

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Suliono dkk (2014) melakukan studi karakteristik reaktor gasifikasi type downdraft serbuk kayu dengan variasi *equivalensi ratio*. Penelitiannya menggunakan gasifikasi tipe *downdraft* yang terdiri dari 4 tahap yaitu *drying*, *pyrolysis*, gasifikasi (*reduction*), dan oksidasi (pembakaran). Tingginya nilai *Equivalensi Ratio* akan berdampak pada hasil gas yang cenderung sedikit. Hal tersebut dapat disiasati dengan mengimbangnya dengan menambahkan bahan bakar dan udara masuk yang lebih banyak. Dibandingkan dengan batubara atau gas yang lain, komposisi *syngas* biomassa lebih kecil.

Vidian dkk (2015) melakukan studi awal gasifikasi serbuk kayu pada *open top stratified downdraft gasifier*. Dibutuhkan waktu lebih kurang 20 menit untuk mendapatkan kondisi reaktor yang sangat panas, kondisi reaktor yang panas inilah gas mampu bakar dapat diperoleh. Gas mampu bakar bisa berhenti ketika ada bahan bakar yang belum terbakar pada lapisan *flaming* pirolisis. Penggunaan bahan bakar lebih kurang 5 kg dapat menghasilkan gas mampu nyala setelah operasi berjalan lebih kurang 15 menit dengan jarak *flaming pyrolysis* dari posisi udara masuk 5 – 10 cm. Proses gasifikasi dapat berjalan dengan nilai *equivalensi rasio* antara 0,17 sampai 0,36.

Yolanda (2015) melakukan penelitian gasifikasi biomassa (serbuk kayu laban) sistem *updraft single gas outlet* dengan sistem pembersih filter jerami. *System updraft* dengan bahan bakar serbuk kayu laban (*Vitex pubescens*) menghasilkan *syngas* yang masih mengandung partikel pengotor yang tidak sedikit jumlahnya, Maka dibutuhkan sistem pembersih berupa filter menggunakan jerami untuk menyaring partikel yang kotor tersebut.

Riyadi (2015) melakukan studi eksperimen gasifikasi menggunakan *fluidized bed gasifier* berbahan bakar sekam padi, serbuk gergaji kayu jati dan serbuk gergaji kayu sengon penghasil *syngas*. Hal yang sangat mempengaruhi temperatur reaktor, temperatur pembakaran waktu lama pendidihan, nyala efektif, dan efisiensi thermal

yaitu jenis bahan bakar yang digunakan. Kalor sensibel pada bahan bakar serbuk gergaji kayu sengon campur sekam padi sebesar 603,676 kJ, sekam padi 503,718 kJ, serbuk gergaji kayu jati campur sekam padi 603,670 kJ. Sedangkan kalor laten pada bahan bakar serbuk gergaji kayu sengon campur sekam padi 627,61 kJ, sekam padi 975,74 kJ, serbuk gergaji kayu jati campur sekam padi 394,63 kJ. Nyala efektif didapat dengan bahan bakar sekam padi selama 90 menit, lalu bahan bakar serbuk kayu jati campur sekam padi selama 88 menit, dan bahan bakar serbuk kayu sengon campur sekam padi selama 68 menit.

Lestari (2014) melakukan penelitian tentang rancang bangun reaktor gasifikasi tipe *Fluidized Bed* untuk umpan arang sekam. Proses desain disimulasikan menggunakan Aspen Plus 23.0, menggunakan tiga model reaktor yaitu R. Yield, R. Gibbs, dan R. CSTR. Data yang dimasukkan yaitu diameter reaktor 0,2 m, diameter lubang masuk umpan 0,54 m, tinggi reaktor gasifikasi 1,3 m, diameter pipa dalam 0,06 m, tinggi corong 0,287 m dengan kemiringan 45°, dan tinggi pipa dalam 0,877. Setelah disimulasikan diketahui bahwa kandungan karbon dalam sekam tidak semuanya dapat terurai menjadi gas. Karbon yang tidak terurai bernilai 0,035 kmol jam⁻¹, H₂O dan CO₂ mengalami reaksi dengan karbon sehingga jumlah senyawa tersebut sangatlah kecil, sedangkan N₂ tidak mengalami perubahan yang bernilai 0,111 kmol jam⁻¹. Pada pengujian reaktor, perubahan tekanan menggunakan pasir lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanpa pasir. Hal ini disebabkan karena densitas pada pasir lebih besar daripada arang sekam. Pada proses pengujian, pasir yang digunakan mengalami penggumpalan sehingga tidak terjadi gasifikasi di dalam reaktor serta gas yang dihasilkan tidak stabil. Sedangkan pengujian yang dilakukan tanpa pasir temperatur pada proses gasifikasi fluktuatif. Hal ini menyebabkan tidak stabilnya gas yang dihasilkan.

Ummadisingu dkk (2010) melakukan penelitian tentang *Experimental Studies on Gasification of Pine Wood Shavings in a Downdraft Biomass Gasifier*. Jumlah gas CO dan H₂ yang bagus didapat selama proses yang stabil antara 10 sampai 20 menit. Persentase gas H₂ yang diperoleh yaitu antara 6,8% sampai 13,4% sedangkan CO diperoleh antara 6,5% sampai 22%. Fraksi molar dari N₂ dan CO₂ menurun hingga *equivalence ratio* (ER) 0,21. Untuk nilai f yang lebih besar mulai

dari 0,21 sampai 0,41, ada peningkatan pada fraksi N_2 dan CO_2 . Suhu zona oksidasi bervariasi dari suhu 900 °C sampai 1150 °C dan zona pirolisis bervariasi antara 150 °C sampai 400 °C. Pada *equivalence ratio* (ER) 0,21, temperatur zona oksidasi melewati *maxima*. Nilai optimal untuk *equivalence ration* (ER) untuk serutan kayu pinus *roxburghii* menggunakan *downdraft gasifier* yang dipelajari adalah 0,21.

