultural Engineering Conference
- Hoki, M., Sato, K., Sakai, K., dan Tanibuchi, Y. (1995). *Biomass gasifier for small scale energy development*. Proceeding of International Symposium on Automation and Robotics in Bioproduction and Processing, Kobe, Japan: 317-324
- Hoki, M., Sato, K., Miao, Y., dan Nishidate, J. (2002). *The study of biomass gasification system – temperature control of rice husk gasifier*. Proceeding of the International Agricultural Engineering Conference, Wuxi, China, November 28-30, 2002:578-582
- Lim, K., dan Sims, R. (2003). Liquid and gaseous biomass fuels. *Dalam: Sims, R. (ed.), Bioenergy option for a cleaner environment*. Elsevier, the United Kingdom
- McKendry, P. (2002a). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource technology* **83**: 47-54
- McKendry, P. (2002b). Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. *Bioresource technology* **83**: 55-63
- Payne, F.A., dan Chandra, P.K. (1985). Mass balance for biomass gasifier combustor. *Transaction of the ASAE* **28** (6):2037-2041
- Payne, F.A., Dunlap, J.L., dan Caussanel, P. (1985). Effect of wood chip size on gasifier combustor operation. *Transaction of the ASAE* **28** (3):903-906, 914
- Rajeev J., dan Rajvanshi, A.K. (1997). Sugarcane leaf-bagasse gasifier for industrial heating application. *Biomass and Bioenergy* **13**: 141-146
- Sasidharan, P., Murali, K.P., dan Sasidharan, K. (1995). Designanddevelopment of a ceramic based biomass gasifier. *Energy for Sustainable Development*. **2**: 49-52
- Stassen, H.E. (1995). *Small-scale biomass gasifier for heat and power; a global review*. The World Bank: 49-50
- Sunanto (1993). *Aren dan Multigunanya*. Kanisius. Yogyakarta.