

Desain Gasifier Biomassa

Ditulis oleh: Jufrizal, S.T., M.T.

Afiliasi: Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area

Email: jufrizal@staff.uma.ac.id

Dipublikasikan: 13 Juni 2024



Bahan Ajar – Biomassa

Pertemuan : 12

Topik : Desain Gasifier Biomassa

Dosen : Jufrizal, S.T., M.T.

P12 - Desain Gasifier Biomassa

Gasifier biomassa adalah perangkat yang mengonversi bahan biomassa menjadi gas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar melalui proses gasifikasi. Gasifikasi adalah proses termokimia yang melibatkan pemanasan biomassa dalam kondisi terbatas oksigen untuk menghasilkan gas sintesis (syngas), yang terdiri dari campuran karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), metana (CH₄), dan karbon dioksida (CO₂) (Rajvanshi, 1986; Basu, 2010).

Gasifier memiliki beberapa komponen utama: zona pengeringan untuk menghilangkan kelembaban dari biomassa, zona pirolisis untuk mengurai biomassa menjadi tar, gas volatil, dan arang, zona oksidasi untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan untuk pirolisis dan gasifikasi, dan zona reduksi untuk mengubah gas yang dihasilkan menjadi gas yang mudah terbakar (Basu, 2010; Kaupp, 1984).

Proses gasifikasi terdiri dari beberapa tahap: pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi. Tahapan ini penting untuk memastikan efisiensi dan kestabilan produksi syngas (Reed & Das, 1988).

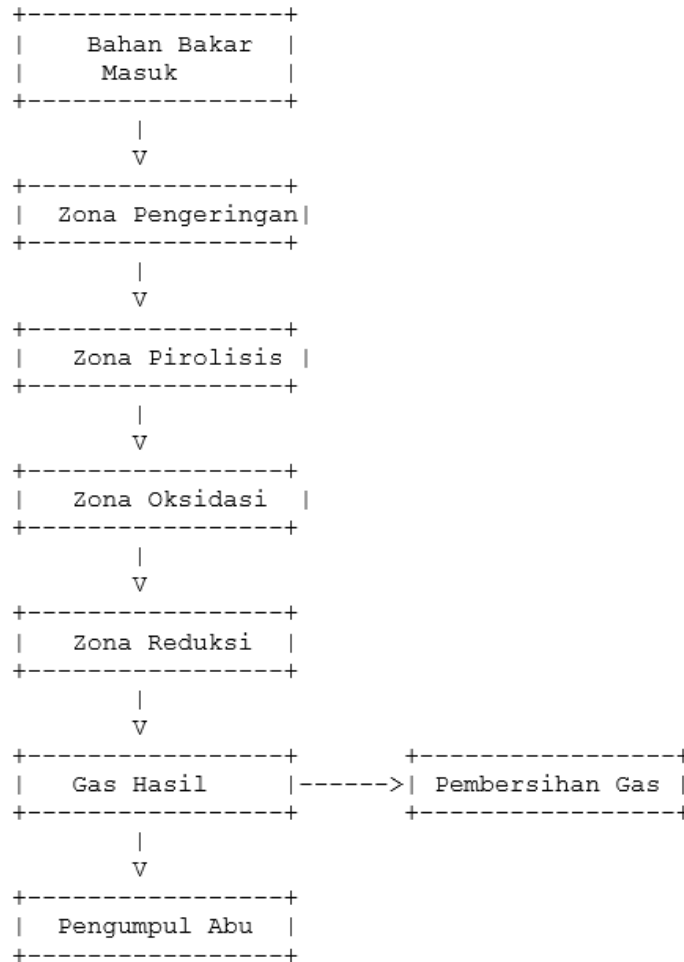
Gasifier biomassa memiliki beberapa keuntungan, termasuk efisiensi energi yang tinggi, pemanfaatan biomassa yang luas, pengurangan emisi, dan penggunaan sebagai sumber energi terbarukan (Groeneveld, 1980). Aplikasi gasifier biomassa meliputi pembangkit listrik, pemanas industri, dan bahan bakar kendaraan (Reed & Gaur, 2001).

Jenis-jenis gasifier mencakup beberapa kategori utama, yaitu updraft, downdraft, dan fluidized bed gasifier. Updraft gasifier memasukkan biomassa dari atas dan udara dari bawah, menghasilkan produksi gas yang lebih stabil namun mengandung tar lebih tinggi (Reed & Gaur, 2001). Downdraft gasifier memasukkan biomassa dan udara dari atas, menghasilkan syngas dengan kandungan tar yang lebih rendah (Kaupp, 1984). Fluidized bed gasifier menggunakan media inert untuk mendistribusikan panas secara merata, cocok untuk skala besar dan efisiensi tinggi (Basu, 2010).