Widyawidura dkk (2017) melakukan penelitian pengaruh jenis bahan terhadap proses gasifikasi sampah organik menggunakan *Updraft Fixed Bed Reactor*. Perbedaan jenis bahan bakar sangat mempengaruhi distribusi suhu proses gasifikasi. Bahan sekam padi mampu menghasilkan laju kenaikan suhu yang lebih cepat dibandingkan dengan ranting kayu maupun pelet serbuk gergaji. Namun sekam padi mencapai titik puncak lebih cepat sehingga akan turun lebih cepat pula dibandingkan ranting kayu ataupun pelet serbuk gergaji. Bahan sekam padi dapat menghasilkan gas yang bisa dibakar setelah proses gasifikasi berjalan 15 menit, sedangkan ranting kayu setelah 45 menit dan pelet serbuk gergaji setelah 30 menit. Bahan sekam padi mampu menyala selama 15 menit, sedangkan pelet serbuk gergaji selama 45 menit, dan ranting kayu selama 30 menit.

Suyitno dkk (2011) melakukan penelitian tentang *Mechanism of the Char Reduction Reaction in a Staged Gasification: Sensitivity of Water Gas Shift Reaction*. Mekanisme reaksi realistis pengurangan arang dalam *gasifier* bertingkat *Graz* disimulasikan menggunakan CFD berdasarkan model *Lagrangian*. Reaksi utamanya adalah endotermik: profil suhu sepanjang zona reduksi menurun. Udara tambahan dikonsumsi untuk oksidasi atom CO , H_2 , dan sejumlah kecil yang digunakan untuk oksidasi atom $C(s)$. Arang diubah menjadi gas melalui *wgr*, gasifikasi CO_2 , gasifikasi H_2 , dan pada kadar air kayu yang tinggi melalui *wgr-ssg*. Laju reaksi dari *wgsr* sangat sensitif terhadap konsentrasi uap. Karena reaksi *wgsr* dan *wgr-ssg*, hasil CO_2 dan H_2 pada kadar air 98% lebih tinggi dibandingkan dengan kadar air 15%. Komposisi gas dan profil temperatur dari simulasi melalui 11 reaksi lebih realistis daripada dari simulasi melalui 10 reaksi.

Sutanto dkk (2015) melakukan penelitian pengaruh laju aliran *agent* gas pada proses gasifikasi kotoran kuda terhadap karakteristik *syngas* yang dihasilkan. Pada proses gasifikasi tidak hanya menggunakan bahan bakar dari limbah pertanian dan

batubara saja, namun dapat menggunakan bahan bakar dari limbah padat peternakan dengan hasil yang sungguh luar biasa. Produksi gas CO yang semakin besar dipengaruhi oleh laju aliran *agent* gas. Nilai kalor yang dihasilkanpun akan semakin besar pula.

Najib (2012) melakukan penelitian tentang karakterisasi proses gasifikasi biomassa tempurung kelapa sistem *downdraft* kontinyu dengan variasi perbandingan udara-bahan bakar (AFR) dan ukuran biomassa. Dalam penelitian menggunakan reaktor gasifikasi tipe *downdraft* sistem kontinyu dengan bahan bakar tempurung kelapa menghasilkan nyala api yang stabil. Semakin kecil komposisi *flammable* gas dan LHV *syngas*, membutuhkan AFR yang semakin besar. Ukurang tempurung kelapa mempengaruhi efisiensi gasifikasi, ukuran yang lebih kecil akan memiliki efisiensi gasifikasi yang semakin besar.

1.2 Dasar Teori

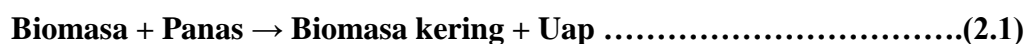
1.2.1 Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses yang mengubah bahan bakar padat menjadi gas secara termokimia, yang memerlukan udara lebih rendah daripada yang digunakan pada proses pembakaran. Reaksi kimia utama saat proses gasifikasi adalah endotermis (selama proses berlangsung membutuhkan panas dari luar). Jenis gas yang dihasilkan yaitu CO, H₂, CH₄, dan CO₂. Tujuan dari gasifikasi adalah untuk memutus ikatan dari molekul.

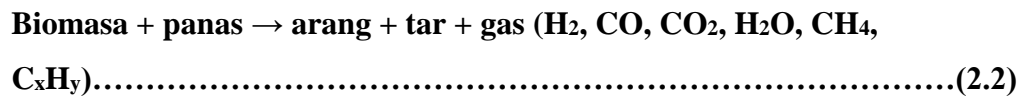
Gasifier adalah istilah untuk kompor yang memproduksi *syntetic gas* dengan cara pembakaran tidak sempurna bahan bakar padatan pada temperatur sekitar 600-700°C. Bahan bakar tersebut dapat berupa batubara ataupun biomassa (Lertsatitthanakorn, 2014).

Tahapan Proses Gasifikasi meliputi pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi sampai menghasilkan gas. Tahapan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1.

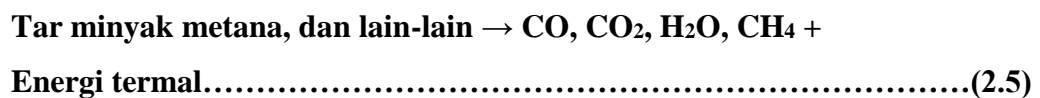
1. **Pengeringan:** Prosesnya yaitu kandungan air yang ada dalam biomassa diekstrak dalam bentuk uap tanpa adanya dekomposisi kimia dari biomasa.



