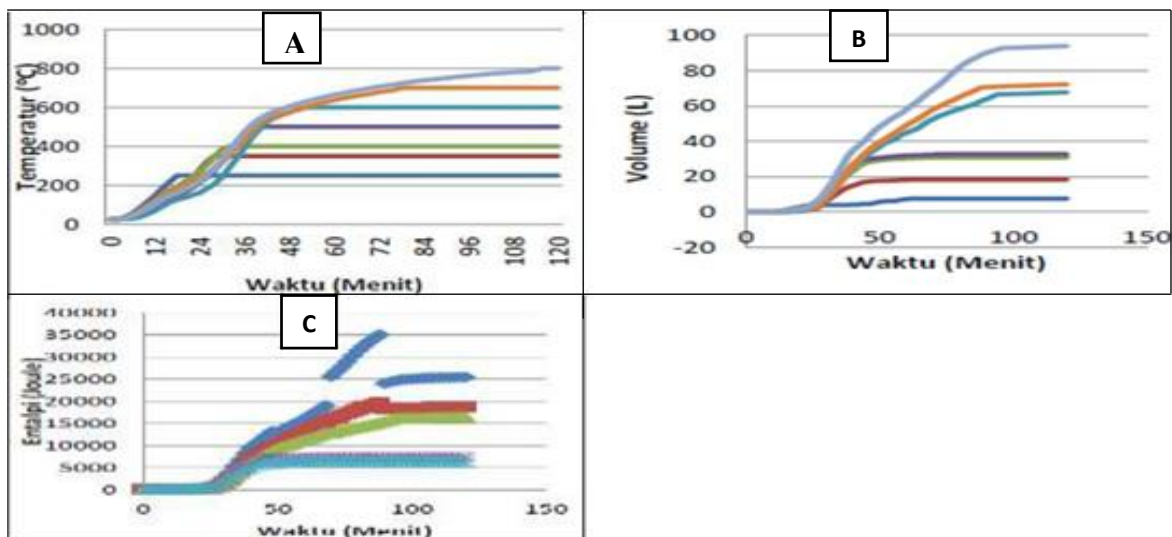


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Gasifikasi biomassa merupakan pembangkit energi yang terbarukan dan lebih efisien dibandingkan energi fosil yang saat ini telah sangat menipis jumlahnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian cara untuk meningkatkan hasil dari gasifikasi biomassa. Seiring berkembang zaman, teknologi gasifikasi untuk mengkonversikan biomassa menjadi *flammable* gas terus berkembang. Dimana semakin banyak penelitian yang bertujuan untuk mengoptimalkan hasil dari gas mampu bakar meliputi volume gas yang dihasilkan maupun komposisi kimia gas yang dihasilkan melalui proses gasifikasi.

Suwardono, 2015, melakukan penelitian pengaruh temperatur terhadap entalpi dan *kinetic rate* gas pirolisis serbuk kayu mahoni. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap perubahan volume gas dimana persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai *kinetic rate* yaitu persamaan volume per satuan waktu. Dalam penelitian ini dilakukan secara eksperimental pada temperatur 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, dan 800 °C. dimana data yang diambil adalah *flow rate* dari gas dan menyimpan gas pada *sampling bag* yang akan di uji pada gas *chromatograph*. Pada penelitian tersebut didapatkan grafik seperti berikut.



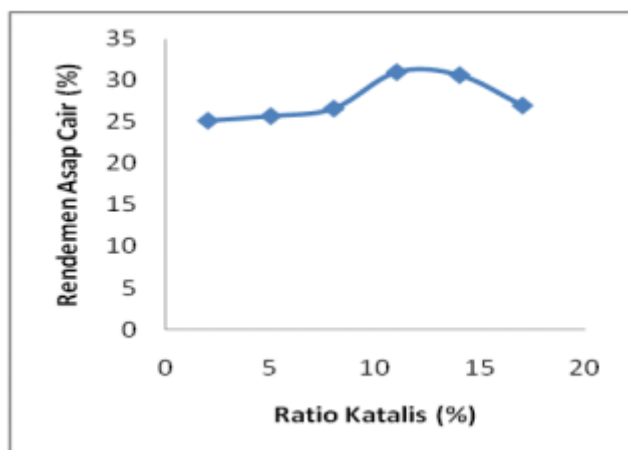
Gambar 2.1 Grafik hasil penelitian pengaruh temperatur terhadap entalpi dan *kinetic rate* gas pirolisis serbuk kayu mahoni
Sumber: Suwardono (2015)

Pada grafik hasil penelitian A dan B dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi volume gas total (L) yang terbentuk hal ini dikarenakan lignin pada biomassa semakin banyak yang terdekomposisi seiring dengan semakin besarnya energi yang diberikan. Untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap entalpi gas yang dihasilkan ditunjukkan oleh grafik C. Pada grafik tersebut menunjukkan entalpi gas pada temperatur 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, dan 800 °C. secara berturut turut dari atas ke bawah. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur maka entalpi gas yang dihasilkan semakin tinggi, hal ini dikarenakan nilai mold dan volume pada tiap gas yang semakin tinggi.

