

Pemanfaatan Gas dari Gasifikasi Biomassa sebagai suatu Sumber Energi Alternatif

Oleh :

Pallawagau La Puppung

SARI

Gasifikasi biomassa merupakan suatu proses konversi bahan selulosik padat yang kering di dalam suatu gasifier menjadi gas yang dapat dibakar. Proses ini terjadi secara bertahap di dalam gasifier yang sama dan selama proses bahan baku mengalami empat macam proses, yaitu : pengeringan, pirolisis, oksidasi atau pembakaran dan reduksi. Pengertian gasifikasi di sini hendaknya dibedakan dengan produksi biogas yang menggunakan organik basah sebagai bahan baku dan bekerja dengan menggunakan aksi mikrobiologi.

Pada prinsipnya biomassa dibakar menjadi gas CO_2 dan H_2O pada zone pembakaran dan pada tahap berikutnya gas tersebut direduksi menjadi gas CO dan H_2 pada zone reduksi. Campuran gas-gas panas hasil gasifikasi biomassa ini disebut producer gas. Producer gas ini merupakan gas yang dapat dibakar dan dapat digunakan sebagai suatu sumber energi untuk berbagai keperluan.

ABSTRACT

Biomass gasification is a conversion process of a dry solid cellulosic material into combustible gas in a gasifier. Gasification process is successively occurred in four phases in the same gasifier and during processing the material must pass through the following phases : drying, pyrolysis, oxidation or combustion and reduction. In the sense used here, gasification should be distinguished from biogas production, which uses wet organic feedstocks and works by means of microbiological action.

In principle, biomass is burnt into CO_2 and H_2O gases in the combustion zone and at the further process the gases are reduced into CO and H_2 at the reduction zone. The mixture of hot gases drawn from a gasifier is usually called producer gas. This producer gas is a combustible gas and can be used as a source of energy in various applications.

I. PENDAHULUAN

Setelah terjadi krisis suplai minyak bumi pada tahun 1973, maka berbagai negara yang tidak, atau kurang menghasilkan minyak bumi berupaya untuk memanfaatkan sumber daya alam yang terdapat di negaranya sebagai sumber energi alternatif. Berbagai istilah, seperti: meta-

nol, etanol, gasohol, gas minyak cair (LPG), gas bumi cair (LNG), gasifikasi biomassa dan terakhir gas bumi tekan atau compressed natural gas (CNG) telah menjadi akrab dengan kita. Terutama bagi pihak-pihak yang berkecimpung di dalam bidang energi istilah-istilah tersebut telah menjadi buah pena bagi setiap karyanya.

Pemanfaatan gas dari gasifikasi biomassa sebagai suatu sumber energi merupakan salah satu hasil dari usaha pemanfaatan sumber daya alam sebagai sumber energi dalam rangka konservasi dan diversifikasi energi.

Gas dari gasifikasi biomassa ini merupakan sumber energi terbarukan. Gas ini dapat dibuat pada kendaraan yang sedang berjalan atau pada instalasi stasioner, sesuai dengan kebutuhan melalui proses gasifikasi. Proses ini mengubah bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk motor bakar, baik untuk motor penyalan cetusan bunga api (Otto) maupun untuk motor penyalan kompresi (Diesel). Selain dari itu gas ini juga dapat digunakan untuk pembakaran langsung untuk menghasilkan energi panas dan sebagai bahan baku untuk pembuatan metanol.

Bahan baku proses gasifikasi biomassa ini adalah kayu, arang, tongkol dan tangkai jagung, serbuk gergaji, tempurung dan sabut kelapa, kulit kopi, sekam padi, dan buangan selulosik lainnya misalnya limbah hutan, pertanian dan perkotaan yang dapat diubah menjadi arang.

II. PROSES GASIFIKASI

Biomassa dapat dikonversi menjadi produk-produk lain yang lebih bermanfaat dengan menggunakan proses konversi termokimia, yang terdiri dari empat proses utama, yaitu :

- a. Pembakaran langsung.
- b. Gasifikasi
- c. Pirolisis
- d. Pencairan

Dengan membatasi pemasukan udara ke dalam proses pembakaran, maka reaksi-reaksi yang terjadi didefinisikan sebagai proses pirolisis, gasifikasi atau pencairan. Gasifikasi dan pirolisis terutama dibedakan oleh jumlah udara yang dimasukkan ke dalam reaksi yang bersuhu tinggi.

Pirolisis adalah penguraian zat organik yang berlangsung pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen (disebut reaksi endotermik). Di dalam suatu tungku kayu pirolisis dapat berlangsung di dalam kayu yang disebabkan oleh panas pembakaran oksigen pada permukaan kayu. Proses di dalam kayu ini adalah bebas dari oksigen.

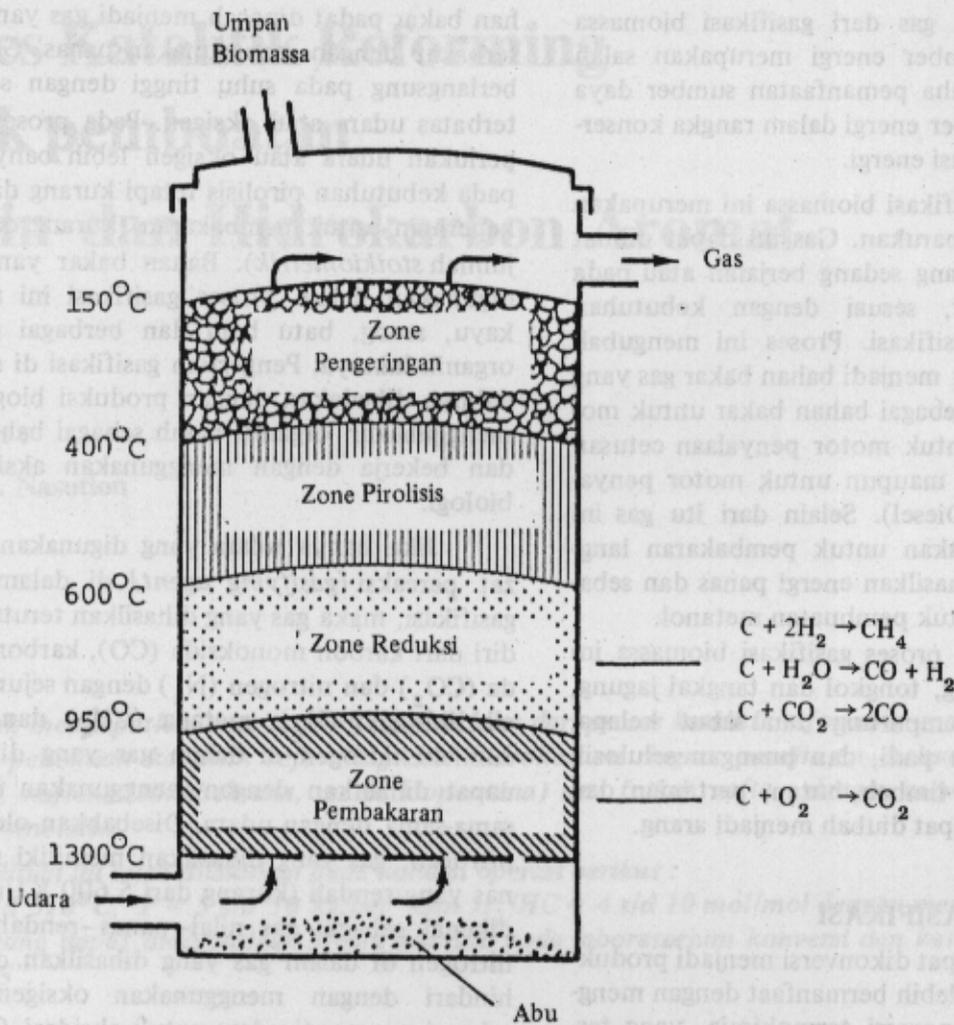
Gasifikasi adalah suatu proses di mana ba-

han bakar padat dipecah menjadi gas yang dapat terbakar dengan menggunakan panas. Gasifikasi berlangsung pada suhu tinggi dengan sejumlah terbatas udara atau oksigen. Pada proses ini diperlukan udara atau oksigen lebih banyak dari pada kebutuhan pirolisis tetapi kurang dari pada keperluan untuk pembakaran (kurang dari pada jumlah *stoikiometrik*). Bahan bakar yang dapat digunakan dalam proses gasifikasi ini meliputi kayu, arang, batu bara dan berbagai material organik lainnya. Pengertian gasifikasi di sini hendaknya dibedakan dengan produksi biogas yang menggunakan organik basah sebagai bahan baku dan bekerja dengan menggunakan aksi mikrobiologi.