Gasifier biomassa dapat digunakan dalam berbagai aplikasi:

1. **Pembangkit Listrik:** Syngas dapat digunakan untuk menggerakkan turbin atau mesin pembangkit listrik (Rajvanshi, 1986).
2. **Pemanas Industri:** Gas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk berbagai aplikasi pemanas industri (Basu, 2010).
3. **Bahan Bakar Kendaraan:** Dengan pemurnian lebih lanjut, syngas dapat diubah menjadi bahan bakar cair seperti metanol atau digunakan langsung sebagai bahan bakar untuk kendaraan (Reed & Gaur, 2001).

Desain gasifier biomassa adalah proses yang penting untuk mengonversi bahan bakar biomassa menjadi gas yang dapat digunakan sebagai energi. Diagram sederhana yang menggambarkan komponen utama gasifier biomassa seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram sederhana yang menggambarkan komponen utama gasifier biomassa

Berikut adalah langkah-langkah dasar dalam desain gasifier biomassa:

1. Pemilihan Bahan Bakar
 - Jenis biomassa yang akan digunakan (misalnya, kayu, serbuk gergaji, sekam padi).
 - Kelembaban bahan bakar, ukuran partikel, dan komposisi kimia (Kaupp, 1984).
2. Jenis Gasifier
 - Gasifier Updraft: Biomassa dimasukkan dari atas, dan udara masuk dari bawah. Cocok untuk biomassa yang memiliki kadar kelembaban tinggi.
 - Gasifier Downdraft: Biomassa dan udara masuk dari atas. Lebih cocok untuk biomassa kering dan menghasilkan gas yang lebih bersih.
 - Gasifier Fluidized Bed: Menggunakan pasir atau bahan inert lain untuk mendistribusikan panas secara merata dan meningkatkan efisiensi (Reed & Das, 1988; Basu, 2010).
3. Desain Reaktor
 - Zona Pengeringan: Biomassa dipanaskan untuk menghilangkan kelembaban.
 - Zona Pirolisis: Biomassa dipanaskan lebih lanjut untuk menghasilkan tar dan gas volatil.
 - Zona Oksidasi: Oksidasi parsial terjadi untuk menghasilkan gas yang mudah terbakar.

- Zona Reduksi: Gas-gas yang dihasilkan diubah menjadi gas yang dapat digunakan seperti CO, H₂, dan CH₄ (Rajvanshi, 1986; Basu, 2010).
- 4. Sistem Pemasukan Udara
 - Kontrol aliran udara untuk memastikan oksidasi parsial yang efisien.
 - Sistem distribusi udara untuk memastikan aliran udara merata ke seluruh reaktor (Reed & Gaur, 2001).
- 5. Sistem Pengumpul Abu
 - Desain untuk mengeluarkan abu dari dasar gasifier untuk mencegah akumulasi yang dapat mengganggu proses gasifikasi (Basu, 2010).
- 6. Pendinginan dan Pembersihan Gas
 - Sistem untuk mendinginkan dan membersihkan gas yang dihasilkan dari tar, debu, dan kontaminan lain sebelum digunakan sebagai bahan bakar (Kaupp, 1984; Basu, 2010).
- 7. Material dan Konstruksi
 - Material tahan panas yang dapat menahan suhu tinggi.
 - Desain yang mempertimbangkan ekspansi termal dan korosi (Rajvanshi, 1986).
- 8. Kontrol dan Monitoring
 - Sistem kontrol otomatis untuk mengatur aliran udara dan bahan bakar.
 - Sensor suhu, tekanan, dan komposisi gas untuk pemantauan dan pengendalian proses (Reed & Gaur, 2001).

Dalam mendesain gasifier updraft, pertama-tama diperlukan pemilihan bahan bakar yang tepat, misalnya serbuk gergaji dengan kandungan air 10%. Pada laju aliran biomassa 50 kg/jam dan nilai kalor 18 MJ/kg, penting untuk memperhitungkan efisiensi gasifikasi yang biasanya sekitar 75% (Kaupp, 1984). Selama proses ini, biomassa dipanaskan hingga temperatur operasi sekitar 800°C (Reed & Das, 1988). Dalam zona pengeringan, kelembaban dihilangkan untuk mengurangi beban energi selama gasifikasi. Di zona pirolisis, biomassa diurai lebih lanjut menjadi tar dan gas volatil. Oksidasi parsial terjadi di zona oksidasi, menghasilkan gas yang dapat terbakar seperti CO, H₂, dan CH₄, yang kemudian diubah di zona reduksi menjadi syngas yang lebih stabil (Rajvanshi, 1986; Basu, 2010).

Selanjutnya, sistem pemasukan udara perlu dirancang untuk memastikan oksidasi parsial yang efisien dan distribusi udara yang merata ke seluruh reaktor (Reed & Gaur, 2001). Desain sistem pengumpul abu juga penting untuk mengeluarkan abu dari dasar gasifier dan mencegah akumulasi yang dapat mengganggu proses (Basu, 2010). Sistem pendinginan dan pembersihan gas diperlukan untuk mendinginkan dan membersihkan gas yang dihasilkan dari tar, debu, dan kontaminan lainnya sebelum digunakan sebagai bahan bakar (Kaupp, 1984; Basu, 2010).