Hossain et al, 2017, pada penelitian ini diamati pengaruh penambahan katalis Ni-Ru- Al_2O_3 terhadap gasifikasi glukosa. Pada *gambar 2.1* ditunjukkan bahwa total organik karbon yang dihasilkan seiring pertambahan temperatur bertambah. Pada temperatur 500°C merupakan temperatur dengan total organik karbon tinggi. Penambahan katalis Ni-Ru- Al_2O_3 dapat meingkatkan total organik karbon. Total organik karbon adalah jumlah karbon yang mengikat pada rangkaian organik. Semakin tinggi total organik karbon maka gas yang dihasilkan pada gasifikasi akan bertambah, Jadi penambahan Ni-Ru- Al_2O_3 dapat meningkat gas yang dihasilkan pada gasifikasi.

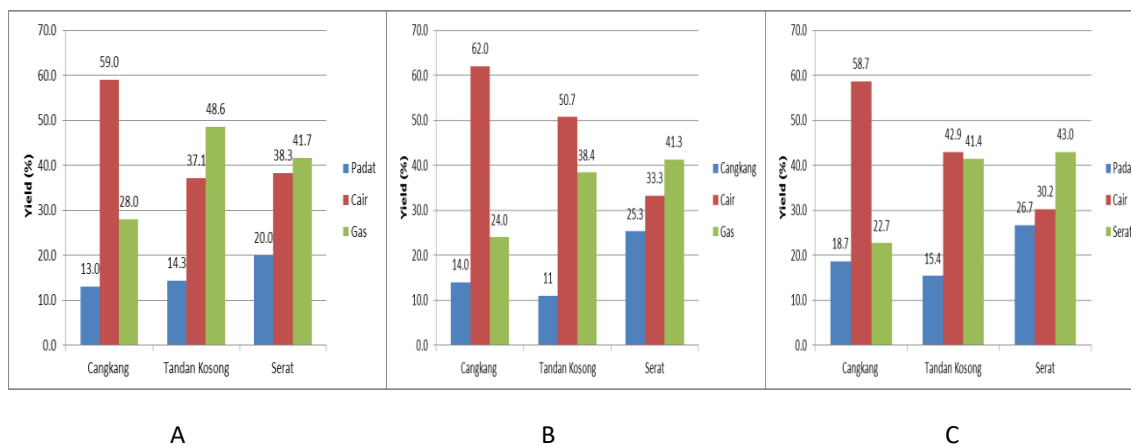
Dou, 2016, melakukan penelitian pirolisis menggunakan biji nanas dan biji mangga dengan menggunakan *bentonit* sebagai katalisator. Dimana hasilnya adalah penambahan bentonit meningkatkan kadar hydrogen (H_2) dan metana (CH_4) pada produksi gas hasil pirolisis meskipun pada temperatur rendah. Penambahan *bentonit* dapat meningkatkan volume gas yang dihasilkan. Pada temperatur 300 °C merupakan temperatur dengan volume gas tertinggi. Jadi penambahan katalis bentonit pada proses pirolisis berfungsi untuk mengoptimalkan produksi dan komposisi gas meskipun pada temperatur pirolisis rendah.

Padil et al 2011, meneliti pirolisis cangkang sawit menjadi asap cair dengan katalis bentonite dengan variable bebas yaitu waktu pirolisis (30, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit), dan perbandingan cangkang-katalis bentonit 2%, 5%, 8%, 11%, 14 % dan 17 % dari jumlah massa cangkang sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum pembuatan asap cair menggunakan katalis bentonit yaitu waktu pirolisis 60 menit dengan rasio katalis 11% (% berat). Pada kondisi ini, kadar asam asetat sebesar 21,767% dan kadar fenol 5,532%.



Gambar 2.2 Pengaruh rasio katalis terhadap rendemen asap cair pada waktu 60 menit
Sumber: Padil et al (2011)

Ningrum, 2011, melakukan penelitian *fast pyrolysis* limbah kelapa sawit (cangkang, tandan kosong dan serat) untuk menghasilkan *biooil*. Penelitian ini menghasilkan grafik hubungan antara temperatur pemanasan dengan presentase hasil *fast pyrolysis*. Dimana hasilnya pada temperatur 550°C merupakan temperatur terbaik untuk mengkonversi limbah cangkang kelapa sawit dan tandan kosong menjadi cair. Temperatur 650°C merupakan temperatur optimum untuk mengkonversi serat menjadi cair. Cair maksimum pada masing-masing temperatur optimum cangkang 62%, tandan kosong 50,7% dan serat 38,3 %. Produk cair dari *fast pyrolysis* cenderung susah terbakar karena memiliki kadar air tinggi.



Gambar 2.3 A. Presentase hasil pirolisis pada temperatur 650 °C, B. Presentase hasil pirolisis pada temperatur 550 °C, C. Presentase hasil pirolisis pada temperatur 450 °C
Sumber: Ningrum (2011)

2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) adalah limbah pabrik kelapa sawit yang jumlahnya sangat melimpah. Setiap pengolahan 1 ton TBS (Tandan Buah Segar) akan dihasilkan TKKS sebanyak 22 – 23% TKKS atau sebanyak 220 – 230 kg TKKS. Apabila dalam sebuah pabrik dengan kapasitas pengolahan 100 ton/jam dengan waktu operasi selama 1 jam, maka akan dihasilkan sebanyak 23 ton (Yunindanova, 2009).

