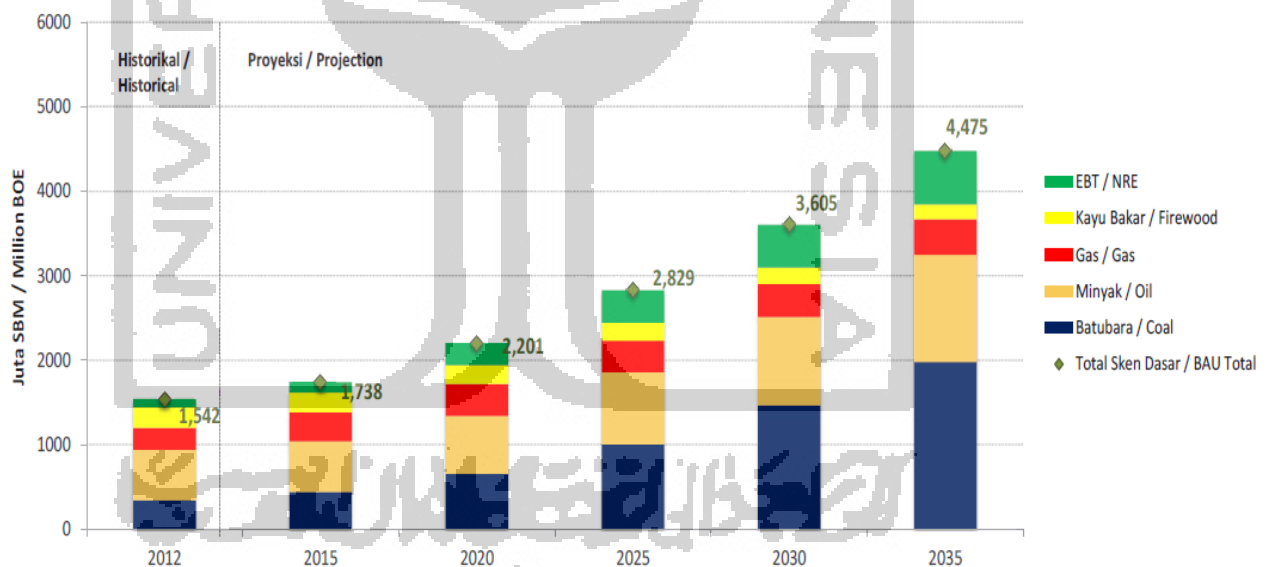


# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun terakhir, krisis energi merupakan persoalan yang krusial di semua negara. Peningkatan permintaan energi yang disebabkan oleh peningkatan populasi penduduk dan menipisnya sumber cadangan minyak dunia serta permasalahan emisi dari bahan bakar fosil memberi dorongan kepada setiap negara untuk memproduksi dan menggunakan energi terbarukan. Di Indonesia, penggunaan bahan bakar terbarukan sebagai pengganti bahan bakar fosil tercantum dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia (PPRI) nomor 5 tahun 2006. Proyeksi penyediaan energi primer yang dikeluarkan oleh Dewan Energi Nasional (DEN) RI menunjukkan bahwa penggunaan energi baru terbarukan (EBT) meningkat setiap tahunnya (Gambar 1.1).



Gambar 1.1 Grafik Penyediaan Energi Primer (Sugiyono, 2014)

Beragam jenis EBT telah dikembangkan di Indonesia, salah satu jenis potensi EBT yang keberadaannya melimpah adalah biomasa. Umumnya biomasa didapatkan dari bagian tanaman yang mengandung senyawa lignoselulosa. Karena Indonesia negara agraris, maka jenis perkebunan dan pertaniannya sangat

beragam, inilah yang menyebabkan melimpahnya biomasa yang dihasilkan di Indonesia. Agar dapat menjadi sumber energi, dapat digunakan dua metode yaitu pembakaran secara langsung ataupun mengubahnya menjadi bahan bakar lainnya melalui fermentasi, gasifikasi, ataupun pirolisa. Mengubah biomasa menjadi bahan bakar lain dinilai lebih menguntungkan dibanding pembakaran secara langsung, karena bahan bakar dapat digunakan pada sektor yang lebih luas serta menghasilkan polusi yang lebih sedikit dibanding pembakaran secara langsung (Basu, 2010).

Untuk itu, dalam upaya untuk mengurangi ketergantungan akan energi fosil di masa yang akan datang, maka perlu dibangunnya pabrik kimia berupa energi tepat guna yang bisa digunakan secara langsung terutama untuk pembangkit listrik sehingga menjadi cikal bakal kemandirian energi Indonesia. Oleh sebab itulah pabrik ini didirikan. Dengan fokus pada pemanfaatan limbah biomassa tradisional dengan sistem gasifikasi menjadi energi gas modern atau disebut Produser Gas.

### **Kapasitas Perancangan**

Penentuan kapasitas pabrik produser gas yang akan dibangun mempertimbangkan 3 hal utama yaitu prediksi kebutuhan produser gas, ketersediaan bahan baku serta kapasitas minimal pabrik yang telah berdiri.