2. **Pirolisis:** Setelah pengeringan dilakukan, bahan bakar akan turun dan menerima panas sebesar 250-500°C dalam kondisi tanpa udara. Pirolisis dimulai dari dekomposisi hemiselulosa pada 200-250°C, dekomposisi selulosa sampai 350°C, dan pirolisis sampai 500°C. Selanjutnya pengarangannya berlangsung pada 500-900 °C, yang terjadi pada batas zona pirolisis dan oksidasi. Produk dari proses ini terbagi menjadi produk cair (Tar dan PAH), produk gas (H₂, CO, CO₂, H₂O, CH₄), tar dan arang. Reaksi kimia pirolisis dapat dituliskan sebagai berikut: (Basu, 2013)

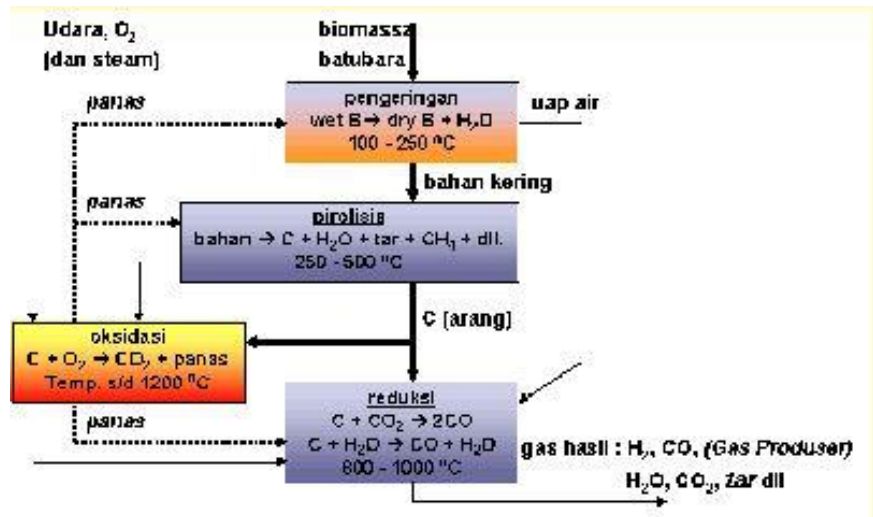


3. **Pembakaran:** adalah proses untuk dapat menghasilkan panas yang memanaskan lapisan karbon di bagian bawah. Arang yang terbentuk dari ujung zona pirolisis masuk ke oksidasi, selanjutnya dibakar pada temperatur operasi yang cukup tinggi 900-1400°C. Pada *gasifier downdraft* temperatur setinggi ini, akan menghancurkan substansi tar sehingga kandungan tar menjadi lebih rendah. Sekitar 20% arang beserta volatile teroksidasi dengan memanfaatkan O₂ yang terbatas, sisa 80% arang turun menuju bagian bawah mengalami reduksi yang hampir semuanya akan dipakai, menyisakan abu yang jatuh ke tempat pembuangan (Basu, 2013)



4. **Reduksi:** Proses ini bersifat mengambil panas yang berlangsung pada suhu 400-900°C. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia yang merupakan proses penting terbentuknya beberapa senyawa yang berguna untuk menghasilkan *combustible gas* seperti H₂, CO, CH₄ atau yang dikenal dengan *syngas*. Berikut reaksi kimia di zona reduksi: (Basu, 2013)

- Bourdouar reaction** $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO} - \text{Energi termal} \dots\dots\dots(2.6)$
- Steam-carbon reaction** $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2 - \text{Energi termal} \dots\dots(2.7)$
- Water-gas shift reaction** $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{Energi Termal} \dots(2.8)$
- CO methanation** $\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \dots\dots\dots(2.9)$



Gambar 2.1 Prinsip proses gasifikasi (Susanto, 2014)

Gasifikasi dipengaruhi juga oleh laju aliran udara, yaitu kebutuhan udara masuk gasifikasi akan lebih kecil dibandingkan dengan kebutuhan udara *stoikiometri* (pembakaran sempurna). Jumlah udara pada proses gasifikasi sangat tergantung pada reaksi pembakaran masing-masing unsur yang terdapat dalam satuan massa bahan bakar dengan udara secara sempurna dan *Equivalence Ratio* (ϕ). *Equivalence Ratio* dapat dirumuskan sebagai berikut :

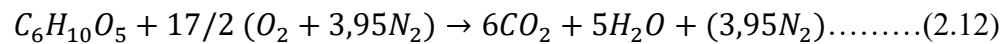
$$\phi = \text{AFR}_{\text{actual}} / \text{AFR}_{\text{stoikimetri}} \dots\dots\dots(2.10)$$

AFR adalah perbandingan antara jumlah udara dengan jumlah bahan bakar pada proses pembakaran. $\text{AFR}_{\text{stoikimetri}}$ merupakan perbandingan antara jumlah udara dan jumlah bahan bakar yang menghasilkan pembakaran sempurna. AFR dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{AFR} = \text{Massa}_{\text{udara}} / \text{Massa}_{\text{bahan bakar}} \dots\dots\dots(2.11)$$