Kandungan nutrisi kompos tandan kosong kelapa sawit: C 35%, N 2,34%, C/N 15, P 0,31%, K 5,53%, Ca 1,46%, Mg 0,96%, dan Air 52%. Kompos TKKS dapat diaplikasikan untuk berbagai tanaman sebagai pupuk organik, baik secara tunggal maupun dikombinasikan dengan pupuk kimia (Widiastuti dan Panji, 2007).

Berdasarkan literatur yang ada kandungan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) mengandung Selulosa 41,3% - 46,5% ($C_6H_{10}O_5$)_n, Hemi Selulosa 25,3% - 32,5% dan mengandung Lignin 27,6% - 32,5%. (Kamal, 2012)



Gambar 2.4 Pohon kelapa sawit
Sumber: Sudarminto (2015)



Gambar 2.5 Tandan kosong kelapa sawit
Sumber: Bentra (2015)

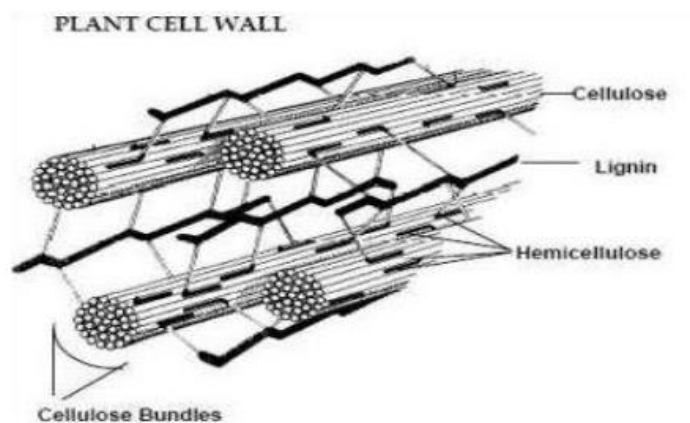
2.3 Biomassa

Tandan kosong kelapa sawit adalah salah satu limbah dari pengolahan minyak kelapa sawit yang memiliki potensi besar menjadi sumber biomassa karena memiliki sumber biomassa selulosa yang cukup tinggi dan sifatnya terbarukan. Biomassa adalah limbah padat organik yang tersedia di alam dan bisa dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar. Biomassa meliputi limbah kayu, limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah hutan, komponen organik dari industri dan rumah tangga. Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi) karena beberapa sifatnya yang dapat diperbaharui (*renewable resources*), sumber energi ini relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian. (Rofiatussa, 2009).

Terbentuknya biomassa merupakan hasil dari interaksi antara karbon dioksida (CO_2), udara, air, tanah dan sinar matahari (Basu, 2010). Biomassa disebut juga sebagai salah satu sumber energi yang ramah lingkungan karena sumber CO_2 berasal dari CO_2 di udara. Hasil pembakaran biomassa adalah CO_2 dimana jumlah CO_2 yang dihasilkan sama dengan CO_2 yang diserap selama proses fotosintesis. Dengan adanya sinar matahari dan adanya kandungan air, tumbuhan dapat mengkonversi CO_2 menjadi glukosa dan juga oksigen. Setiap satu mol karbon dioksida yang diserap oleh tumbuhan dapat dirubah menjadi karbohidrat dan juga glukosa pada biomassa. Biomassa merupakan salah satu bentuk energi baru terbarukan (EBT) yang tersedia dalam jumlah besar dan sangat cocok untuk dikembangkan di Indonesia. Tergolongnya Indonesia sebagai negara agraris, dimana sangat melimpahnya lahan pertanian yang ada di Indonesia menyebabkan banyaknya limbah pertanian di Indonesia yang belum dimanfaatkan dengan baik. Biomassa tersusun atas selulosa, hemiselulosa dan lignin. Struktur tersebut yang akan terurai atau terdekomposisi pada saat dilakukannya proses gasifikasi.

2.3.1 Lignoselulosa

Limbah pertanian mengandung banyak bahan lignoselulosa yang bisa didegradasi oleh selulase. Lignoselulosa merupakan komponen organik berlimpah di alam, yang terdiri dari tiga polimer yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Komponen ini merupakan sumber utama untuk menghasilkan produk bernilai seperti gula dari hasil fermentasi, bahan kimia, bahan bakar cair, sumber karbon dan energi. (Pason at al, 2003).



Gambar 2.6 Selulosa, lignin dan hemiselulosa yang saling berikatan pada dinding sel tumbuhan Sumber: Holtzaple et al (2003)

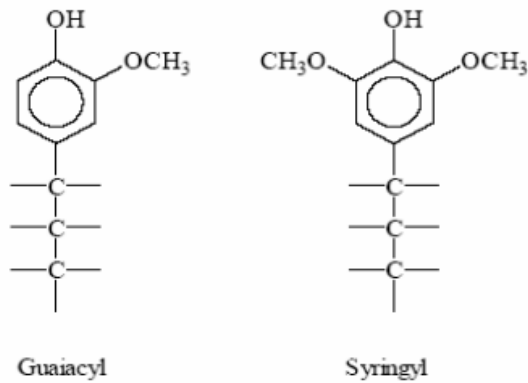
2.3.2 Lignin

Lignin ($C_9H_{10}O_2$, $C_{10}H_{12}O_3$, $C_{11}H_{14}O_4$) atau zat kayu adalah salah satu zat komponen penyusun tumbuhan. Komposisi bahan penyusun ini berbeda-beda bergantung jenisnya. Berbeda dengan selulosa yang terbentuk dari gugus karbohidrat, struktur kimia lignin sangat kompleks dan tidak berpola sama. Lignin tidak dapat diuraikan menjadi satuan monomer, karena bila dihidrolisis monomer sangat cepat teroksidasi sehingga cepat terjadi reaksi kondensasi.