#### **a. Prediksi Kebutuhan Produser Gas**

Komitmen program pemerintah merealisasikan proyek penyediaan listrik sebesar 35.000 Megawatt (MW) dalam jangka waktu 5 tahun (2019-2024) yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat Indonesia dari Sabang - Merauke tentu akan berdampak signifikan bagi pertumbuhan ekonomi di daerah yang suplai listrik kurang bahkan belum merasakan listrik karena daerah sulit dijangkau (PLN, 2019). Maka dari itu pabrik ini didirikan untuk menjadi salah satu instrumen realisasi program pemerintah tersebut. Pabrik produser gas ini didirikan di dekat PT Tamora Agro Lestari di Desa Serosah, Kecamatan Hulu Kuantan, dan PKS di Dusun Air Hitam Desa Sungai Langsung Kecamatan Pangean untuk memanfaatkan limbah cangkang sawit yang dihasilkan sekitar 2600 kg/jam untuk dijadikan energi listrik dengan proses gasifikasi. PT Perkebunan Nusantara

PT Tamora Agro Lestari di Desa Serosah, Kecamatan Hulu Kuantan, dan PKS di Dusun Air Hitam Desa Sungai Langsung Kecamatan Pangean Riau (20362) dengan kapasitas produksi CPO 45 ton/jam..

b. Ketersediaan Bahan Baku

Cangkang kelapa sawit (CKS) yang merupakan limbah kelapa sawit ini tersedia dalam jumlah banyak di Indonesia yang dapat dimanfaatkan secara kontinyu menjadi bahan baku. Dengan kapasitas perancangan pabrik produser gas sebesar 4000 ton/tahun diperlukan 1.604 ton/tahun CKS. Maka ketersediaan bahan baku CKS bisa diperkirakan dari data produksi kelapa sawit di Indonesia yang dapat dilihat pada Tabel 1.1

Tabel. 1.1 Provinsi Produksi Kelapa Sawit di Indonesia Tahun 2017

Provinsi	Luas Area (ha)	Produksi Kelapa Sawit (ton/tahun)	Produksi CKS (ton/tahun)
Sumatera Utara	1.345.305	4.114.220	822.843
Sumatera Selatan	1.021.255	3.096.764	619.352
Sumatera Barat	402.130	1.225.854	245.170
Riau	2.60.941	7.722.564	1.544.512
Bengkulu	340.717	859.761	171.952
Aceh	433.379	875.905	175.180
Bangka Belitung	245.100	772.282	154.456
Lampung	239.861	454.852	90.970
Jambi	769.860	1.701.362	340.272
Banten	19.478	34.963	6993

(Direktorat Jenderal Perkebunan, 2017)

Salah satu cara pemanfaatan limbah tersebut, terutama cangkang sawit adalah melalui penerapan teknologi gasifikasi. Teknologi ini mengubah nilai kalor bakar cangkang sawit menjadi panas melalui *gasifier* dan menghasilkan gas bakar (gas produser) yang berpotensi sebagai substitusi parsial bahan bakar solar mesin diesel-genset untuk produksi listrik.

Walaupun kebutuhan listrik pabrik telah tercukupi untuk pabrik, tetapi masih banyak kelompok masyarakat di lingkungan perkebunan belum memperoleh fasilitas listrik karena kendala infrastruktur yaitu lokasi terisolasi sehingga menyulitkan pembangunan jaringan PLN.

### c. Kapasitas Minimal Pabrik yang Telah Berdiri

Salah satu pabrik yang telah mengaplikasikan pabrik produser gas ini untuk diubah menjadi energi listrik adalah PT Clean Power Indonesia (CPI) PT Pasadena Engineering. Kapasitas yang mereka gunakan umumnya kecil sekitar 500 KW - 1 MW untuk hasilkan listrik dari limbah biomassa.

## 1.2 Tinjauan Pustaka

### 1.2.1 Teknologi Gasifikasi

Teknologi gasifikasi merupakan suatu bentuk peningkatan pendayagunaan energi yang terkandung di dalam bahan biomassa melalui suatu konversi dari bahan padat menjadi gas dengan menggunakan proses degradasi termal material-material organik pada temperatur tinggi di dalam pembakaran yang tidak sempurna. Proses ini berlangsung di dalam suatu alat yang disebut *gasifier*. Ke dalam alat ini dimasukkan bahan bakar biomassa untuk dibakar di dalam reaktor (ruang bakar) secara tidak sempurna. Dengan kata lain, proses gasifikasi merupakan proses pembakaran parsial bahan baku padat, melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat. Uap air dan karbon dioksida hasil pembakaran direduksi menjadi gas yang mudah terbakar, yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>) dan metan (CH<sub>4</sub>). Gas-gas ini dapat dipakai sebagai pengganti BBM guna berbagai keperluan seperti menggerakkan mesin tenaga penggerak (diesel atau bensin), yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik, menggerakkan pompa, mesin giling maupun alat alat mekanik lainnya. Selain itu gas ini juga dapat dibakar langsung untuk tanur pembakaran, mesin pengering, oven dan sebagainya yang biasanya memerlukan pembakaran yang bersih.