Jika hanya udara yang digunakan sebagai zat pereaksi (*gasifying agent*) di dalam proses gasifikasi, maka gas yang dihasilkan terutama terdiri dari karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂) dan nitrogen (N₂) dengan sejumlah kecil hidrogen (H₂), metana (CH₄) dan cairan. Jumlah hidrogen di dalam gas yang dihasilkan dapat dinaikkan dengan menggunakan uap bersama-sama dengan udara. Disebabkan oleh dilusi nitrogen, gas yang dihasilkan memiliki nilai panas yang rendah (kurang dari 5.600 KJ/m³) dan dikenal sebagai gas nilai-panas-rendah. Dilusi nitrogen di dalam gas yang dihasilkan dapat dihindari dengan menggunakan oksigen murni sebagai pengganti udara untuk oksidasi. Gas yang dihasilkan oleh gasifier yang menggunakan oksigen memiliki nilai panas sedang (kurang dari 13.055 KJ/m³) dan dikenal sebagai gas nilai-panas-medium (gas sintetis). Campuran gas-gas panas yang keluar dari gasifier biasa disebut *producer gas*.

Ada empat proses yang berbeda yang terjadi di dalam suatu gasifier, yaitu pengeringan bahan bakar, pirolisis, pembakaran dan reduksi. Walaupun ada tumpang tindih (*overlap*) yang agak besar antara satu proses dengan lainnya, tetapi masing-masing dapat dianggap menempati suatu zone yang terpisah di mana secara fundamental terjadi reaksi-reaksi kimia dan termal. Bahan bakar harus melalui semua zone ini untuk mengubah bahan bakar menjadi gas secara sempurna.

Pada Gambar 1 dapat dilihat diagram skematik zone-zone reaksi di dalam suatu *updraught gasifier*. Zone pembakaran secara umum terletak



Gambar 1. Diagram skematik zone reaksi di dalam suatu updraft gasifier

dekat dasar gasifier, yang juga dinyatakan sebagai zone oksidasi atau perapian. Di sini udara dimasukkan ke dalam gasifier dan pembakaran bahan bakar terjadi seperti di dalam suatu tungku atau dapur api. Tergantung pada aplikasi, kebutuhan udara dapat dihasilkan oleh hisapan suatu mesin atau dengan memasang kipas angin (*blower*). Kunci utama proses gasifikasi adalah pembatasan pemasukan udara sedemikian rupa sehingga pembakaran tidak merambat ke seluruh bahan bakar. Jika hal ini terjadi, maka gasifier akan menjadi tungku yang menghasilkan panas dan gas-gas yang tidak dapat dibakar. Ini adalah suatu reaksi endotermik, dan suhu di dalam zone pembakaran secara konsekuen naik hingga tingkat kerugian kalor seimbang dengan tingkat kalor yang dipero-

leh dari pembakaran. Secara normal suhu zone pembakaran mencapai antara 900 dan 1.300°C, tetapi pada beberapa gasifier khususnya jenis *cross-draught* yang memakai arang sebagai bahan bakar suhu akan naik hingga 2.000°C. Jika terdapat hidrogen di dalam zone pembakaran, hidrogen juga bereaksi dengan oksigen. Ini juga merupakan suatu reaksi eksotermik dan terbentuk uap air sebagai hasilnya.

Dari zone pembakaran, selanjutnya gas-gas panas ini ditarik ke dalam zone reduksi. Zone ini selalu berdekatan dengan zone pembakaran, tetapi tergantung kepada konfigurasi gasifier, zone ini mungkin berada di atas, di bawah atau di samping zone pembakaran. Tidak ada udara yang boleh masuk di sini. Oleh karena zone ini

bebas dari oksigen, maka akan terjadi sederetan reaksi yang berbeda. Reaksi-reaksi ini dinyatakan sebagai reduksi, yang memegang peranan penting di dalam gasifikasi sebab reaksi-reaksi ini mengubah gas-gas yang tidak dapat dibakar menjadi produk-produk yang dapat dibakar.

Reaksi utama di dalam zone reduksi adalah karbon dioksida dengan karbon panas menghasilkan karbon monoksida. Ini adalah suatu proses endotermik yang menyerap panas dan pada proses ini diperlukan suhu lebih tinggi dari pada 900°C .

Karbon monoksida adalah komponen utama yang dapat dibakar dari campuran gas-gas yang ditarik dari gasifier. Reaksi reduksi penting yang lain adalah antara uap air dan karbon. Ini juga reaksi endotermik dan juga hanya berlangsung pada suhu di atas 900°C . Air dipisahkan, menghasilkan karbon monoksida dan hidrogen. Kedua gas ini dapat dibakar dan meningkatkan nilai panas gas hasil akhir gasifikasi.

Pada reaksi-reaksi endotermik ini, panas diserap dari aliran gas. Suhu dari zone reduksi turun secara tajam, oleh karena itu gas seperti ditarik lebih jauh dari zone pembakaran. Pada saat suhu turun sederetan reaksi yang berbeda akan berlangsung, salah satu di antaranya adalah reaksi uap air dengan karbon menghasilkan hidrogen dan karbon dioksida. Reaksi ini lebih banyak terjadi pada suhu antara 500° dan 600°C .

Jika terdapat kelebihan air di dalam zone reduksi, dapat juga terjadi karbon monoksida bereaksi dengan air menghasilkan karbon dioksida dan hidrogen. Ini adalah reaksi eksotermik dan umumnya merupakan reaksi yang tidak menguntungkan karena menurunkan nilai panas gas hasil akhir gasifikasi. Oleh karena itu kelebihan uap air di dalam bahan bakar hendaknya dihindari.

Jika digunakan arang murni kering (di mana semua komponen yang mudah menguap telah dikeluarkan dalam proses pembuatan arang), tidak terdapat hidrogen dan karena itu tidak terdapat hidrogen pada gas hasil akhir. Ini berarti bahwa nilai termalnya lebih rendah sekitar 20% daripada sebuah gasifikasi kayu. Dengan alasan ini, umumnya dalam praktek ditambahkan sejumlah kecil air ke dalam gasifier. Penambahan sejumlah air yang tepat ke dalam gasifier meng-

akibatkan reaksi-reaksi endotermik, menurunkan suhu operasi gasifier dan memperbaiki gas hasil akhir. Ini juga mempunyai efek menurunkan tegangan termal pada peralatan gasifier.

Kebanyakan dari hidrogen yang dihasilkan di dalam zone reduksi tetap bebas. Tetapi sebagian dari padanya dapat bergabung dengan karbon membentuk sejumlah kecil metana.