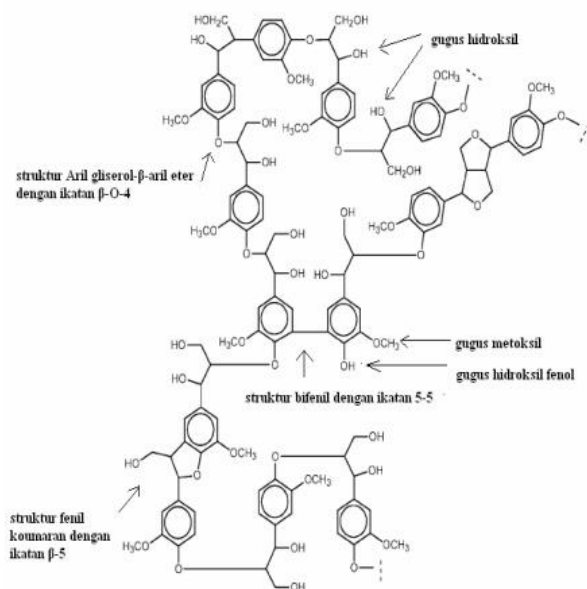
Lignin merupakan polimer kompleks kayu dari *phenylpropane* dan merupakan bagian dalam dari dinding sel tanaman. Lignin berbentuk polimer 3 dimensi dari *4-propenyl phenol*, *4-propenyl-2-methoxy phenol*, dan *4-propenyl-2,5-dimethoxyl phenol* (Diebold dan Bridgewater, 1997)

Lignin terutama terakumulasi pada batang tumbuhan berbentuk pohon dan semak. Lignin umumnya terdapat didaerah lamella tengah. Pada batang, lignin berfungsi sebagai bahan pengikat komponen penyusun lainnya sehingga memberi kekuatan mekanis dan perlindungan pada batang. Oleh sebab itu, lignin merupakan komponen biomassa yang sulit dipecah. Oleh karena itu lignin baru dapat terdekomposisi secara *thermal* mulai pada temperatur $376\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Struktur molekul lignin sangat berbeda dibandingkan dengan polisakarida karena terdiri atas sistem aromatik yang tersusun atas unit-unit fenilpropana: unit *guaiacyl* dari prekursor *trans*-koniferil alkohol, unit *syringyl* dari prekursor *trans*-sinapil alkohol, dan *p*-hidroksipenil dari prekursor *trans*-koumaril alkohol (Palonen, 2004).



Gambar 2.7 Unit-unit penyusun lignin
Sumber: Ibrahim (1998)

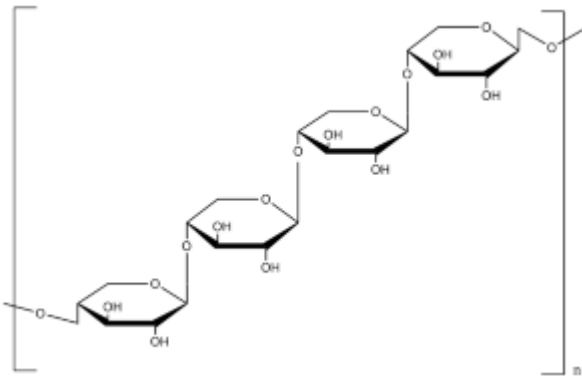


Gambar 2.8 Struktur lignin dari *softwood*
Sumber: Perez et al (2002)

2.3.3 Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan polimer dari pentosa (xilosa, arabinosa), heksosa (manosa, glukosa, galaktosa), dan asam gula. Berbeda dengan selulosa, hemiselulosa tidak homogen secara kimia. Hemiselulosa tersusun dari pentosan ($C_5H_8O_4$) dan heksosan ($C_6H_{10}O_5$). Berat kandungan hemiselulosa sekitar 20-30% dari berat kering kayu. Menurut Ndazi, 2007. Hemiselulosa *hardwood* mengandung paling banyak xialin, sedangkan hemiselulosa *softwood* mengandung paling banyak glukomanan. Xialin merupakan heteropolisakarida dengan rantai homopilimerik dengan ikatan 1,4- β -D unit xylopiranosa. Selain xialin dan xilosa, hemiselulosa juga mengandung arabinosa, asam glukoronat, atau 4-o-metil eter, dan asetat, ferulat, dan asam-p-kumarat. Hemiselulosa akan mengalami reaksi oksidasi dan

degradasi terlebih dahulu daripada selulosa, karena rantai molekul hemiselulosa lebih pendek dan bercabang.