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO, CH<sub>4</sub>, dan H<sub>2</sub>) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20%-40% udara stoikiometri). Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia untuk mengubah material berkarbon menjadi gas mampu bakar. Berdasarkan definisi tersebut, maka bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi menggunakan material yang mengandung hidrokarbon seperti

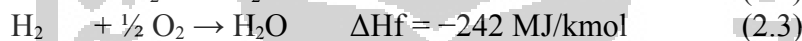
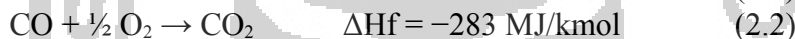
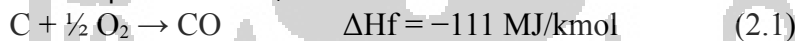
batubara, *petcoke* (*petroleum coke*), dan biomassa. Keseluruhan proses gasifikasi terjadi di dalam reaktor gasifikasi yang dikenal dengan nama *gasifier*. Di dalam *gasifier* inilah terjadi suatu proses pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu dan selanjutnya bahan bakar tersebut melalui proses pembakaran dengan bereaksi terhadap oksigen untuk kemudian dihasilkan gas mampu bakar dan sisa hasil pembakaran lainnya.

### 1.2.1 Dasar Reaksi

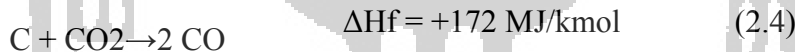
Pada proses gasifikasi karbon padat dari batu bara maupun biomassa terjadi proses reaksi kimia yang menghasilkan karbon dan gas CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>,

H<sub>2</sub>O yang didapat dari reaksi-reaksi berikut (Higman, 2008).

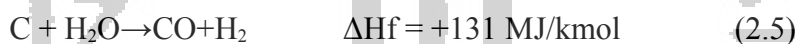
Reaksi pembakaran,



Reaksi Boudouard,



*Water gas reaction,*



dan reaksi metanasi,



*CO shift reaction:*



dan reaksi *steam methane reforming*:



Sedangkan pada *water gas shift reactor* (WGSR) reaksi yang terjadi adalah (Smith, 2010):



2.

### **Kondisi Operasi**

Pembentukan gas produser pada gasifier optimum pada temperatur 1143 K dan tekanan 1 atm (atmosferis). Fase reaksi berupa padat-gas-gas dan bersifat eksotermis dengan kondisi reaksi adiabatik.

3.

### **Mekanisme Reaksi**

1. Tahap pengeringan. Akibat pengaruh panas, biomassa mengalami pengeringan pada temperatur sekitar 100 °C.
2. Tahap pirolisis. Bila temperatur mencapai 250 - 500 °C, biomassa mulai mengalami proses pirolisis yaitu perpecahan molekul besar menjadi molekul kecil akibat pengaruh temperatur tinggi. Hasil proses pirolisis ini adalah arang, uap air, uap tar, dan gas-gas.
3. Tahap reduksi. Pada temperatur di atas 600 °C arang bereaksi dengan uap air dan karbon dioksida sehingga terbentuk hidrogen dan karbon monoksida sebagai komponen utama gas hasil.
4. Tahap oksidasi. Sebagian kecil biomassa yang terpirolisis dibakar dengan udara sehingga menghasilkan panas yang diperlukan oleh ketiga tahap tersebut di atas. Proses oksidasi (pembakaran) ini dapat mencapai temperatur 1200 °C, yang berguna untuk proses perpecahan tar lebih lanjut.

#### 4. Termodinamika

Sebagian besar reaksi yang terjadi pada proses gasifikasi adalah reaksi eksotermis. Penentu reaksi gasifikasi adalah *CO shift reaction* (II.7) termasuk reaksi *irreversible* (Tabel 3.1) (Yaws, 1999).

Tabel 1.2 Data Termodinamika Reaksi Pengendali

Reaksi	$\Delta G_0$ (kkal/mol)	K	Jenis Reaksi
Reaksi (2.7)	-4,76	109222814,2	<i>Irreversible</i>
Reaksi (2.8)	-25,43	3,1432 x	<i>Irreversible</i>

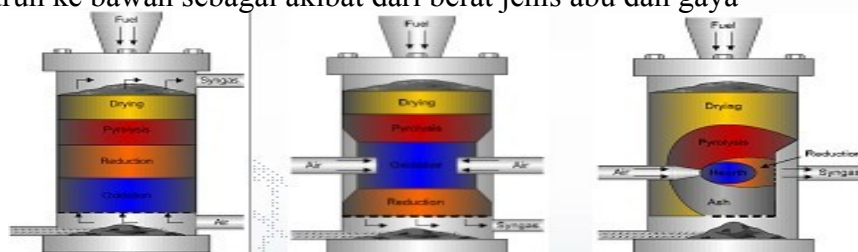
#### 1.2.2 Jenis – Jenis Alat Gasifikasi

Teknologi gasifikasi yang terus berkembang mengarahkan klasifikasi teknologi sesuai dengan sifat fisik maupun sistem yang berlangsung dalam menciptakan proses gasifikasi. Beberapa kategori alat gasifikasi tersebut antara lain adalah :

Berdasarkan mode fluidisasi, alat gasifikasi dibagi menjadi tiga, yaitu :