Reaksi-reaksi utama yang terjadi di dalam zone pembakaran dan reduksi diringkaskan sebagai berikut :

1. $\text{C} + \text{C}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 393.800 \text{ kJ/kg mole}$
2. $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} - 172.600 \text{ kJ/kg mole}$
3. $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2 - 131.400 \text{ kJ/kg mole}$
4. $\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2 - 88.000 \text{ kJ/kg mole}$
5. $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2 + 41.200 \text{ kJ/kg mole}$
6. $\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 75.000 \text{ kJ/kg mole}$

Zone pirolisis umumnya terletak di atas zone pembakaran. Tidak ada udara yang masuk ke dalamnya, tetapi zone ini menarik panas dari daerah-daerah yang berdekatan dengannya. Pada saat suhu mencapai kira-kira 400°C suatu reaksi endotermik akan terjadi di mana struktur alamiah kayu atau material organik lain yang digunakan sebagai bahan bakar menjadi pecah. Ini sama dengan yang terjadi di dalam tempat pembakaran (*kiln*) atau retor tertutup dalam pembuatan arang. Uap air, metanol, asam asetat dan sejumlah besar terhidrokarbon berat terbentuk secara perlahan-lahan. Untuk kayu, 50% atau lebih dari berat mula-mula mungkin hilang sebagai ter dan zat yang mudah menguap.

Material padat yang tinggal setelah pirolisis adalah karbon dalam bentuk arang. Arang ini turun ke bawah melalui gasifier dan dikonsumsi di dalam zone pembakaran dan reduksi. Jadi pada penggunaan arang sebagai bahan bakar, hanya sedikit atau tidak ada penguapan dari hasil-hasil pirolisis, karena ini telah dibuang pada saat pembuatan arang.

Zone pengeringan umumnya terdapat pada bagian atas gasifier, di atas zone pirolisis. Di sini suhu tidak cukup tinggi untuk menyebabkan perengkahan kimia, tetapi setiap kandungan air akan dibuang keluar dalam bentuk uap air.

Gas yang dihasilkan memiliki nilai panas yang relatif rendah, umumnya hanya 10–15%

dari gas bumi. Efek dilusi nitrogen di dalam udara pembakaran merupakan alasan utama dalam hal ini. Udara yang masuk ke dalam gasifier mengandung sekitar 78% volume nitrogen. Karena nitrogen adalah *inert*, nitrogen lewat melalui gasifier tanpa mengalami suatu reaksi kimia yang penting. Campuran gas hasil akhir umumnya mengandung paling sedikit 50% nitrogen.

Penggunaan oksigen murni untuk pembakaran sebagai pengganti udara akan menghasilkan gas dengan nilai panas yang lebih tinggi. Tetapi tambahan pengeluaran dan kompleksitas dari proses merintanginya dari penggunaan skala-kecil dan khas penyebarluasan aplikasinya di daerah pedesaan.

Komposisi tipikal gas yang menghasilkan dari gasifier kayu dan arang kering diberikan dalam Tabel 1.

Karbon dioksida terutama berasal dari reduksi yang tidak sempurna di dalam gasifier, sedang nitrogen berasal dari udara yang digunakan untuk membakar bahan bakar. Kedua gas tersebut tidak dapat dibakar dan dengan demikian menurunkan nilai panas gas hasil akhir hingga sekitar 5.200 kJ/m^3 .

Tabel 1
Komposisi tipikal gas dari gasifier kayu dan arang kering

Gas	Gas Kayu %	Gas Arang; %
Karbon Monoksida (CO)	20 - 22	23 - 33
Hidrogen (H ₂)	12 - 15	4 - 14
Metana (CH ₄)	2 - 3	-
Karbon dioksida (CO ₂)	9 - 11	3 - 7
Nitrogen (N ₂)	50 - 54	60 - 63

Sumber : Ref. 7

III. SISTEM GASIFIKASI

Sistem gasifikasi memiliki empat komponen utama, yaitu :

- a. Gasifier, membuat gas dari bahan bakar padat.

- b. Blower, memasukkan udara ke dalam gasifier
- c. Saringan, untuk menyaring jelaga dan abu dari gas panas
- d. Pendingin, untuk mendinginkan gas dan mengembunkan ter serta kotoran-kotoran cair.

Pada Gambar 2, ditunjukkan diagram skematik suatu sistem gasifikasi stasioner.

A. Gasifier

Alat yang digunakan dalam proses gasifikasi ini disebut gasifier atau generator gas (*gas-ogen*) atau reaktor gas. Prinsip dasar gasifikasi adalah sangat sederhana. Suatu gasifier terdiri dari sebuah wadah, biasanya berdiri tegak, di mana bahan bakar dimasukkan pada bagian atas. Sejumlah udara yang terbatas dimasukkan ke dalam zone pembakaran pada unit, yang memungkinkan beberapa bagian dari bahan bakar terbakar seperti pada tungku.

Hal yang penting adalah pemasukan udara dibatasi sedemikian rupa sehingga pembakaran tidak menjalar ke seluruh bahan bakar yang ada di dalam gasifier. Dengan pembakaran sebagian dari bahan bakar, maka diperoleh panas yang cukup untuk menimbulkan perengkahan kimia dan gasifikasi dari bahan bakar yang belum terbakar.

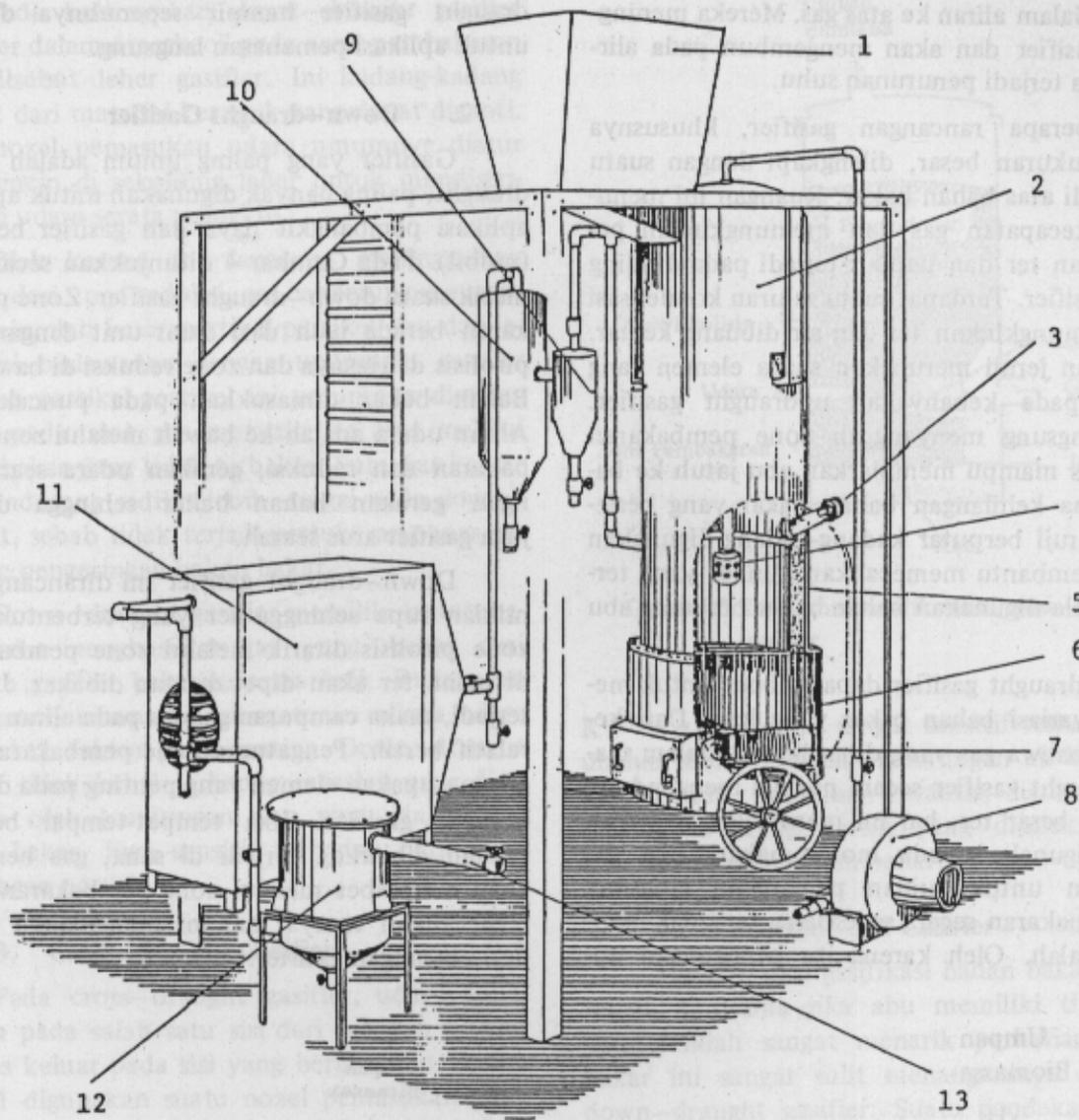
Gasifier biasanya dibedakan oleh metoda persentuhan antara bahan bakar padat (*biomassa*) dan gas-gas reaktan (seperti udara, oksigen dan uap air). Ada beberapa jenis gasifier yang digunakan untuk menghasilkan gas dari biomassa, yaitu :