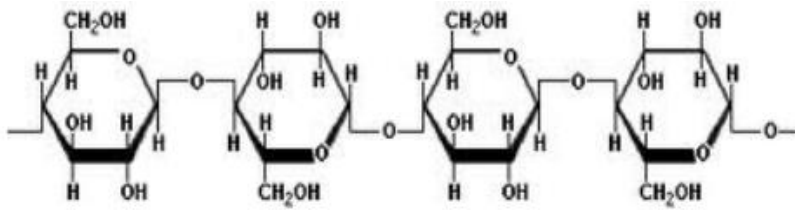


Gambar 2.9 Struktur hemiselulosa
Sumber: Capitra (2000)

2.3.4 Selulosa

Selulosa merupakan polimer yang paling melimpah di alam. Nama selulosa diciptakan oleh Anselme Payen, seorang ahli kimia fisika dan matematika Perancis pada tahun 1838. Selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ adalah polimer glukosa yang berbentuk rantai linier dan dihubungkan oleh ikatan β -1,4 glikosidik. Struktur yang linier menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut. Selulosa tidak mudah didegradasi secara kimia maupun mekanis. Unit penyusun selulosa adalah selobiosa karena unit keterulangan dalam molekul selulosa adalah dua unit gula (D-glukosa). Polimer rantai panjang selulosa terikat bersama oleh ikatan hidrogen dan ikatan Van Der Waals, yang mana menyebabkan selulosa terpaket dalam mikrofibril. Mikrofibril selulosa memiliki bagian kristalin yang besar (2/3 dari total selulosa) dan bagian terkecil yang tak berbentuk (amorphous). Semakin kristalin selulosa, akan semakin susah selulosa tersebut untuk terlarut dan terdegradasi (Mussatto and Teixeira, 2010).

Selulosa hampir tidak pernah ditemui dalam keadaan murni di alam, melainkan selalu berikatan dengan bahan lain seperti lignin dan hemiselulosa. Selulosa terdapat dalam tumbuhan sebagai bahan pembentuk dinding sel dan serat tumbuhan. Molekul selulosa merupakan mikrofibril dari glukosa yang terikat satu dengan lainnya membentuk rantai polimer yang sangat panjang. Adanya lignin serta hemiselulosa di sekeliling selulosa merupakan hambatan utama untuk menghidrolisis selulosa (Sjostrom, 1995).



Gambar 2.10 Struktur selulosa
Sumber: (Sjostrom, 1995).

2.4 Katalis

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan dalam reaksi tetapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Penambahan katalis dapat membuat reaksi berlangsung pada temperatur lebih rendah sehingga energi aktivasi yang dibutuhkan menjadi lebih rendah dan energi yang dibutuhkan saat bereaksi menurun. Hal ini menghasilkan reaksi dapat berlangsung lebih cepat (Nainggolan, 2017).

Secara umum katalis dibedakan menjadi katalis heterogen dan homogen. Katalis homogen adalah katalis yang fasenya sama dengan pereaksinya, sedangkan katalis heterogen fasenya berbeda dengan pereaksinya.

Cara kerja katalis adalah mengganggu ikatan kimia reaktan sehingga elektron dari substrat reaktan untuk sementara terperangkap. Ikatan baru terjadi disaat pelemahan ikatan kimia molekul reaktan. Gaya antar molekul melepas ikatan antara produk dan katalis. Reaksi umum ikatan katalitik di gambarkan sebagai berikut, dimana C melambangkan katalisnya:



Meskipun katalis (C) termakan oleh reaksi 1, namun selanjutnya dihasilkan kembali oleh reaksi 2, sehingga untuk reaksi keseluruhannya menjadi:



2.5 Bentonit

Bentonit merupakan sejenis tanah lempung yang secara alami mempunyai kemampuan mengembang sampai 15 kali volume keringnya jika menyerap air. Mineral bentonit memiliki diameter kurang dari 2 μm , yang mengandung silika, aluminium oksida dan hidroksida yang dapat mengikat air (Alvin, 2012). Bentonit merupakan istilah dalam dunia perdagangan untuk *clay* yang mengandung *monmorillonit*. Kandungan utama bentonit

adalah mineral *monmorilonit* (80%) dengan rumus kimia $[Al_{1.67}Mg_{0.33}(Na_{0.33})]Si_4O_{10}(OH)_2$. Bentonit banyak terdapat secara luas di semua benua. Bentonit dikenal dan dipasarkan dengan berbagai sinonim seperti sabun tanah liat, sabun mineral, *wilkinite*, *staylite*, *vol-clay*, *aquagel*, *ardmorite*, dan *refinite*.

Secara umum bentonit dibagi menjadi dua. Berdasarkan komponen penyusunnya yaitu Na-bentonit dan Ca-bentonit. Natrium bentonit (Na-bentonit) mengandung relatif lebih banyak ion Na^+ dibandingkan dengan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Bentonit ini dapat mengembang hingga 8 – 15 kali apabila dicelupkan ke dalam air dan tetap terdispersi beberapa waktu di dalam air. Pada bentonit jenis ini, posisi pertukaran ion terutama ditempati oleh ion natrium. Sementara itu, kalsium bentonit (Ca-bentonit) mengandung lebih banyak ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} , kurang menyerap air, tetapi secara alamiah atau setelah diaktifkan dengan asam, menjadi adsorben yang baik dan tetap terdispersi dalam air. Pada bentonit jenis ini posisi pertukaran ion didominasi oleh ion kalsium dan magnesium (Alvin, 2012).