##### 1. Gasifikasi Unggun Bergerak (*Moving Bed Gasifier*)

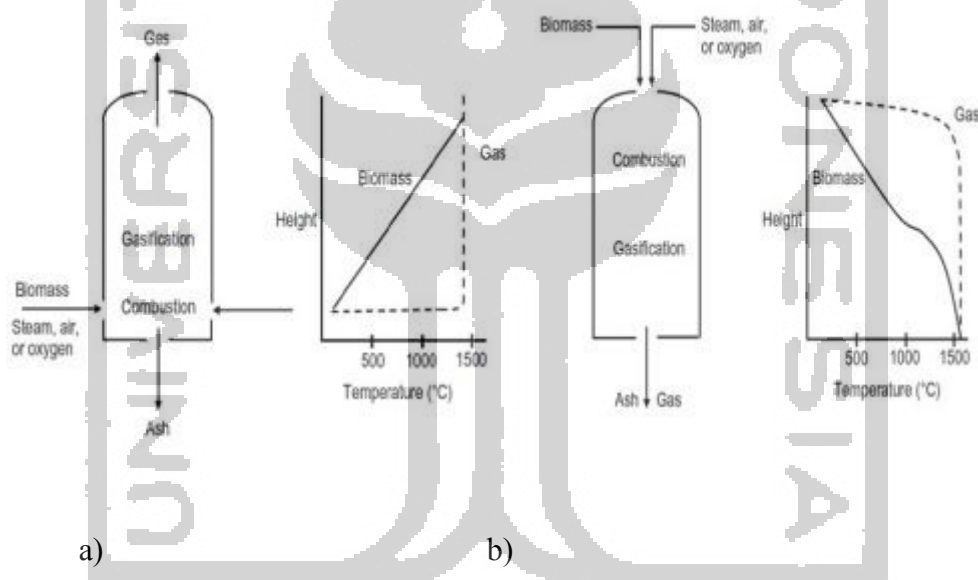
Pada alat gasifikasi ini, umumnya proses memasukkan bahan bakar terjadi dari atas reaktor dan di isi sampai penuh. Setelah proses *feeding* dilakukan, maka selanjutnya adalah pemberian hembusan oksigen pada bagian bawah reaktor untuk proses oksidasi. Antara bahan bakar dan masuknya udara terdapat sekat pemisah agar udara tidak tetutup sisa pembakaran sehingga dapat terus mengalir. Saat oksidasi terjadi, jumlah bahan bakar di dalam reaktor semakin menipis seiring dengan perubahan fase padatan bahan bakar menjadi gas mampu bakar. Sisa bahan bakar yang tidak menjadi gas akan berubah fase menjaadi air maupun tar dan abu dimana air dan tar dapat keluar pada celah atau sambungan pada reaktor dan juga saling mengikat hingga menempel pada dinding reaktor sedangkan abu akan turun ke bawah sebagai akibat dari berat jenis abu dan gaya







tinggi yaitu sekitar  $1400^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan 20-70 bar dengan ukuran bahan bakar yang lebih kecil dari gasifikasi unggun terfluidisasi yaitu sekitar kurang dari 75 mikrometer. Bahan bakar dan oksigen serta uap dimasukkan ke dalam reaktor secara bersamaan. Uap dalam sistem ini digunakan untuk memberi kandungan air pada bahan bakar dalam bentuk bubuk hingga terbentuk bubuk agar mudah dimasukkan ke dalam reaktor. Kandungan uap air dalam bahan bakar inilah yang harus dibayar dengan peningkatan konsumsi energi yang besar. Dua jenis reaktor sistem ini diklasifikasikan berdasarkan cara *feeding* bahan bakarnya. Jenis reaktor tersebut adalah dari jenis *side-feed entrained flow reactor* dan *top-feed entrained flow reactor*.



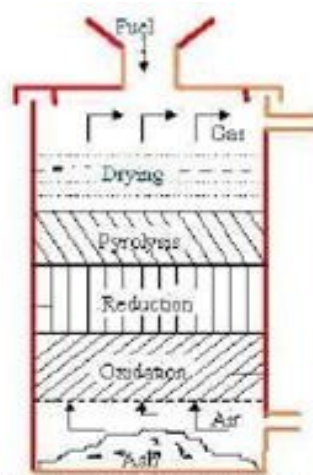
Gambar 1.4 *Entrained Flow Gasifier* : (a) *Side-Feed Entrained Flow Reactor* dan (b) *Top Feed Entrained Flow Reactor*

Tabel 1.3 Kelebihan dan kekurangan pada alat gasifikasi(<https://moechah.wordpress.com/2008/12/02/gasifikasi/>)

Parameter	Fixed/Moving Bed	Fluidized Bed	Entrained Bed
Ukuran umpan	< 51 mm	< 6 mm	< 0.15 mm
Toleransi kehalusan partikel	Terbatas	Baik	Sangat baik
Toleransi kekasaran partikel	Sangat baik	Baik	Buruk
Toleransi jenis umpan	Batubara kualitas rendah	Batubara kualitas rendah dan biomassa	Segala jenis batubara, tetapi tidak cocok untuk biomassa
Kebutuhan oksidan	Rendah	Menengah	Tinggi
Kebutuhan kukus	Tinggi	Menengah	Rendah
Temperatur reaksi	1090 °C	800 - 1000 °C	> 1990 °C
Temperatur gas keluaran	450 - 600 °C	800 - 1000 °C	> 1260 °C
Produksi abu	Kering	Kering	Terak
Efisiensi gas dingin	80%	89.2%	80%
Kapasitas penggunaan	Kecil	Menengah	Besar
Permasalahan	Produksi tar	Konversi karbon	Pendinginan gas produk