- *Updraught*
- *Downdraught*
- *Cross-draught*
- *Fluidized-bed*

1. Updraught Gasifier

Gasifier yang paling sederhana adalah tipe *updraught*, atau aliran berlawanan. Udara masuk pada dasar dan gas dikeluarkan pada bagian atas gasifier. Bahan bakar dimasukkan pada bagian atas dan bergerak ke bawah ketika dikonsumsi. *Updraught* gasifier secara skematik ditunjukkan pada Gambar 3.

Updraught gasifier cenderung memiliki efisiensi termal yang tinggi sebab gas-gas panas dari



- | | |
|---|---|
| 1. Pemasukan umpan (<i>Hopper</i>) | 8. <i>Blower</i> |
| 2. Gasifier (<i>Reaktor gasifikasi</i>) | 9. Penangkap ter (<i>Jet Condensor</i>) |
| 3. Lubang penyalan bahan baku | 10. Siklon |
| 4. Distributor udara | 11. Pendingin gas |
| 5. Isolasi keramik | 12. Saringan gas (<i>Filter</i>) |
| 6. Ruang penampung abu | 13. Pipa gas hasil gasifikasi |
| 7. Penyapu abu | |

Gambar 2. Diagram skematik suatu sistem gasifikasi

zone pembakaran lewat ke atas melalui bahan bakar yang datang dan memanaskannya antara 100 – 200°C. Gerakan udara dan gas yang berlawanan arah dengan gerakan bahan bakar pada saat bersentuhan di dalam gasifier sehingga gasifier ini disebut juga gasifier aliran berlawanan.

Keuntungan utama updraught gasifier adalah kesederhanaannya, tetapi kerugiannya adalah jika bahan bakar yang digunakan tidak bebas dari ter, gas akan sangat kotor. Ter dan hasil-hasil pirolisis lainnya tidak ada yang dipecah pada zone pembakaran; semuanya di-

tarik ke dalam aliran ke atas gas. Mereka meninggalkan gasifier dan akan mengembun pada aliran gas jika terjadi penurunan suhu.

Beberapa rancangan gasifier, khususnya yang berukuran besar, dilengkapi dengan suatu ruangan di atas bahan bakar. Ruangan ini menurunkan kecepatan gas dan memungkinkan pengembunan ter dan uap air terjadi pada dinding dalam gasifier. Terdapat suatu saluran kondensasi yang memungkinkan ter dan air dibuang keluar. Rancangan jeruji merupakan suatu elemen yang penting pada kebanyakan updraught gasifier. Jeruji langsung menyanggah zone pembakaran dan harus mampu membiarkan abu jatuh ke bawah tanpa kehilangan bahan bakar yang berlebihan. Jeruji berputar kadang-kadang digunakan untuk membantu memecahkan klinker yang terbentuk bila digunakan bahan bakar berkadar abu tinggi.

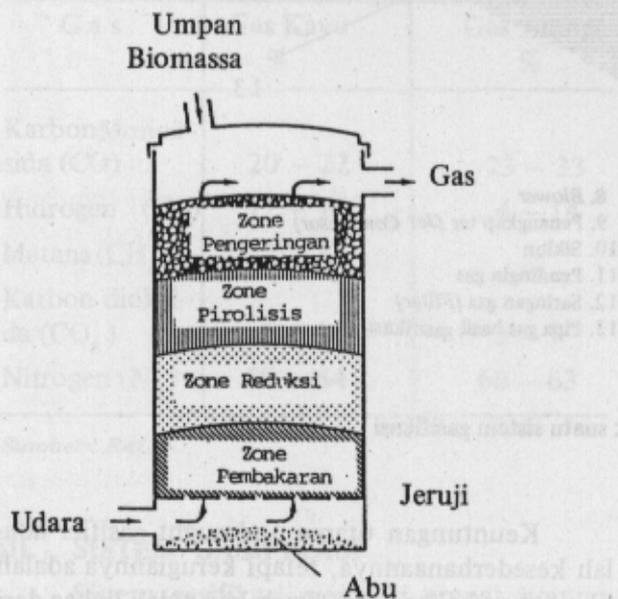
Updraught gasifier dapat dibuat untuk menangani variasi bahan bakar yang luas. Dari kenyataan bahwa gas yang dihasilkan di dalam suatu updraught gasifier secara normal mengandung sejumlah besar ter, hal ini merupakan halangan untuk digunakan pada motor bakar. Jika gas digunakan untuk tujuan pemanasan langsung dan pembakaran secara sederhana, ter tidak menjadi masalah. Oleh karena itu penggunaan up-

draught gasifier hampir sepenuhnya dibatasi untuk aplikasi pemanasan langsung.

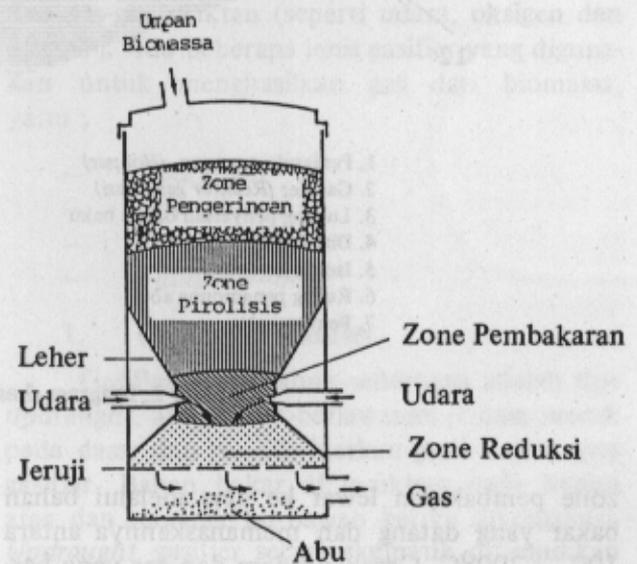
2. Down-draught Gasifier

Gasifier yang paling umum adalah down-draught, paling banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi pembangkit daya dan gasifier bergerak (mobil). Pada Gambar 4 ditunjukkan secara skematik suatu down-draught gasifier. Zone pembakaran berada jauh dari dasar unit dengan zone pirolisis di atasnya dan zone reduksi di bawahnya. Bahan bakar dimasukkan pada puncak unit. Aliran udara adalah ke bawah melalui zone pembakaran dan reduksi, gerakan udara searah dengan gerakan bahan bakar sehingga disebut juga gasifier arus searah.