Bentonit termasuk mineral yang memiliki gugus alumino-silikat. Unsur-unsur kimia yang terkandung dalam bentonit diperlihatkan pada :

Tabel 2.1
Komposisi Kimia Bentonit

Senyawa	Na-Bentonit (%)	Ca-Bentonit (%)
SiO ₂	61,3-61,4	62,12
Al ₂ O ₃	19,8	17,33
Fe ₂ O ₃	3,9	5,30
CaO	0,6	3,68
MgO	1,3	3,30
Na ₂ O	2,2	0,50
K ₂ O	0,4	0,55
H ₂ O	7,2	7,22

Sumber: Puslitbang Tekmira (2005)

Biomassa dengan katalis bentonit saat proses pirolisis menghasilkan lebih banyak gas dan meningkatkan kandungan hidrogen dan metana meskipun pada temperatur yang rendah (Dou, 2016). Pada prosesnya terdapat perpindahan atom (-) atau atom (+) dari bentonit ke biomassa. Pada biomassa terdapat ikatan -OH dimana unsur O merekat dengan unsur H dan bergerak bebas serta mudah terlepas sehingga kekosongan antara unsur O dan H dapat digantikan oleh bentonit. Proses perpindahan atom bentonit terjadi di permukaan dimana

atom yang bermuatan tersebut akan menyerap energi panas saat proses gasifikasi berlangsung.

Dengan adanya bentonit proses dekomposisi pemutusan ikatan rantai hidrokarbon panjang pada selulosa, hemiselulosa dan lignin menjadi rantai hidrokarbon pendek menjadi lebih cepat. Hal itu dikarenakan kandungan alumina (Al_2O_3) pada bentonit membuat bentonit berfungsi sebagai perambat panas yang baik sehingga proses penyerapan energi panas berlangsung secara optimal menyebabkan mempercepat proses dekomposisi pada biomassa.

Bentonit juga dapat membantu menghilangkan kandungan racun pada proses gasifikasi. Ammonia (NH_3) merupakan molekul yang sangat beracun dan merupakan gas yang tidak mudah terbakar. Ammonia dapat menurunkan pH dan dapat memperlambat proses *co-digestion*. Oleh karena itu kandungan ammonia pada gas hasil gasifikasi sangat merugikan. Penambahan bentonit dengan kandungan Ca^+ dan Na^+ dapat membantu mengurangi konsentrasi dari kandungan ammonia.

2.6 Gasifikasi

Gasifikasi merupakan salah satu teknologi pembentuk energi terbarukan dengan memanfaatkan biomassa yang terdapat di alam dengan cara mengkonversi bahan padat maupun cair menjadi gas yang dapat digunakan sebagai energi terbarukan. Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi ini merupakan gas yang dapat terbakar seperti, CH_4 , H_2 , CO dan senyawa yang sifatnya tidak murni seperti, H_2S , CO_2 , dan TAR. Gasifikasi ini menggunakan proses degradasi termal material organik pada temperatur tinggi didalam pembakaran yang tidak sempurna. Proses gasifikasi pada biomassa terjadi pada alat yang dinamakan gasifier. Pada gasifier biomassa di panaskan dengan minim oksigen sehingga pembakaran didalam gasifier tidak sempurna. Hasil pembakaran yang berupa uap air dan karbon dioksida direduksi sehingga berubah menjadi gas yang mudah terbakar seperti karbon monoksida (CO), hidrogen (H_2) dan metana (CH_4). Gas-gas yang terbentuk dari proses gasifikasi inilah yang akan menggantikan peran bahan bakar fosil yang semakin menipis keberadaannya. Gas ini dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar transportasi, industri, dan rumah tangga yang selama ini menggunakan bahan bakar fosil.

Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia untuk mengubah material berkarbon menjadi gas mampu bakar. Oleh karena itu, gasifikasi memerlukan bahan baku material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara dan biomassa. Pada gasifier inilah terjadi proses

pemanasan sampai temperatur reaksi tertentu dan selanjutnya menghasilkan gas mampu bakar dan sisa hasil pembakaran lainnya.

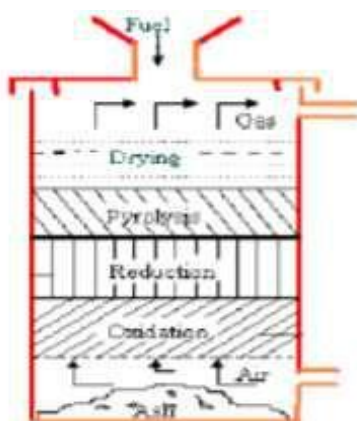
Tujuan dari gasifikasi adalah untuk memutuskan ikatan dari molekul kompleks ini menjadi gas yang sederhana yaitu Hidrogen dan karbon monoksida (H_2 dan CO). Kedua gas ini merupakan gas yang mudah terbakar serta memiliki kerapatan energi dan densitas. Keduanya merupakan gas yang sangat bersih dan hanya memerlukan satu atom oksigen untuk dibakar menghasilkan karbon dioksida dan air (CO_2 , H_2O). Inilah yang menyebabkan pembakaran yang melalui proses gasifikasi memiliki emisi yang lebih bersih. Proses gasifikasi terdiri dari beberapa tahapan yang memiliki kondisi termal berbeda.