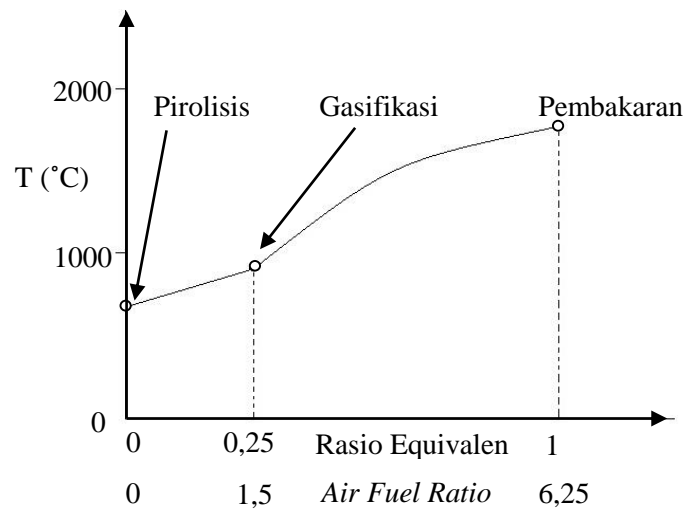
Kondisi *stoikiometri* diperoleh dengan mengetahui kandungan unsur kimia dari biomassa terlebih dahulu, kemudian dilakukan perhitungan persamaan reaksi oksidasi (Adrieq, 2016).

Rumus kimia rata-rata dari biomassa yaitu $C_6H_{10}O_5$, sehingga bila direaksikan dengan udara akan terjadi pembakaran seperti :



Nitrogen ditunjukkan dalam tanda kurung karena merupakan bagian yang tetap (*inert*) dari udara dan tidak ikut dalam reaksi namun akan tetap muncul pada hasil akhir reaksi (Tanpaiboonkul, 2010).

Pada proses penggunaan kompor gasifikasi, banyaknya udara sebagai komponen oksidasi harus diberikan dengan sesuai (gambar 2.2). *Fan* pada *updraft gasifier* sangat penting untuk menyalurkan udara untuk proses pembakaran.



Gambar 2.2 Grafik Nilai *Equivalence Ratio* dan *Air Fuel Ratio* yang sesuai pada proses gasifikasi (Aminuddin, 2012)

Belonio (2005) mengungkapkan bahwa efisiensi termal adalah perbandingan antara energi yang terpakai pada saat mendidihkan dan menguapkan air dengan energi kalor yang tersedia pada bahan bakar. Rumus untuk menghitung efisiensi termal adalah seperti persamaan 2.4 berikut :

$$ET = \frac{KS+KL}{KB} \times 100\% \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

ET = Efisiensi Termal (%)

KS = Kalor Sensibel (kJ/kg)

KL = Kalor Laten (kJ/kg)

KB = Kalor Bahan Bakar (kJ/kg)

Kelebihan gasifikasi

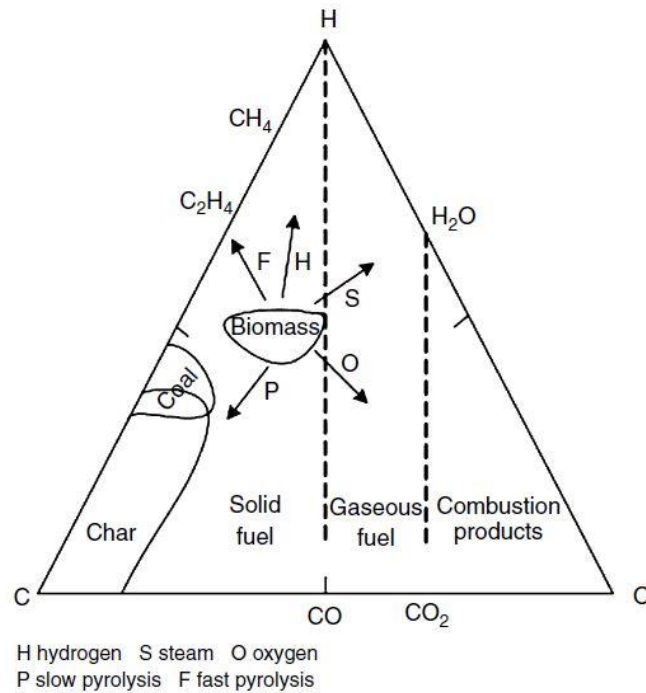
1. Produk gas yang dihasilkan stabil dan konsisten yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik.
2. Dapat menggunakan beragam bahan bakar termasuk batu bara, minyak mentah berat, biomassa, dan lainnya.
3. Sampah yang bernilai rendah bisa diubah menjadi produk yang bernilai tinggi.
4. Mengurangi jumlah sampah padat di masyarakat.
5. Tidak menghasilkan gas yang berbahaya seperti *furan* dan *dioksiin*.

1.2.2 Media Gasifikasi

Agen gasifikasi bereaksi dengan karbon padat dan hidrokarbon yang lebih berat untuk mengubahnya menjadi gas dengan berat molekul rendah seperti CO dan H₂. Agen gasifier utama yang digunakan untuk gasifikasi adalah :

- a. Oksigen
- b. Uap
- c. Udara

Oksigen adalah agen gasifikasi yang paling sering digunakan, terutama digunakan pada tahap pembakaran. Ini mungkin dipasok ke *gasifier* baik dalam bentuk murni atau melalui udara. Nilai kalor dan komposisi gas yang dihasilkan dalam *gasifier* adalah fungsi kuat dari sifat dan jumlah agen gasifikasi yang digunakan. Diagram terner dari Gambar 2.3 dari karbon, hidrogen, dan oksigen menunjukkan jalur konversi pembentukan produk yang berbeda dalam *gasifier*.