Down-draught gasifier ini dirancang sedemikian rupa sehingga ter yang terbentuk pada zone pirolisis ditarik melalui zone pembakaran, di mana ter akan dipecah atau dibakar. Jika ini terjadi, maka campuran gas-gas pada aliran keluar relatif bersih. Pengaturan zone pembakaran adalah merupakan elemen yang penting pada down-draught gasifier. Jika tempat-tempat bersuhu rendah dibiarkan terjadi di sana, gas berisi ter akan merembes melalui zone pembakaran tanpa terpecahkan ternya, hal ini meniadakan tujuan dari rancangan gasifier.



Gambar 3. Diagram skematik dari suatu updraught gasifier



Gambar 4. Diagram skematik suatu down-draught gasifier

Pada kebanyakan *down-draught* gasifier diameter dalam diperkecil pada zone pembakaran yang disebut leher gasifier. Ini kadang-kadang terbuat dari material keramik yang dapat diganti. Nozel-nozel pemasukan udara umumnya diatur pada cincin di sekeliling leher untuk mendistribusikan udara serata mungkin.

Oleh karena gas langsung meninggalkan gasifier dari zone reduksi, gas cenderung mengandung sejumlah besar partikel-partikel abu dan jelaga. Ini berlawanan dengan *updraught* gasifier di mana partikel-partikel ini umumnya disaring keluar pada saat gas mengalir ke atas melalui bahan bakar yang tidak terbakar. Suhu gas keluar juga cenderung sedikit lebih tinggi pada *down-draught*, sebab tidak terjadi pertukaran panas pada zone pengeringan bahan bakar.

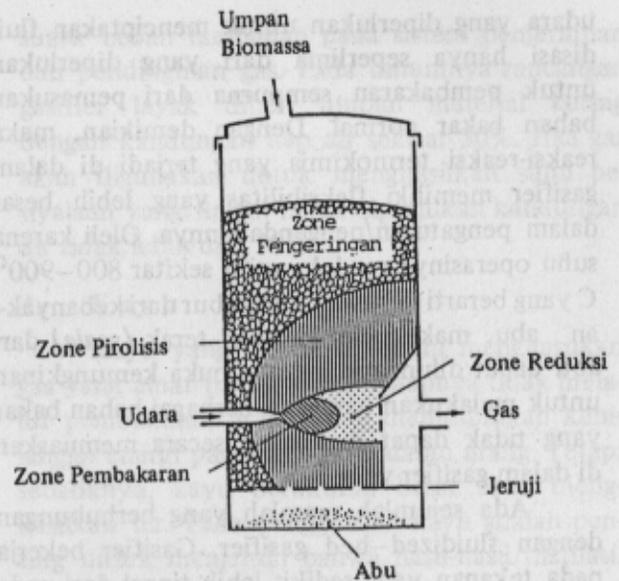
Down-draught gasifier memiliki keuntungan, karena menghasilkan gas yang bebas dari ter, jika gasifier bekerja secara baik. Rancangan zone pembakaran dan pengaturan aliran udara merupakan faktor yang penting. *Down-draught* gasifier tidak kebal terhadap masalah yang disebabkan oleh kandungan abu yang tinggi dari bahan bakar, juga sensitif terhadap perubahan kandungan uap air.

3. Cross-draught Gasifier

Pada *cross-draught* gasifier, udara dimasukkan pada salah satu sisi dari ruangan gasifier dan gas keluar pada sisi yang berlawanan. Secara normal digunakan suatu nozel pemasukan yang membawa udara ke dalam pusat zone pembakaran seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada *cross-draught* gasifier kecepatan udara pada saat memasuki zone pembakaran lebih tinggi dari pada gasifier lainnya. Ini menciptakan zone pembakaran yang sangat panas, dari mana pelepasan gas sangat cepat. Zone pembakaran dan reduksi dikonsentrasikan menjadi suatu volume yang kecil pada pusat gasifier. Ini berarti bahwa material-material refraktor secara normal tidak diperlukan untuk melapisi dinding zone pembakaran.

Keuntungan utama *cross-draught* gasifier adalah reaksinya (*response*) yang cepat terhadap perubahan beban, kesederhanaan konstruksinya dan lebih ringan. Gasifier ini cocok untuk menggerakkan motor dengan daya sampai dengan 50



Gambar 5. Diagram skematik suatu *cross-draught* gasifier

KW⁷). Akan tetapi sangat sensitif terhadap perubahan komposisi dan kandungan air bahan bakar. Untuk keperluan praktis, hampir selalu diperlukan arang bersih yang diseleksi secara hati-hati sebagai bahan bakar.

4. Fluidized-bed Gasifier

Masalah dari gasifikasi bahan bakar berabu tinggi, terutama jika abu memiliki titik leleh yang rendah sangat menarik perhatian. Bahan bakar ini sangat sulit menanganinya di dalam *down-draught* gasifier. Suatu pendekatan yang sedang diteliti di sejumlah tempat adalah penggunaan *fluidized-bed* gasifier. Di sini udara ditiupkan ke atas melalui kolom pasir alumina (*alumina sand bed*) pada kecepatan yang cukup untuk menjaga supaya pasir berada dalam keadaan melayang di dalam suatu gerakan turbulen dan dengan demikian berkelakuan seperti suatu fluida. Bahan bakar dimasukkan dari atas dan pembakaran terjadi di dalam pasir. Ketika reaksi sudah berlangsung, pasir mencapai suhu pirolisis bagi bahan baku. Pirolisis terjadi secara tenang melalui pasir dengan oksidasi lebih lanjut dan gas ditarik dari puncak.

Keuntungan utama dari *fluidized-bed* gasifier adalah suhunya dapat dikontrol secara mudah dengan mengubah jumlah udara dan bahan bakar yang dimasukkan. Kecepatan minimum

udara yang diperlukan untuk menciptakan fluidisasi hanya seperlima dari yang diperlukan untuk pembakaran sempurna dari pemasukan bahan bakar normal. Dengan demikian, maka reaksi-reaksi termokimia yang terjadi di dalam gasifier memiliki fleksibilitas yang lebih besar dalam pengaturan/pengendaliannya. Oleh karena suhu operasinya rendah, yaitu sekitar 800–900°C yang berarti di bawah suhu lebur dari kebanyakan abu, maka pembentukan terak (*scale*) dari abu dapat dihindari. Ini membuka kemungkinan untuk melakukan gasifikasi berbagai bahan bakar yang tidak dapat digunakan secara memuaskan di dalam gasifier yang lain.

Ada sejumlah masalah yang berhubungan dengan fluidized-bed gasifier. Gasifier bekerja pada tekanan yang sedikit lebih tinggi dari pada tekanan atmosfer, sehingga konstruksinya harus dengan standar yang tinggi untuk menghindari kebocoran gas, dan sistem pemasukan bahan bakar harus memiliki kunci tekan (*pressure lock*). Gasifier ini sangat lambat mencapai kondisi operasi dan memerlukan beberapa jam untuk memanaskannya dari keadaan dingin sebelum gasifier dapat menghasilkan gas. Sebaliknya, penyimpanan panasnya tinggi dan gasifier dapat ditutup sepanjang malam dan dapat dijalankan kembali pada besok harinya dengan cepat.

Gas dari fluidized-bed gasifier cenderung mengandung ter yang agak tinggi. Gas juga mengandung sejumlah besar karbon yang tidak terbakar, demikian juga kandungan abu dari bahan bakar akan tetap terdapat di dalam gas. Ini harus dikeluarkan oleh sistem pembersihan.