Arah aliran fluida gas di dalam reaktor gasifikasi menjadi bahan pertimbangan klasifikasi alat gasifikasi berdasarkan arah aliran. Adapun jenis alat gasifikasi tersebut adalah :

#### 1. Gasifikasi Updraft



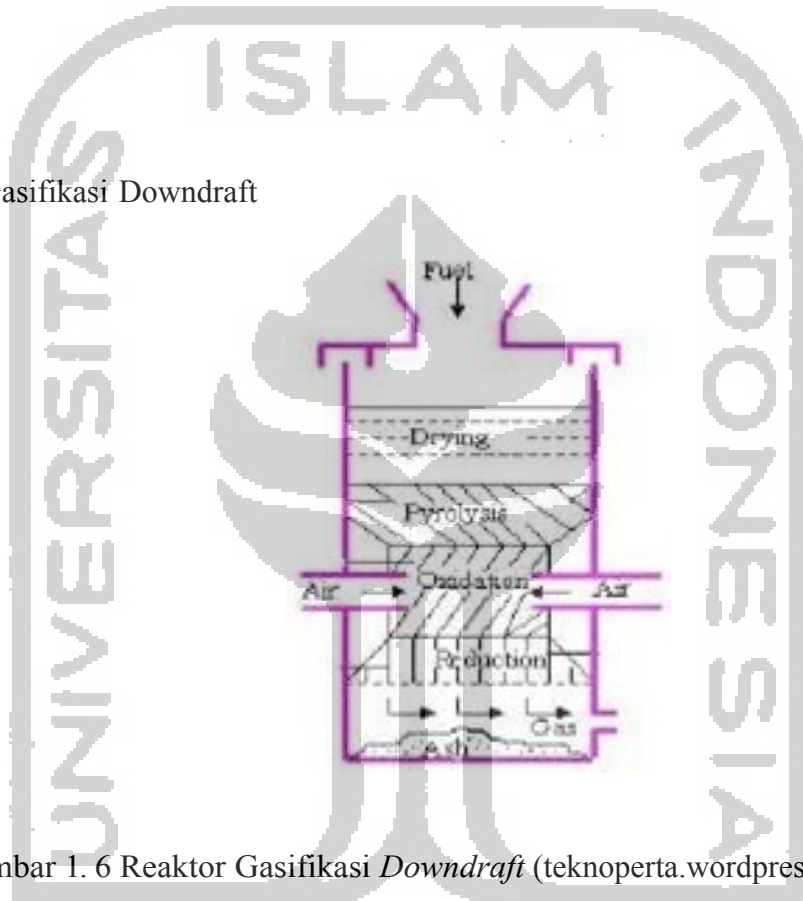
Gambar 1.5 Reaktor Gasifikasi *Updraft* (teknoperta.wordpress.com, 2017)

Gasifikasi *updraft* merupakan reaktor gasifikasi yang umum digunakan secara luas. Ciri khas dari reaktor gasifikasi ini adalah aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian bawah reaktor melalui *grate* sedangkan aliran bahan bakar masuk dari bagian atas reaktor sehingga arah aliran udara dan bahan bakar memiliki prinsip yang berlawanan (*counter current*). Produksi gas dikeluarkan melalui bagian atas dari reaktor sedangkan abu pembakaran jatuh ke bagian bawah *gasifier* karena pengaruh gaya gravitasi dan berat jenis abu. Di dalam reaktor, terjadi zonafikasi area pembakaran berdasarkan pada distribusi temperatur reaktor gasifikasi. Zona pembakaran terjadi di dekat *grate* yang dilanjutkan dengan zona reduksi yang akan menghasilkan gas dengan temperatur yang tinggi. Gas hasil reaksi tersebut akan bergerak menuju bagian atas dari reaktor yang memiliki temperatur lebih rendah dan gas tersebut akan kontak dengan bahan bakar yang bergerak turun sehingga terjadi proses pirolisis dan pertukaran panas antara gas dengan temperatur tinggi terhadap bahan bakar yang memiliki temperatur lebih rendah. Panas *sensible* yang diberikan gas digunakan bahan bakar untuk pemanasan awal dan pengeringan bahan bakar. Kedua proses tersebut yaitu proses pirolisis dan proses pengeringan terjadi pada bagian teratas dari reaktor gasifikasi.