Material dan konstruksi gasifier harus tahan panas dan mampu menahan suhu tinggi serta ekspansi termal dan korosi (Rajvanshi, 1986). Terakhir, sistem kontrol dan monitoring yang otomatis diperlukan untuk mengatur aliran udara dan bahan bakar, serta sensor untuk memantau suhu, tekanan, dan komposisi gas selama proses gasifikasi (Reed & Gaur, 2001).

Berikut adalah contoh perhitungan dasar untuk desain gasifier updraft dengan asumsi beberapa parameter dan kondisi operasi:

Parameter yang Diketahui

1. Jenis biomassa : Serbuk gergaji
2. Kandungan air : 10%
3. Laju aliran biomassa : 50 kg/jam
4. Nilai kalor biomassa (dry basis) : 18 MJ/kg
5. Efisiensi gasifikasi : 75%
6. Kandungan karbon dalam biomassa : 50%
7. Temperatur operasi : 800°C

Langkah-langkah Perhitungan:

1. Hitung Energi yang Dibutuhkan untuk Menguapkan Air
 - Kandungan air dalam biomassa: $50 \text{ kg/jam} \times 10\% = 5 \text{ kg/jam}$
 - Energi untuk menguapkan air: $5 \text{ kg/jam} \times 2260 \text{ kJ/kg} = 11300 \text{ kJ/jam}$
2. Hitung Energi yang Tersedia dari Biomassa
 - Energi total dalam biomassa: $50 \text{ kg/jam} \times 18 \text{ MJ/kg} = 900 \text{ MJ/jam}$
 - Energi yang digunakan untuk menguapkan air: 11,3 MJ/jam (dari langkah 1)
 - Energi yang tersisa untuk gasifikasi: $900 \text{ MJ/jam} - 11,3 \text{ MJ/jam} = 888,7 \text{ MJ/jam}$
3. Hitung Energi dalam Gas yang Dihasilkan
 - Energi dalam gas yang dihasilkan: $888,7 \text{ MJ/jam} \times 75\% = 666,525 \text{ MJ/jam}$
4. Hitung Produksi Gas
 - Energi per meter kubik gas (kandungan energi gas): Misalkan 5 MJ/m^3
 - Produksi gas: $\frac{666,525 \text{ MJ/jam}}{5 \text{ MJ/m}^3} = 133,305 \text{ m}^3/\text{jam}$.
5. Hitung Konsumsi Udara
 - Kandungan karbon dalam biomassa: $50\% \times 50 \text{ kg/jam} = 25 \text{ kg/jam}$
 - Udara yang dibutuhkan untuk pembakaran: $25 \text{ kg/jam} \times \frac{32 \text{ kg udara}}{12 \text{ kg karbon}} = 66,67 \text{ kg/jam}$
 - Udara berlebih: Asumsikan 20% tambahan, maka $66,67 \text{ kg/jam} \times 1,2 = 80 \text{ kg/jam}$
6. Dimensi Reaktor
 - Volume reaktor: Berdasarkan pengalaman, asumsi waktu tinggal biomassa dalam reaktor adalah 1 jam.
 - Volume yang dibutuhkan: $50 \text{ kg biomassa/jam} / \text{kepadatan bulk (misalnya } 200 \text{ kg/m}^3) = 0,25 \text{ m}^3$.
 - Dimensi reaktor: Misalkan tinggi reaktor 2 meter, diameter = $\sqrt{\frac{0,25 \text{ m}^3}{\pi \times 2 \text{ m}}} = \sqrt{\frac{0,25}{6,28}}$
 $= \sqrt{0,04} \approx 0,2 \text{ meter}$.

Kesimpulan

Dengan asumsi parameter dan kondisi operasi di atas, sebuah gasifier updraft untuk memproses 50 kg/jam serbuk gergaji memerlukan:

- Energi untuk menguapkan air: 11,3 MJ/jam
- Energi yang tersedia untuk gasifikasi: 888,7 MJ/jam
- Produksi gas: 133,305 m³/jam
- Konsumsi udara: 80 kg/jam
- Volume reaktor: 0,25 m³ (dengan tinggi 2 meter dan diameter 0,2 meter).

Daftar Pustaka

- Basu, P. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory. Elsevier.
- Groeneveld, M. J. (1980). Biomass Gasification. In P. V. H. Wilson (Ed.), Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity. Island Press.
- Kaupp, A. (1984). Small Scale Gas Producer-Engine Systems. GATE/GTZ, Eschborn.
- Rajvanshi, A. K. (1986). Biomass Gasification. In P. V. H. Wilson (Ed.), Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity. Island Press.
- Reed, T. B., & Das, A. (1988). Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems. Solar Energy Research Institute.
- Reed, T. B., & Gaur, S. (2001). A Survey of Biomass Gasification. Progress in Energy and Combustion Science.