B. Blower

Blower memasukkan udara ke dalam gasifier untuk keperluan pembakaran pada zone pembakaran. Pemasukan udara oleh blower dibatasi sedemikian rupa, sehingga pembakaran tidak menjalar keseluruhan bahan bakar. Bilamana seluruh bahan bakar yang ada di dalam gasifier terbakar, maka hasilnya adalah gas yang tidak dapat dibakar dan bersuhu tinggi. Tidak akan diperoleh gas yang dapat dibakar.

C. Saringan

Sebelum gas dialirkan masuk ke dalam motor, gas harus disaring untuk menghilangkan abu dan jelaga yang ada di dalam gas. Kegagalan un-

tuk mengeluarkan kotoran-kotoran ini akan mengakibatkan keausan yang berlebihan, deposit karbon, kerusakan dudukan katup, lumpur pada minyak lumas, dan kasus yang paling ekstrim adalah kemacetan motor.

Dahulu saringan-saringan dibuat dari bahan-bahan yang tidak praktis seperti bulu kempa (*felt*), serbuk gergaji, gabus atau wol baja. Pada saat ini proses penyaringan dapat disederhanakan dengan menggunakan fibreglass. Seringkali digunakan suatu alat siklon (*cyclone separator*) di dalam sistem untuk melemparkan keluar abu dan jelaga dari aliran gas panas dan kemudian jatuh ke dasar siklon. Pemisahan ini disebabkan oleh gaya sentrifugal di dalam siklon.

Pendingin Gas

Komponen berikut dari sistem gasifikasi adalah pendinginan gas. Pada suhu antara 280 dan 380°C asam asetat, metil alkohol, hidrokarbon dan ter ringan terbentuk di dalam gasifier. Antara 380 dan 500°C akan dihasilkan sejumlah ter viskous dan hidrokarbon. Semua produk ini demikian juga uap air, kadang-kadang mengotori gas. Untuk menghilangkannya, suatu pendingin biasanya ditempatkan antara pemisah siklon dan saringan. Medium pendingin dapat berupa air atau udara. Pendinginan ini mengembunkan kotoran-kotoran cair dan mendinginkan gas sebelum disalurkan ke motor. Gas yang lebih dingin akan memberikan daya yang lebih tinggi sebab jumlah gas yang dapat dialirkan dan dibakar di dalam motor meningkat per satuan waktu. Untuk kendaraan bermotor pendinginan gas dapat dibuat dengan ukuran yang kecil dan sederhana, sebab gerakan kendaraan umumnya membuat pertukaran panas yang efisien.

IV. BAHAN BAKAR

Gasifier memerlukan bahan bakar padat dalam bentuk partikel-partikel dengan ukuran yang relatif sama besarnya. Hampir setiap bahan yang mengandung karbon atau biomassa dapat digunakan sebagai bahan bakar. Tetapi walaupun demikian untuk suatu bahan bakar tertentu hanya cocok digunakan pada gasifier rancangan tertentu, tidak dapat digunakan untuk semua jenis gasifier. Ini dimaksudkan untuk memperpanjang penggunaan praktis. Tanpa memperhatikan

hal ini, tidak ada yang menjamin bahwa bahan bakar akan memuaskan pada kondisi operasi yang sebenarnya. Gasifier yang direncanakan untuk bahan bakar yang tidak mengandung ter seperti batu bara, tidak dapat digunakan untuk bahan bakar yang mengandung ter seperti kayu.

Ukuran bahan bakar adalah penting. Ukuran yang terlalu besar menurunkan reaktivitas bahan bakar, nilai panas gas dan efisiensi gasifier. Ukuran bahan bakar yang besar juga membentuk abu beterbangan yang berlebihan, terutama pada updraught gasifier. Tumpukan bahan bakar akan merupakan saringan terhadap abu dari gas panas.

Mutu bahan bakar akan meningkat dengan meningkatnya kandungan karbon dari bahan bakar. Dengan demikian arang dan kokas adalah bahan bakar yang lebih baik dari pada bahan bakar lainnya. Banyak bahan bakar yang mengandung sejumlah kecil nitrogen dan sulfur yang merupakan tambahan terhadap karbon, hidrogen dan oksigen. Pada proses gasifikasi, sulfur membentuk gas-gas sulfur yang korosif dan juga merupakan unsur yang tidak berguna dan membentuk endapan jelaga.

Kandungan abu bahan bakar dan sifat-sifat abu sangat menentukan jumlah tenaga kerja yang diperlukan untuk memelihara dan mengoperasikan gasifier. Setelah gasifikasi, residu yang tidak dapat terbakar tetap sebagai abu atau jelaga yang harus dikeluarkan untuk menghindari penyumbatan gasifier. Gasifikasi dari setiap residu yang memiliki kandungan abu 5% atau lebih memerlukan suatu rancangan gasifier untuk mengatasi jelaga yang dihasilkan dari lelehan abu pada zone pembakaran. Misalnya down-draught gasifier yang dapat bekerja secara baik dengan bahan bakar kayu akan tersumbat dengan jelaga dari hampir semua bahan bakar yang memiliki kandungan abu 5% atau lebih.

Di dalam praktek bahan bakar padat mengandung air. Kayu misalnya, mengandung air sampai 25% jika masih hijau. Gasifier memerlukan bahan bakar yang kering di udara. Kandungan air yang berlebihan mendinginkan gasifier, oleh karena itu menurunkan efisiensi gasifier. Air juga menjadi hambatan pada gasifier ketika dihidupkan kembali, karena gasifier dingin. Pengembunan uap membasahi bahan bakar. Kandungan air yang berlebihan juga memberikan

suatu beban tambahan pada sistem penjernihan dan pendinginan gas. Pada umumnya rancangan gasifier layak diberi umpan material kering dengan kandungan uap air sekitar 30%. Jika gas akan digunakan untuk menghasilkan suhu penyalaan yang tinggi, maka diperlukan kandungan air tidak lebih dari 10%.

A. Kayu

Kayu yang kering di udara menghasilkan gas yang amat bagus, penggunaannya tidak melalui pembakaran arang yang menimbulkan kehilangan energi pada saat pembuatan arang. Tetapi sebaliknya, kayu berukuran besar akan menghasilkan ter. Pada penggunaan kayu adalah penting untuk menjamin bahwa hasil-hasil distilasi, khususnya ter dan uap-uap asam melewati zone pembakaran dan dihancurkan pada zone tersebut. Oleh karena itu dalam penggunaan kayu sebagai bahan bakar dipergunakan down-draught atau cross-draught gasifier. Selanjutnya setiap ter atau uap air yang terlepas keluar dari gasifier harus dikondensasikan sebelum gas masuk ke motor.

Sebelum digunakan pada gasifier, kayu harus kering dan dipotong-potong menjadi balok-balok atau serpihan. Kayu keras dipotong menjadi serpihan dengan panjang kurang dari 10 cm untuk mencegah terjadinya kantong-kantong gas di dalam gasifier. Swedia pada zaman perang menggunakan potongan-potongan kayu (*billets*) yang berukuran panjang 7,5 cm dan diameter sampai dengan 10 cm⁷⁾

B. Arang

Arang menghasilkan gas yang hampir tidak mengandung uap air atau ter, setelah pendinginan sekalipun. Di sini tidak terdapat hasil sampingan gas dari arang. Gasifier dapat memiliki konstruksi yang lebih sederhana dan lebih ringan, yang membantu mengimbangi harga arang yang tinggi. Sebagai contoh, tidak perlu menggunakan down-draught gasifier karena tidak ada ter yang harus ditangkap dan dipecah. Dengan demikian arang sebagai umpan pada gasifier tidak memerlukan jeruji dan hanya memerlukan bagian pembersihan yang sangat kecil. Di sini hanya diperlukan suatu plat yang dapat mencegah arang supaya tidak jatuh ketika abu dikeluarkan.