Kelebihan dari reaktor gasifikasi *updraft* adalah mekanisme kerja yang dimiliki oleh reaktor tipe ini jauh lebih sederhana dibandingkan dengan tipe yang lain, sedangkan dengan mekanisme kerja yang lebih sederhana tersebut, ternyata tingkat toleransi reaktor terhadap tingkat kekasaran bahan bakar lebih baik. Selain itu jenis reaktor ini memiliki kemampuan untuk mengolah bahan bakar kualitas rendah dengan temperatur gas keluaran relatif rendah dan memiliki efisiensi yang tinggi akibat dari panas gas keluar reaktor memiliki temperatur

yang relatif rendah. Sedangkan kelemahan reaktor gasifikasi updraft adalah tingkat kadar tar dalam *syngas* hasil reaksi relatif cukup tinggi sehingga mempengaruhi kualitas dari gas yang dihasilkan serta kemampuan muatan reaktor yang relatif rendah.

## 2. Gasifikasi Downdraft



Gambar 1. 6 Reaktor Gasifikasi *Downdraft* (teknoperta.wordpress.com, 2017)

Sistem gasifikasi downdraft memiliki sistem yang hampir sama dengan sistem gasifikasi updraft yaitu dengan memanfaatkan sistem oksidasi tertutup untuk memperoleh temperatur tinggi. Bahan bakar dalam reaktor gasifikasi downdraft dimasukkan dari atas reaktor dan udara dari *blower* dihembuskan dari samping menuju ke zona oksidasi sedangkan *syngas* hasil pembakaran keluar melalui *burner* yang terletak di bawah ruangan bahan bakar sehingga saat awal gas akan mengalir ke atas dan saat volume gas makin meningkat maka *syngas* mencari jalan keluar melalui daerah dengan tekanan yang lebih rendah. Sistem tersebut memiliki maksud agar *syngas* yang terbentuk akan tersaring kembali oleh

bahan bakar dan melalui zona pirolisis sehingga tingkat kandungan tar dalam gas dapat dikurangi. Untuk menghindari penyumbatan gas di dalam reaktor, maka digunakan *blower* hisap untuk menarik *syngas* dan mengalirkannya ke arah *burner*.

Setiap alat gasifikasi memiliki karakteristik tersendiri yang membedakan suatu sistem gasifikasi dengan sistem gasifikasi yang lain. Hasil reaksi dan *syngas* yang dihasilkan dari reaksi gasifikasi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing alat gasifikasi tersebut. Berikut beberapa contoh table yang memperlihatkan sistem operasi dari alat gasifikasi tersebut :

Tabel 1.4 Parameter Kerja Alat Gasifikasi  
(werkudarazero6.wordpress.com, 2017)

Parameter	Fixed/Moving Bed	Fluidized Bed	Entrained Bed
Ukuran umpan	< 51 mm	< 6 mm	< 0.15 mm
Toleransi kehalusan partikel	Terbatas	Baik	Sangat baik
Toleransi kekasaran	Sangat baik	Baik	Buruk

Proses gasifikasi menghasilkan gas yang secara praktis dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar atau sumber bahan kimia. Gas yang dihasilkan dinamakan gas produser, dengan komposisi kimia tipikal 24,9% CO, 11,6% H<sub>2</sub>, 12,5% CO<sub>2</sub>, 1,8% CH<sub>4</sub>, 49,3% N<sub>2</sub>, dan sebagian kecil kandungan partikel padat, abu dan tar (Susanto, 2005). Gasifikasi biomassa dapat menghasilkan gas produser dengan nilai kalor bakar sebesar 4100 kJ/Nm<sup>3</sup> (Susanto, 2010). Gas ini dapat dimanfaatkan langsung sebagai bahan bakar pada unit pemanas, atau untuk

substitusi-parsial BBM *internal combustion engine*. Gas produser dialirkan ke dalam *internal combustion engine* melalui aliran udara masuk motor dengan system pembuangan pipa silang atau system injeksi. Sambungan silang sangat sederhana dan murah, sesuai untuk kapasitas rendah. Disamping panas pembakarannya, gas hasil harus memenuhi persyaratan-persyaratan berikut ini agar tidak mengurangi performansi dan umur motor (Affendi, 2010) :

- a. Kandungan tar tidak lebih dari 50 - 100 mg/Nm<sup>3</sup>
- b. Kandungan abu maksimum 50 mg/Nm<sup>3</sup>
- c. Ukuran debu tidak lebih dari 10 µm
- d. Temperatur gas di bawah 40 °C

Kinerja proses gasifikasi dipengaruhi oleh medium-gasifikasi (jenis dan jumlahnya: udara, oksigen, *steam* atau campurannya), kondisi operasi (temperatur dan tekanan), jenis *gasifier* (teknik pengontakan biomassa dengan media penggasifikasi), dan karakteristik biomassa (komposisi C-H-O-abu, kadar air, panas pembakaran, bentuk dan ukuran partikel, massa jenis curah).

Persyaratan teknis umpan *gasifier* yang perlu diperhatikan diantaranya, kadar air biomassa tidak lebih dari 30%, bentuk partikel mendekati bulat atau kubus, ukuran partikel antara 0,5 - 5,0 cm, tidak banyak mengandung zat-zat anorganik, rapat massanya di atas 400 kg/m<sup>3</sup>.