Gambar 2.3 Diagram C-H-O dari proses gasifikasi (Basu, 2013)

Tabel 2.1 Nilai pemanasan untuk gas produk berdasarkan media gasifikasi (Basu, 2013)

Medium	Heating Value (MJ/Nm ³)
Udara	4 – 7
Uap	10 – 18
Oksigen	12 - 28

Jika oksigen digunakan sebagai agen gasifikasi, jalur konversi bergerak menuju sudut oksigen. Produknya termasuk CO untuk oksigen rendah dan CO₂ untuk oksigen tinggi. Ketika oksigen melebihi jumlah tertentu (stoikiometri), proses berpindah dari gasifikasi ke pembakaran, dan produknya adalah gas buang sebagai pengganti bahan bakar gas. Gas buang atau produk pembakaran tidak mengandung nilai kalor residu ketika didinginkan. Gerakan menuju sudut oksigen (Gambar 2.3) mengarah pada penurunan kandungan hidrogen dan peningkatan senyawa berbasis karbon seperti CO dan CO₂ dalam gas produk.

Jika uap digunakan sebagai agen gasifikasi, jalurnya ke atas menuju sudut hidrogen pada Gambar 2.3. Kemudian gas produk mengandung lebih banyak

hidrogen per unit karbon, menghasilkan rasio H / C yang lebih tinggi. Beberapa produk antara seperti CO dan H₂ juga membantu proses gasifikasi karbon padat.

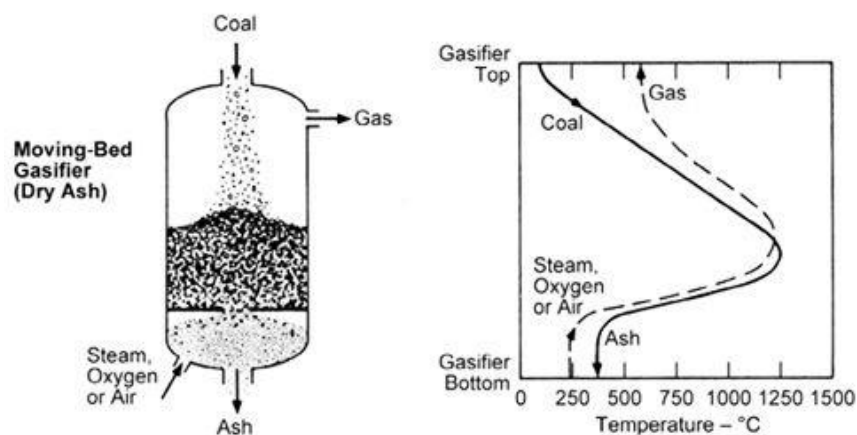
Pilihan agen gasifikasi mempengaruhi nilai kalor gas produk. Jika udara digunakan sebagai pengganti oksigen, nitrogen di dalamnya sangat melemahkan produk. Dari Tabel 2.1, kita dapat melihat bahwa gasifikasi oksigen memiliki nilai kalor tertinggi yang diikuti oleh uap dan gasifikasi udara

1.2.3 Reaktor Gasifikasi

1. Reaktor gasifikasi berdasarkan mode fluidiasi

A. Gasifikasi unggun tetap (*Fixed bed gasifier*)

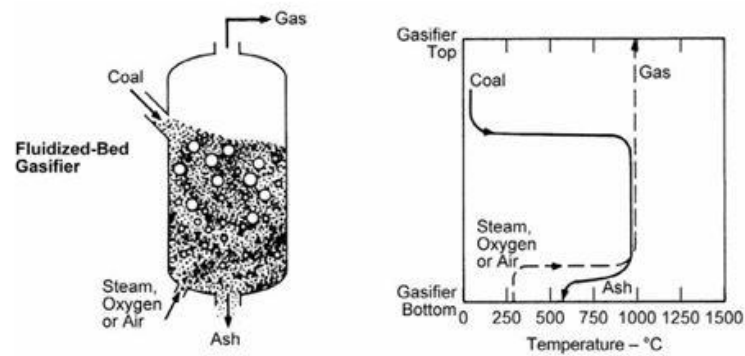
Gasifikasi unggun tetap beroperasi pada tekanan atmosfer. Bahan bakar yang digunakan masuk kedalam reaktor dan ditampung di atas pelat besi berlubang (*grate*) tahan api. Bahan bakar akan bergerak perlahan kebawah melalui *grate*, dan bereaksi dengan oksigen tinggi yang dihembuskan dari bawah berlawanan dengan arah aliran bakar di dalam reaktor.



Gambar 2.4 *Fixed Bed Gasifier* (Anonim, tanpa tahun)

B. Gasifikasi unggun terfluidasi (*Fluidized bed gasifier*)

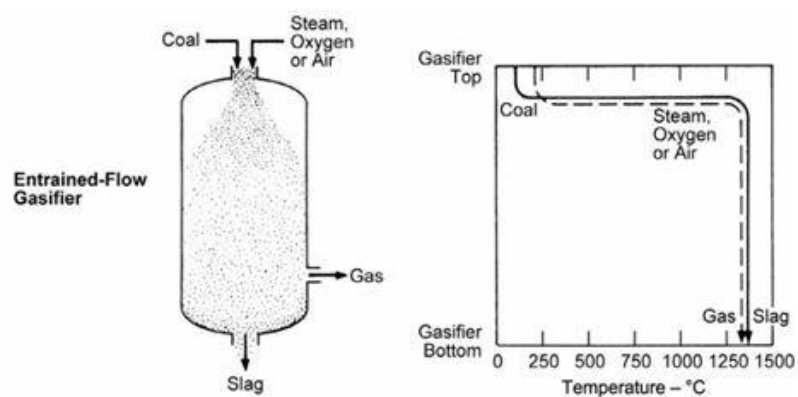
Partikel bahan bakar yang baru dan partikel bahan bakar yang sudah mengalami gasifikasi dan akan tercampur secara efisien dan menghasilkan gas yang kaya oksigen. Karena reaktor jenis ini mengalami proses pencampuran (*mixing*) di Reaktor. Gasifikasi unggun terfluidasi sangat cocok untuk batubara yang relatif reaktif, batubara peringkat rendah, serta biomassa.