Arang menghasilkan suatu gas yang bersih, hampir bebas dari abu. Gas yang dihasilkan merupakan bahan bakar yang kaya akan energi yang kalau dipakai pada kendaraan akan memberikan jarak tempuh yang lebih jauh per kilogram dari pada kayu atau bahan bakar padat lainnya. Lagi pula arang lebih mudah dinyalakan dan menghasilkan gas dengan komposisi yang benar-benar konstan. Sebaliknya, arang dalam jumlah besar harus disimpan secara hati-hati karena mudah menyerap air dan selama penanganan dapat pecah menjadi debu hitam yang kotor yang dapat menyumbat gasifier. Lagi pula banyak energi yang hilang selama pembuatan arang dan penggunaan arang sebagai umpan gasifier memerlukan kayu yang lebih banyak (per satuan energi yang dihasilkan) dari pada jika gasifier diberi umpan dengan kayu.

C. Limbah Pertanian dan Perindustrian

Setiap material padat dari tanaman dapat digunakan sebagai bahan bakar pada gasifier untuk menghasilkan gas yang dapat dibakar. Limbah kayu dan pertanian seperti kulit kacang, sabut dan tempurung kelapa, tongkol dan tangkai jagung, kulit kopi, sekam padi, serbuk gergaji, jerami, ampas tebu atau setiap limbah hutan, pertanian dan industri yang dapat dijadikan arang semuanya dapat digunakan sebagai bahan bakar pada gasifier. Pada umumnya bahan bakar ini harus dimampatkan menjadi butir-butir (*pellets*) atau balok-balok atau diproses dengan cara lain sebelum dimampatkan di dalam suatu gasifier.

Berbagai daerah di Indonesia terdapat limbah hutan dan pertanian dalam jumlah yang cukup besar yang belum dimanfaatkan. Sebagai contoh di Sumatera Selatan sekitar 300.000 m³ limbah kayu per tahun terbuang percuma (Kompas, 31 Desember 1986) dan di Sulawesi Tengah terdapat limbah kelapa dalam jumlah yang cukup besar, dibuang begitu saja tanpa dimanfaatkan. Menurut data tahun 1984 di sana terdapat paling sedikit 191.933 ton sabut dan 65.805,22 ton tempurung kelapa yang tidak dimanfaatkan (Kompas, 30 Oktober 1986). Semua limbah ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada gasifier untuk dijadikan gas yang dapat dibakar dan menjadi sumber energi untuk berbagai keperluan.

V. PEMANFAATAN

Gas hasil gasifikasi biomassa dapat dimanfaatkan untuk :

- Bahan bakar untuk motor bakar yang akan menghasilkan daya
- Dibakar langsung untuk menghasilkan energi panas
- Bahan baku untuk pembuatan metanol.

Secara skematik gasifikasi biomassa dan penggunaannya dapat dilihat pada Gambar 6.

A. Sebagai Bahan Bakar Untuk Motor Bakar

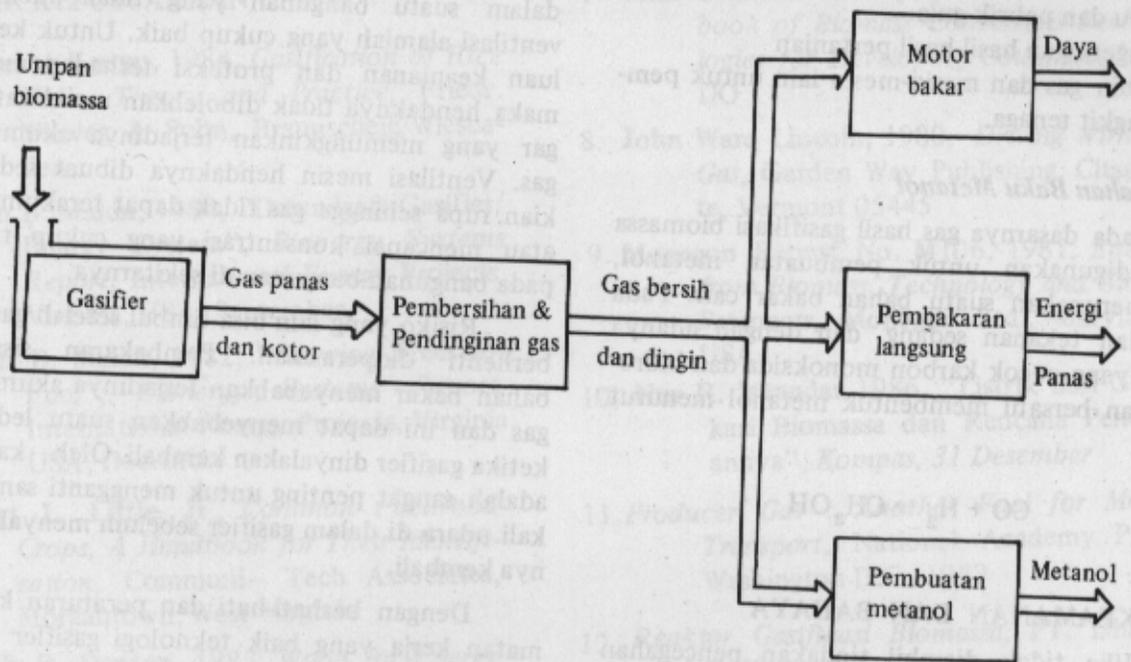
Gas hasil gasifikasi biomassa dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk motor bakar, baik pada motor penyalan cetusan bunga api (motor bensin atau otto) maupun pada motor penyalan kompresi (motor diesel). Daya yang dibangkitkan oleh motor bakar ini dapat digunakan untuk :

- menggerakkan mobil, bus, truk dan traktor
- memutar generator listrik untuk pembangkit tenaga listrik di pedesaan
- menggerakkan pompa untuk irigasi
- menjalankan mesin gergaji
- menjalankan mesin penggilingan padi
- dan berbagai keperluan daya lainnya.

1. Motor Bensin

Motor penyalan cetusan bunga api menggunakan bensin sebagai bahan bakar. Jenis motor ini kebanyakan digunakan pada mobil. Jenis motor ini secara teoritis dapat dikonversi untuk beroperasi dengan memakai 100% gas hasil gasifikasi biomassa. Pada dasarnya konversi motor adalah sangat sederhana : "pipa gas dari gasifier dihubungkan dengan manifold udara masuk ke motor, dan suatu mekanisme pengatur cekik (*throttle control*) dipasang untuk mengatur aliran gas dan udara". Sebagai tambahan, waktu penyalan umumnya dimajukan hingga 35 – 40 derajat sebelum titik mati atas pada motor-motor putaran tinggi.

Konversi yang paling sederhana adalah jika motor diubah untuk dijalankan dengan bahan bakar gas hasil gasifikasi tanpa suatu perubahan peralatan penyalan bensin ke motor. Pada kasus seperti ini bensin pada pompa bensin akan



Gambar 6. Skema gasifikasi biomassa dan penggunaannya

menjadi melimpah dan karburator dapat dibuka atau dilangkahi (*bypassed*). Pada kendaraan bermotor sistem bahan bakar bensin ini dipertahankan sedemikian rupa sehingga masih mungkin untuk menggunakan bensin untuk start dan untuk memberikan daya tambahan pada saat dipercepat atau mendaki bukit, sebab jika motor dijalankan dengan gas ini daya yang dihasilkan akan turun kadang-kadang sampai 40–50%⁷⁾

Gas hasil gasifikasi memiliki angka oktan yang lebih tinggi dari pada bensin, sehingga menyebabkan detonasi pada motor berkurang. Angka oktan gas hasil gasifikasi adalah sekitar 120.