Salah satu contoh pemanfaatan gasifikasi biomassa menjadi listrik adalah di PT Pertani, Kecamatan Haurgeulis, Kabupaten Indramayu, Jawa Barat. Biomassa berupa sekam padi hasil limbah penggilingan padi di PT Pertani dimanfaatkan sebagai bahan baku proses gasifikasi yang menghasilkan gas produser. Gas produser dimanfaatkan motor diesel sebagai pengganti sebagian solar yang menggerakkan generator listrik berkapasitas 100 kW. Listrik yang dihasilkan dipergunakan untuk sumber energi mesin pengering gabah dan mesin giling padi. Pemakaian sekam sejumlah sekitar 90 - 100 kg/jam dapat menghemat pemakaian solar tertinggi sebesar 60% (Susanto, 2006).

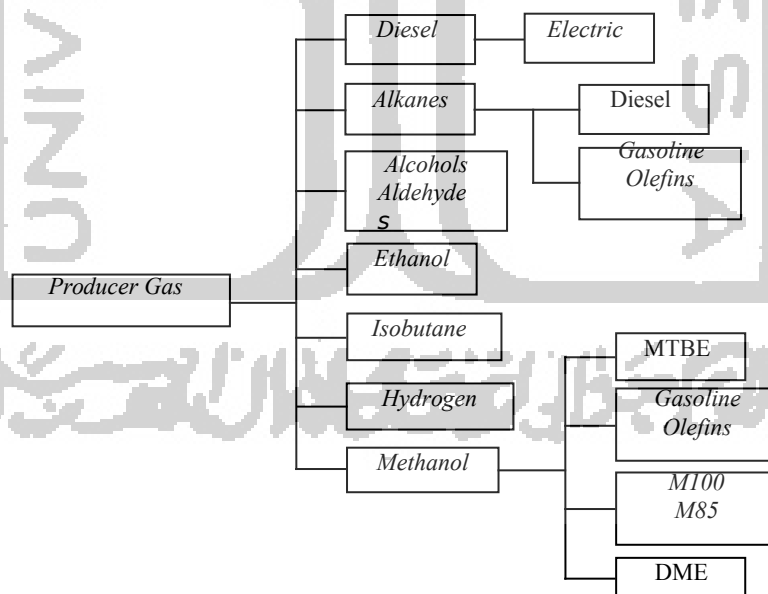
Biomassa sebagai sumber energi melalui proses gasifikasi juga telah diterapkan di India. Di Chenglepet, Tamil Nadu, India didirikan unit gasifikasi biomassa yang diintegrasikan dengan unit pembangkit tenaga listrik berkapasitas

200 kW dan dilengkapi dengan sistem pendingin gas dan tempat pembuangan abu. Jenis biomassa yang tersedia berupa kayu kandi, kayu pinus, sabut kelapa dan sekam. Energi listrik yang dihasilkan dimanfaatkan sebagai penggerak pompa air bagi keperluan irigasi tetapi harga energi listrik per kWh yang dibangkitkan dari sistem ini masih relatif mahal secara pembangkit listrik konvensional, sehingga proyek tersebut lebih bersifat sosial karena pengoperasiannya masih disubsidi pemerintah (Pranolo, 2009).

Pabrik gas produser ini akan menggunakan reaktor gasifikasi *fixed-bed* jenis *down-draft (co-current)* karena menghasilkan tar lebih rendah dibandingkan jenis *up-draft* dan kemudahan pengendalian operasi. Pemilihan cangkang sawit karena ketersediaannya yang berlimpah serta memiliki nilai kalor tinggi yaitu 12,7 MJ/kg (Dwipramana, 2011).

### 1.2.3 Kegunaan Produk

Gas produser tidak hanya dapat dikonversi menjadi energi listrik, namun dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair dan senyawa kimia menggunakan katalis yang ditunjukkan pada Gambar 1.5 (Swanson, 2010).



Gambar 1.7 Skema Konversi Produser Gas

### 1.2.4 Sifat Fisika dan Sifat Kimia Senyawa Terlibat

Cangkang sawit dihasilkan pada proses pemisahan cangkang dan daging buah menggunakan proses *hidrocyclone*, berbentuk bulat pipih,

Tabel 1.5 Sifat Fisika dan Sifat Kimia (Halim, 2000)

Buah kelapa sawit	
Dimensi	2cm x 1cm
Kadar Air	12,5%
Selulosa	32,93%
Hemiselulosa	12,03%
Hemiselulosa lignin	42,85%
Bulk density	440 kg/m <sup>3</sup>
Cangkang kelapa sawit	
Volatile	67%
Fixed karbon	21,2%
Moisture	9,7%
Karbon	55,35%
Hidrogen	6,27%
Oksigen	38,01%
Nitrogen	0,37%
Kalor	12,70 MJ/kg

Sifat fisika gas hasil gasifikasi dapat dilihat pada Tabel 1.5 (Perry, 2008).



Gambar 1.8 Cangkang Sawit

Selain menghasilkan gas diatas, proses gasifikasi juga menghasilkan tar. Senyawa tar memiliki titik embun dibawah titik embun gas produser dan dapat menyebabkan *fouling* pada peralatan pendukung *gasifier* maupun pada *diesel engine*. Senyawa tar pada umumnya merupakan senyawa nonpolar yang tidak dapat larut dalam air, namun terdapat senyawa tar khusus yang bersifat polar dan dapat larut dalam air, misalnya fenol. Fenol mempunyai sifat racun yang dapat mematikan biota pada saluran yang dilewati larutan ini pada konsentrasi tertentu.