Gambar 2.5 *Fluidized Bed Gasifiers* (Anonim, tanpa tahun)

C. Gasifikasi aliran semburan (*Entrained flow gasifier*)

Gasifikasi aliran semburan ini bisa menggunakan hampir semua bahan baku padat dan *syngas* yang dihasil bersih dan bebas dari tar. Udara dan bahan bakar dimasukkan melalui lubang yang sama pada bagian atas reaktor untuk mempercepat reaksi gasifikasi karena tahap pengeringan berlangsung saat bahan bakar masuk dan melalui asap padat pada reaktor.



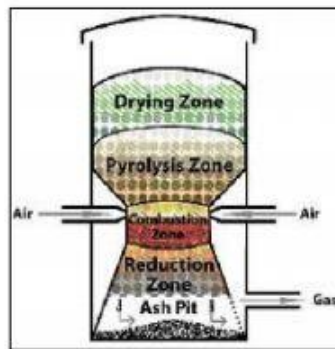
Gambar 2.6 *Entrained Flow Gasifier* (Anonim, tanpa tahun)

2. Reaktor gasifikasi berdasarkan arah aliran

A. *Downdraft gasifier*

Reaktor gasifikasi *downdraft* dirancang agar kandungan minyak dan tar yang terbawa bersama gas produser dibatasi. Bahan bakar dan aliran udara masuk searah ke dalam reaktor gasifikasi. Reaktor gasifikasi *downdraft* memiliki

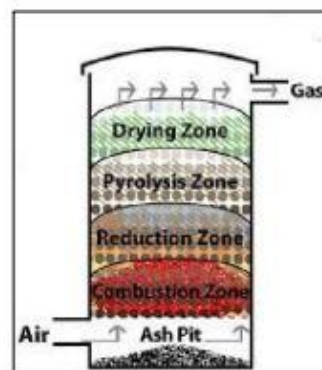
kelebihan adanya kemungkinan produksi gas bebas tar sehingga masalah lingkungan yang ditimbulkan akan lebih sedikit dibandingkan dengan reaktor gasifikasi *updraft*. Reaktor gasifikasi *downdraft* menghasilkan tar dan minyak lebih sedikit 10% dibandingkan dengan reaktor gasifikasi *updraft*. Kekurangan dari reaktor gasifikasi *downdraft* rendahnya pertukaran panas dalam sistem dan terjadinya kelembaban serta kadar abu yang tinggi menyebabkan rendahnya efisiensi keseluruhan.



Gambar 2.7 Reaktor gasifikasi *downdraft* (Lestari, 2014)

B. *Updraft* gasifier

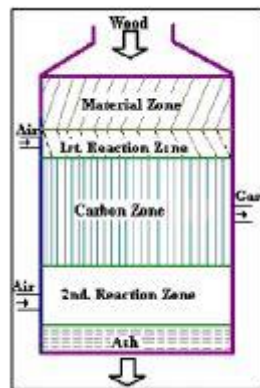
Reaktor gasifikasi *updraft* memiliki mekanisme yang sederhana, suhu keluaran rendah, dan memiliki efisiensi tinggi. Kekurangan dari reaktor gasifikasi *updraft* yaitu tingginya produksi tar pada gas keluaran yang dihasilkan serta kemampuan gas yang dihasilkan membawa muatan rendah.



Gambar 2.8 Reaktor gasifikasi *updraft* (Lestari, 2014)

C. *Twin-fire gasifier*

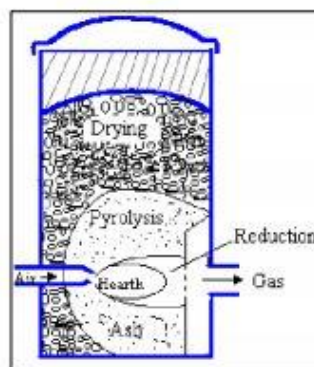
Reaktor gasifikasi *twin-fire* memiliki dua zona reaksi, yang pertama terjadinya proses pengeringan, karbonasi pada temperatur rendah, dan perengkahan gas. Kedua terjadinya proses gasifikasi arang secara permanen. Temperatur gas yang dihasilkan 460 – 520 °C. Reaktor jenis ini dapat memproduksi gas bersih dengan cukup baik.



Gambar 2.9 Reaktor gasifikasi *twin-fire* (Lestari, 2014)

D. *Crossdraft gasifier*

Merupakan jenis reaktor gasifikasi yang dirancang khusus untuk bahan bakar arang. Reaktor gasifikasi *crossdraft* tidaklah ideal, reaktor gasifikasi ini memiliki kekurangan hanya dapat menggunakan arang yang berkualitas tinggi, gas CO₂ yang tereduksi rendah, dan kecepatan gas yang diproduksi tinggi. Hal ini disebabkan oleh desain reaktor penempatan penyimpanan abu, zona pembakaran dan pereduksiannya di tempat terpisah.