2. Motor Diesel

Motor diesel bekerja berdasarkan penyalakan kompresi. Bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder oleh suatu pompa injeksi, dan campuran udara bahan bakar dibakar oleh kenaikan suhu yang disebabkan oleh pemampatan udara di dalam silinder pada saat piston bergerak ke atas. Menurut teori, setiap motor penyalakan kompresi dapat dikonversi untuk dijalankan dengan gas hasil gasifikasi biomassa. Tetapi karena gas hasil gasifikasi tidak memiliki sifat-sifat penyalakan sendiri yang diperlukan, maka pemakaian minyak solar tidak dapat digantikan 100%. Masih tetap

diperlukan sejumlah kecil injeksi minyak solar untuk menjamin bahwa pembakaran terjadi pada setiap siklus motor. Untuk ini diperlukan injeksi minyak solar antara 5 – 10%. Jika motor berjalan dengan injeksi solar yang minimum, maka daya motor akan turun sekitar 20%⁵⁾.

Motor penyalakan kompresi juga mungkin dijalankan dengan 100% gas hasil gasifikasi dengan mengubah motor diesel menjadi motor bensin yang bekerja menurut siklus Otto. Di sini perlu dipasang busi dan sistem penyalakan.

B. Pembakaran Langsung

Sistem gasifier pemanas langsung adalah di mana gas hasil gasifikasi dibakar secara langsung di dalam suatu dapur atau ketel atau kiln. Tergantung kepada penggunaannya, kualitas gas kadang-kadang tidak menjadi masalah dibandingkan dengan penggunaan pada motor bakar. Dalam hal ini gas dapat langsung dibakar tanpa melalui pembersihan dan pendinginan.

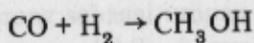
Energi panas yang dihasilkan pada pembakaran langsung dapat digunakan untuk :

- kiln pembuatan batu bata, keramik, gelas atau semen
- ketel pada penggilingan padi, penggergajian

- kayu dan pabrik gula
- c. pengeringan hasil-hasil pertanian
- d. turbin gas dan mesin-mesin lain untuk pembangkit tenaga.

C. Bahan Baku Metanol

Pada dasarnya gas hasil gasifikasi biomassa dapat digunakan untuk pembuatan metanol, yang merupakan suatu bahan bakar cair. Pada suhu dan tekanan sedang, dan dengan adanya katalis yang cocok karbon monoksida dan hidrogen akan bersatu membentuk metanol menurut reaksi :



VI. KEAMANAN DAN BAHAYA

Jika tidak diambil tindakan pencegahan bahaya yang keras, maka pengoperasian gasifier dapat sangat berbahaya. Operasi yang aman dari kebanyakan mesin memerlukan ketelitian dan tindakan pencegahan bahaya yang cukup memadai, tetapi bahaya khusus dapat timbul pada kasus gasifier sebab gasifier menghasilkan gas dengan kandungan karbon monoksida yang tinggi yang memungkinkan timbulnya risiko kebakaran dan ledakan.

Gas karbon monoksida (CO) tidak berwarna, tidak berbau dan kerapatannya hampir sama dengan udara sehingga agak sulit diketahui bila ada kebocoran. Gas CO yang masuk paru-paru ketika menghirup udara akan segera bereaksi dengan haemoglobin (Hb) menjadi HbCO yang merupakan ikatan kuat (stabil). Makin banyak Hb yang terikat oleh CO, berarti orang kehilangan banyak Hb. Pada konsentrasi karbon monoksida 0,5% volume di udara, dalam waktu 2 - 4 jam akan menyebabkan ketidaksadaran, tergantung kepada tingkat aktivitas dan kecepatan pernapasan orang yang menghirupnya. Menghirup gas CO dengan konsentrasi yang lebih tinggi dapat menyebabkan kematian dalam waktu yang singkat.⁷⁾

Gasifier hendaknya tidak ditempatkan di

dalam suatu bangunan yang tidak memiliki ventilasi alamiah yang cukup baik. Untuk keperluan keamanan dan proteksi terhadap cuaca, maka hendaknya tidak dibolehkan membuat pagar yang memungkinkan terjadinya akumulasi gas. Ventilasi mesin hendaknya dibuat sedemikian rupa sehingga gas tidak dapat terakumulasi atau mencapai konsentrasi yang cukup tinggi pada bangunan-bangunan di sekitarnya.

Risiko yang lain bisa timbul setelah gasifier berhenti dioperasikan. Pembakaran sisa-sisa bahan bakar menyebabkan terjadinya akumulasi gas dan ini dapat menyebabkan suatu ledakan ketika gasifier dinyalakan kembali. Oleh karena adalah sangat penting untuk mengganti sama sekali udara di dalam gasifier sebelum menyalakannya kembali.

Dengan berhati-hati dan peraturan keselamatan kerja yang baik teknologi gasifier dapat dibuat bekerja dengan tingkat keamanan yang cukup baik. Gas hasil gasifikasi biomassa hendaknya tidak digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak makanan.

VII. KESIMPULAN

Gas hasil gasifikasi biomassa merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan untuk keperluan pembangkitan daya dan tenaga listrik di pedesaan. Terutama pada daerah-daerah di mana terdapat limbah hutan dan pertanian dalam jumlah yang cukup besar. Daya yang dihasilkan oleh motor bakar dengan bahan bakar hasil gasifikasi biomassa dapat digunakan untuk menggerakkan mobil, pompa irigasi, generator listrik, mesin gergaji, penggilingan padi dan berbagai keperluan daya lainnya.

Untuk mengoperasikan gasifier masalah keamanan (*safety*) benar-benar harus diperhatikan. Karena gasifier menghasilkan gas dengan kandungan gas karbon monoksida yang cukup tinggi. Gas CO merupakan gas beracun yang sangat berbahaya bagi manusia.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. **Albrecht Kaupp**, 1984, *Gasification of Rice Hulls, Theory and Practice*, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden
2. **Dean B. Mahin**, 1984, "Downdraft Gasifier/Energy System", *Bionergy Systems Report*, International Energy Projects, Virginia, USA, September
3. **Dean B. Mahin**, 1982, "Growing Trees for Fuel", *Bionergy Systems Report*, International Energy Projects, Virginia USA, December
4. **Elbert L. Little, Jr.**, *Common Fuelwood Crops, A Handbook for Their Identification*, Communi-Tech Associates, Morgantown, West Virginia
5. **Frank H. Denton**, 1983, *Wood for Energy and Rural Development*, The Philippine Experience, Manila
6. **Gerald Foley and Geoffrey barnard**, 1983, *Biomass Gasification in Developing Countries*, Earthscan, London
7. **Jean-Francois Hendry, et. al.**, 1984, *Handbook of Biomass Conversion Technologies for Developing Countries*, UNIDO
8. **John Ware Lincoln**, 1980, *Driving Without Gas*, Garden Way Publishing, Charlotte, Vermont 05445
9. Monegon Report No. M106, 1981, *Energy from Biomass, Technology and Global Prospects*, Monegon Ltd., Maryland, USA
10. **Nur R. Iskandar** 1986, "Listrik dari Gasifikasi Biomassa dan Rencana Penerapannya", *Kompas*, 31 Desember
11. *Producer Gas : Another Fuel for Motor Transport*, National Academy Press, Washington D.C., 1983
12. *Reaktor Gasifikasi Biomassa*, PT. Dharma Sadhana Yukti, Bandung.
13. **Samir S. Sofer and Oskar R. Zaborsky**, *Biomass Conversion Processes for Energy and Fuels*, Plenum Press, New York