Permasalahan fenol tampak sekali muncul khususnya pada sistem pembersihan gas menggunakan air sebagai media pembersih, limbah cair yang dihasilkan banyak mengandung senyawa fenol.

Tabel 1.6 Sifat Fisika Produser Gas

Senyawa	Berat Molekul	Titik didih (°C)	Temperatur kritis (°C)	Tekanan kritis (atm)
CO	28,01	-91,45	-140,2	34,53
H <sub>2</sub>	2,02	-252,60	-229,92	19,58
H <sub>2</sub> O	18,02	100	374,15	218,31
O <sub>2</sub>	32,00	-182,95	-118,38	50,14
N <sub>2</sub>	28,01	-195,8	-146,96	33,5
CO <sub>2</sub>	44,01	-78,55	30,95	72,74
CH <sub>4</sub>	16,04	-161,52	-82,45	45,8
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,00	78,11	80,1	289,05

(Milne dkk., 1998)

Jumlah dan komponen penyusun tar hasil pirolisis dan gasifikasi biomassa dipengaruhi oleh jenis dan sifat biomassa (ukuran, kadar air), jenis tipe proses dalam reaktor, dan variabel proses, seperti jumlah oksigen, perbandingan uap-biomassa, tekanan, temperatur gasifikasi dan waktu tinggal. Jika menggunakan tipe down-draft gasifier maka akan banyak menghasilkan tar berupa benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) sedangkan jika menggunakan up-draft gasifier akan banyak menghasilkan tar berupa acetic (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>). Contoh pengaruh jenis gasifier terhadap komposisi gas produser dan tingkat kontaminan tersaji pada Tabel 1.5 (Milne dkk., 1998) dan pengaruh temperatur reaksi terhadap komponen penyusun tar dapat dilihat pada Tabel 1.4 (Milne dkk., 1998). Proses gasifikasi unggul tetap tipe up-draft menghasilkan jumlah kandungan

tar yang lebih banyak dari padat tipe unggun fluidisasi, dan tipe unggun fluidisasi menghasilkan tar dalam jumlah yang lebih banyak dari pada gasifikasi unggun tetap tipe *down-draft*. Hal ini karena tar hasil pirolisis terbawa bersama gas dan kemudian masuk ke daerah gasifikasi dan pembakaran pada temperatur tinggi. Pada daerah ini tar akan terurai. Pada umumnya kandungan tar masing-masing jenis adalah: *up-draft* 150 g/Nm<sup>3</sup>, unggun fluidisasi 10 g/Nm<sup>3</sup>, dan *down-draft* 2 g/Nm<sup>3</sup> (Milne dkk., 1998).

Tabel 1.7 Komposisi Produser Gas (kayu) Beberapa Jenis Reaktor Gasifikasi

	<i>Up draft</i>	<i>Down draft</i>	CFB
Kandungan air dalam kayu	50%	16%	15%
Temperatur, °C	800-1400		
Tekanan, atm	atmosferis		
Komposisi gas produser			
Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )	10,0%	12,9%	15,0%
Karbon monoksida (CO)	20,0%	18,0%	15,4%
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	14,0%	14,2%	14,8%
Metana (CH <sub>4</sub> )	2,5%	1,9%	4,2%
Nitrogen(N <sub>2</sub> by difference)	53,5%	53,0%	39,6%
Tingkat kontaminan			
Partikel, g/Nm <sup>3</sup>	0,1 – 0,5	0,1 – 1	20 – 60
Tar, g/Nm <sup>3</sup>	50 – 150	0,5 – 2	7 – 10

(Milne dkk., 1998)

Tabel 1.8 Komponen Kimia Tar Biomassa sebagai Fungsi Suhu Reaksi

<i>Flash</i> Pirolisis Konvensional (450 – 500 °C)	<i>Flash</i> Pirolisis Temperatur tinggi (600 – 650 °C)	Gasifikasi <i>Steam</i> Konvensional (700 – 800 °C)	Gasifikasi <i>Steam</i> Temperatur tinggi (900 – 1000 °C)
Asam (H <sup>+</sup> )  Aldehid (RCOH) Keton (RCOR') Furan (C <sub>7</sub> H <sub>4</sub> O) Alkohol (C <sub>n</sub> H <sub>2n+1</sub> OH) Fenol (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O) Guaiakol (CH <sub>3</sub> O.C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OH) Siringol  Fenol komplek	Benzena (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) Fenol (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O) Katekol (1,2-dihidroksibenzen) Naptalena (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> ) Bipenil Penantrena Benzofuran Benzaldehid	Naptalena (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> ) Asenaptilena Fluorena Penantrena Benzaldehid Fenol (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O) Naptofuran Benzantransena	Naptalena (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> ) Asenaptilena Penantrena Fluorantena Pirena Asepenantrilena Benzantransena Benzopirena 226 MW PAHs 276 MW PAHs

(Milne dkk., 1998)

Berikut adalah sifat kimia dari tar berupa benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) :

- Benzena merupakan cairan yang mudah terbakar
- Benzena lebih mudah mengalami reaksi substitusi daripada adisi