Gambar 2.10 Reaktor Gasifikasi *crossdraft* (Lestari, 2014)

1.2.4 Biomassa

Sebagai sumber energi yang berkelanjutan dan terbarukan, biomassa terus menerus dibentuk oleh interaksi CO₂, udara, air, tanah, binatang, dan sinar matahari untuk fotosintesis pada tanaman. Setelah organisme mati, mikroorganisme memecah biomassa menjadi unsur-unsur dasar seperti H₂O, CO₂, dan energi potensial. Karena karbon dioksida, suatu biomassa melepaskan mikroorganisme atau pembakaran yang diserap olehnya, pembakaran biomassa tidak meningkatkan jumlah CO₂ atau efek rumah kaca.

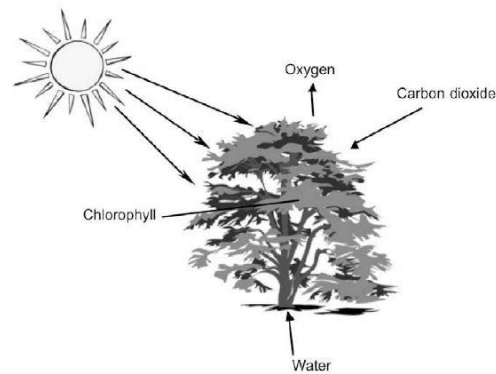
Biomassa hanya mencakup spesies biologis yang hidup dan baru saja mati yang bisa digunakan sebagai bahan bakar atau dalam produksi kimia. Pada bahan nonorganik, mengalami proses selama jutaan tahun lebih lalu diubah oleh proses geologis menjadi batu bara atau minyak bumi. Biomassa berasal dari tumbuhan atau sumber biologis (kotoran hewan atau karkas), atau campuran dari keduanya.

Biomassa dapat diperoleh dari beberapa kategori, yaitu :

1. Pertanian : biji-bijian makanan, ampas tebu, batang jagung, jerami, biji lambung, kulit kacang, dan kotoran sapi, unggas, dan babi.
2. Hutan : pohon, limbah kayu, serbuk gergaji, tebangan kayu.
3. Sampah Perkotaan : limbah lumpur, bahan bakar yang berasal dari sampah, sisa makanan, dan limbah kertas.
4. Biologis : kotoran hewan, spesies akuatik, limbah biologis.

A. Formasi Biomassa

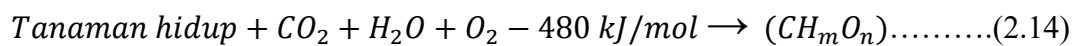
Biomassa terbentuk melalui proses konversi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer menjadi karbohidrat oleh bantuan energi matahari pada klorofil dan air. Tanaman menyerap energi matahari dalam proses fotosintesis dengan bantuan sinar matahari dari panjang gelombang tertentu, tanaman hijau memecah air untuk mendapatkan elektron dan proton dan menggunakannya untuk mengubah CO₂ menjadi glukosa.



Gambar 2.11 Skema penyerapan biomassa (Basu, 2013)

(Diwakili oleh CH_mO_n), melepaskan O_2 sebagai produk limbah. Prosesnya diwakili oleh persamaan berikut :

Klorofil



Untuk setiap mol CO_2 yang diserap kedalam karbohidrat atau glukosa dalam biomassa, 1 mol oksigen dilepaskan. Oksigen ini berasal dari air yang diserap tanaman dari tanah atau atmosfer. Klorofil menaikkan penyerapan karbon dioksida dari atmosfer, menambah pertumbuhan tanaman. Hal penting bagi pertumbuhan biomassa meliputi :

1. Tanaman hidup
2. Sinar matahari
3. Karbon dioksida (CO_2)
4. Klorofil
5. Air

Energi kimia yang tersimpan dalam tumbuhan kemudian diteruskan ke hewan dan ke manusia yang menjadikan tumbuhan sebagai makanan. Limbah hewan dan manusia juga berkontribusi untuk biomassa.

B. Tipe Biomassa

1. *Ligno-Cellulosic* Biomassa

Bagian utama dari biomassa adalah ligno-selulosa. Bahan ligno-selulosa adalah bagian berserat dari sebuah tanaman. Selulosa, hemiselulosa, dan lignin

adalah tiga konstituen utamanya. Tidak seperti karbohidrat atau pati, ligno-selulosa tidak mudah dicerna oleh manusia. Biomassa ligno-selulosa tidak termasuk dalam rantai makanan manusia, dan karena itu penggunaannya untuk *biogas* atau *bio-oil* tidak mengancam suplai makanan dunia.

Salah satu contoh ligno-selulosa adalah tanaman berkayu, segala jenis tanaman vaskular yang memiliki batang yang tahan lama yang ditutupi oleh lapisan kulit yang tebal. Biomassa semacam itu terdiri dari struktur selulosa dan lignin.

2. Tanaman dan sayuran

Sementara tubuh tanaman atau pohon (batang, dahan, dedaunan, dan lainnya) adalah lignoselulosa, buah (sereal, sayur) adalah sumber karbohidrat, pati, dan gula. Beberapa tanaman seperti kanola juga menyediakan lemak. Buahnya mudah dicerna oleh manusia, tetapi tidak pada ligno-selulosa (bisa dicerna oleh beberapa hewan). Agar tidak mempengaruhi ketersediaan makanan, penggunaan tanaman atau sayuran untuk memproduksi bahan kimia dan energi harus di fikirkan dengan hati-hati.

Dibandingkan dengan senyawa ligno-selulosa, karbohidrat lebih mudah larut, sehingga relatif mudah untuk mendapatkan bahan bakar cair melalui fermentasi atau proses lainnya. Beberapa sayuran dan tanaman (kelapa, bunga matahari, sawi, canola, dll) mengandung lemak, menyediakan sumber minyak nabati yang baik. Kotoran hewan (hewan darat dan mamalia laut) juga menyediakan lemak yang bisa diubah menjadi *bio-oil*. Jika karbohidrat digunakan untuk produksi *biogas*, seluruh tanaman seperti jagung, rumput, dan daun semanggi putih dapat dibuat menjadi *silase* dan kemudian diubah menjadi *biogas*.

3. Limbah

Limbah adalah biomassa sekunder, karena berasal dari biomassa primer (pohon, sayuran, daging) selama tahap yang berbeda dari produksi atau penggunaannya. MSW adalah sumber biomassa limbah yang penting dan sebagian besar berasal dari energi terbarukan sisa makanan, daun, dan kertas.

Komponen yang tidak dapat digunakan sebagai energi terbarukan dari MSW seperti plastik, kaca, dan logam tidak dianggap sebagai biomassa. Limbah lumpur seperti kotoran manusia, lemak, dan sisa makanan merupakan sumber biomassa yang penting. Sampah lainnya seperti serbuk gergaji, di produksi di pabrik penggergajian selama produksi pemotongan kayu dari kayu. Pada tabel 2.2 terdapat nilai kalor dari beberapa produk limbah biomassa.

Tabel 2.2 Komposisi khusus dari beberapa limbah biomassa (Basu, 2013)

Biomass	Moisture (wt. %)	Organic Matter (dry wt. %)	Ash (dry wt. %)	Higher Heating Value (MJ/dry kg)
Cattle manure	20-70	76,5	23,5	13,4
Sewage	90-98	79,5	26,5	19,9
RDF	15-30	86,1	13,9	12,7
Sawdust	15-60	99,0	1,0	20,5

C. Kandungan Biomassa

Kandungan yang terdapat pada biomassa yaitu karbon, oksigen dan hidrogen, dapat dilihat pada tabel 2.3. Table tersebut memperlihatkan komposisi dari beragam jenis biomassa. Rumusan kimia biomassa pada umumnya di wakili oleh $C_xH_yO_z$, nilai koefisien dari x, y dan z ditentukan oleh masing masing jenis biomassa tersebut.

Tabel 2.3 Perbandingan Analisis *Ultimate* (basis kering) dari beberapa jenis biomassa dan bahan bakar fosil lain (Basu, 2013)

Bahan Bakar	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)	Ash (%)	HHV (kJ/kg)
<i>Maple</i>	50,6	6,0	0,3	0	41,7	1,4	19,958
<i>Douglas fir</i>	52,3	6,3	9,1	0	40,5	0,8	21,051
<i>Douglas fir (bark)</i>	56,2	5,9	0	0	36,7	1,2	22,098
<i>Redwood</i>	53,5	5,9	0,1	0	40,3	0,2	21,028
<i>Redwood (waste)</i>	53,4	6,0	0,1	39,9	0,1	0,6	21,314
<i>Sewage sludge</i>	29,2	3,8	4,1	0,7	19,9	42,1	16,000

Bahan Bakar	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)	Ash (%)	HHV (kJ/kg)
<i>Rice straw</i>	39,2	5,1	0,6	0,1	35,8	19,2	15,213
<i>Sawdust</i>	47,2	6,5	0	0	45,4	1,0	20,502
<i>Paper</i>	43,4	5,8	0,3	0,2	44,3	6,0	17,613
<i>MSW</i>	47,6	6,0	1,2	0,3	32,9	12,0	19,879
<i>Animal waste</i>	42,7	5,5	2,4	0,3	31,3	17,8	17,167
<i>Peat</i>	54,5	5,1	1,65	0,45	33,09	5,2	21,230
<i>Lignite</i>	62,5	4,38	0,94	1,41	17,2	13,4	24,451
<i>PRB coal</i>	65,8	4,88	0,86	1,0	16,2	11,2	26,436
<i>Anthracite</i>	90,7	2,1	1,0	7,6	11,4	2,5	29,963
<i>Petcoke</i>	86,3	0,5	0,7	0,8	10,5	6,3	29,865

Pengujian kandungan biomassa secara *proximate* dan *ultimate* diperlukan untuk mengetahui karakter dan komposisi dari suatu material, secara fisik, kimia dan *fuel properties* dari biomassa yang akan dipakai. Analisa *proximate* bertujuan untuk menganalisa kandungan air (moisture), *volatil matter*, karbon tetap, dan abu. Analisa *ultimate* bertujuan untuk menyatakan kandungan karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen. Massa biomassa awal umumnya diistilahkan sebagai *as received* (mengandung air, abu, volatil, dan karbon). Kandungan abu dari biomassa berkisar dari 1% sampai 12% untuk kebanyakan jerami-jeramian. Hasil analisis *ultimate* dan *proximate* umumnya diberi tambahan keterangan *daf (dry ash free)* atau analisa pada biomassa tidak menyertakan kandungan air dan abu.

1.2.5 Pohon Sengon

Pohon sengon dalam bahasa latinnya (*Albazia falcataria*) dan termasuk anggota suku *fabaceae* menghasilkan kayu yang ringan dengan densitas 320 – 640 kg/m³ pada kadar air 15%. Sengon merupakan jenis tanaman yang cepat tumbuh karena bisa tumbuh di berbagai jenis tanah. Tanaman ini tersebar di beberapa negara yaitu Asia Tenggara, Cina selatan, India, dan Indonesia. Budidaya sengon cukup mudah, pemeliharaannya relatif mudah dan ekonomis, serta musim panennya lebih cepat. Pohon sengon memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan. Sehingga limbah dari hasil industri pengolahan kayu semakin banyak dan dapat

dimanfaatkan sebagai bahan baku biomassa khususnya sebagai bahan bakar kompor gasifikasi.