2.6.1 Jenis-jenis Gasifikasi

Berdasarkan arah aliran fluida gas didalam reaktor gasifikasi pada umumnya dibagi menjadi dua yaitu :

a. Gasifikasi *Updraft*

Pada gasifikasi tipe *updraft* ciri dari sistem ini adalah arah aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian bawah *gasifier*. Sementara produksi gas mampu bakar dikeluarkan melalui bagian atas dari *gasifier*. Produksi gas mampu dikeluarkan melalui bagian atas dari reactor sedangkan abu dari proses reaksi jatuh ke bagian bawah *gasifier* karena pengaruh gaya gravitasi dan berat jenis abu sehingga kandungan menjadi lebih bersih. Gas mampu bakar kemudian bergerak menuju bagian atas *gasifier* yang memiliki temperatur lebih rendah. Selain itu kelebihan dari tipe ini adalah dapat digunakan dalam skala kecil dan *char* yang dihasilkan hampir tidak ada karbon karena terbawa oleh gas keatas. Kekurangan dari tipe ini adalah memiliki hasil tar yang tinggi.

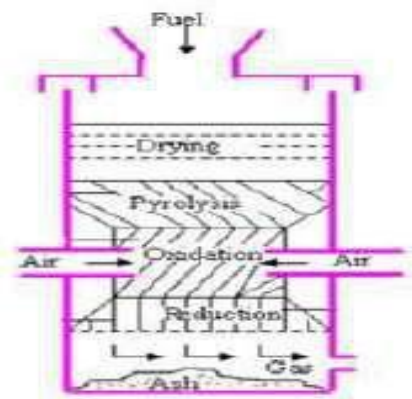


Gambar 2.11 *Updraft gasifier*

Sumber : Tasliman (2008)

b. Gasifikasi *Downdraft*

Pada gasifikasi tipe *downdraft* ciri dari sistem ini adalah arah aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian atas *gasifier*. Sementara produksi gas mampu bakar dikeluarkan melalui bagian bawah *gasifier*. Produksi gas mampu dikeluarkan melalui bagian bawah dari reaktor. Pada tipe ini gas yang dihasilkan cenderung lebih kotor dari pada tipe *updraft* karena kandungan *char* ikut terbawa keluar oleh gas karena pengaruh gaya gravitasi. Oleh karena itu, kelemahan dari tipe ini adalah sulit untuk mengendalikan abu yang keluar bersamaan dengan gas hasil gasifikasi



Gambar 2.12 *Downdraft* gasifier

Sumber : Tasliman (2008)

2.6.2 Proses Pada Reaktor Gasifikasi

Proses dekomposisi zat dengan temperatur tinggi untuk mendapatkan energi dari hidrokarbon dimana menggunakan medium sebagai oksidatornya disebut gasifikasi. Medium yang dapat digunakan dalam proses gasifikasi dapat berupa gas inert (N_2, CO_2), udara, dan uap. Tujuan utama gasifikasi adalah memecah molekul hidrokarbon yang memiliki rantai panjang menjadi molekul yang lebih kecil dan sederhana dalam bentuk gas. Gasifikasi menghasilkan produk sampingan berupa *char* dan *tar*. Sisa bahan baku yang berbentuk padat dalam gasifier disebut *char*. Pada proses kondensasi gas yang keluar dari gasifier dengan menggunakan kondesor menghasilkan produk cair yang disebut *char*. Pengkondensasian gas bertujuan untuk menurunkan uap air yang masih tercampur dengan gas hasil gasifikasi. CO_2 , CO , CH_4 dan H_2 merupakan gas yang tidak terpengaruh proses kondensasi.

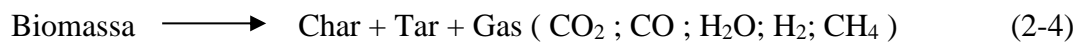
1. Proses Pengeringan

Proses pengeringan bertujuan mengurangi kandungan kadar air pada biomassa. Proses ini berlangsung pada temperatur $100^\circ C - 300^\circ C$. Kadar air pada biomassa dihilangkan melalui proses konveksi karena pada reaktor terjadi pemanasan dan udara yang bergerak

megeuarkan kandungan kadar air pada biomassa. Semakin tinggi temperatur pemanasan akan mampu mempercepat proses difusi kadar air yang terkandung di dalam biomassa.

2. Proses Pirolisis

Proses ini bertujuan membentuk *tar*, *char* dan senyawa gas yang mampu bakar tanpa oksigen sehingga pembakarannya kurang sempurna. Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi laju pemanasan selama pirolisis berlangsung. Temperatur berlangsungnya proses pirolisis sekitar temperatur 300 °C. reaksi pada pirolisis secara umum sebagai berikut:

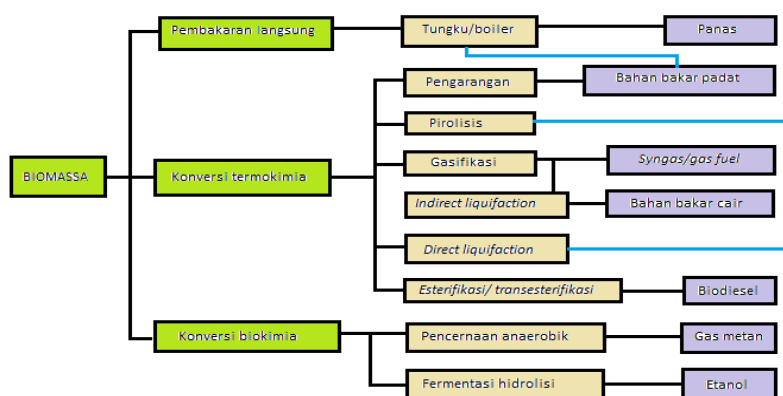
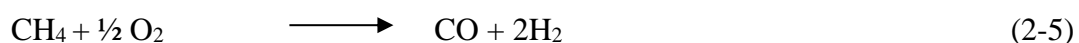


3. Proses Reduksi

Proses reduksi adalah proses dimulainya pembentukan gas mampu bakar seperti *hydrogen* dan karbon monoksida dari *char* hasil pirolisis, dimana kandungan dari *char* tersebut mengandung hidrokarbon . Kandungan hidrokarbon dalam *char* tersebut harus direaksikan dengan karbon dioksida. Akibat di reaksikan dengan karbon dioksida maka rantai hidrokarbon terputus dan menghasilkan senyawa $\text{H}_2, \text{CH}_4, \text{CO}$. Temperatur terjadinya proses reduksi antara 400 °C sampai 900 °C.

4. Proses Oksidasi / Pembakaran

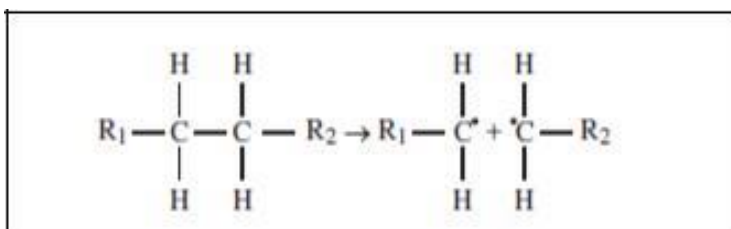
Proses oksidasi adalah proses mulainya pembentukan gas *hydrogen* dari metana. Proses ini terjadi pada temperatur di atas 900°C dan pada proses ini dipengaruhi oleh distribusi oksigen yang merata pada area oksidasi .Syarat terjadinya proses oksidasi atau pembakaran adalah terdapat tiga elemen penting yang saling mengisi satu sama lain, yaitu panas (*heat*), bahan bakar (*fuel*) dan udara. Bentuk reaksi pembentukan gas *hydrogen* pada proses oksidasi sebagai berikut :



Gambar 2.13 Macam-macam mekanisme koversi biomassa
Sumber: Jalal (2012)

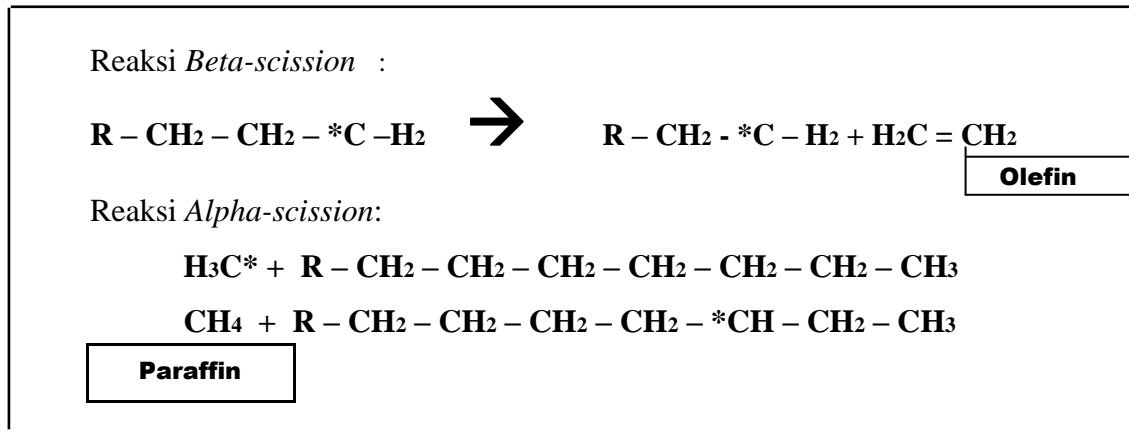
2.6.2.1 Thermal Cracking

Thermal cracking merupakan proses pemecahan struktur kimia ikatan karbon dengan carbon (C – C) pada rantai panjang yang pemecahanan stuktur kimia disebabkan oleh kalor (panas) sehingga biomassa dapat terdekomposisi secara *thermal*. Dimana proses tersebut bertujuan untuk mengkonversi kandungan pada biomassa menjadi produk yang mampu bakar (Sadeghibeigi, 2012). Proses *thermal cracking* sangat erat hubungannya dengan fungsi temperatur dan waktu. Proses reaksi utama pada *thermal cracking* adalah terbentuknya radikal bebas. Radikal bebas merupakan molekul yang tidak mempunyai pasangan elektron dan sangat reaktif sehingga menyebabkan menarik pasangan elektron lainnya. Radikal bebas terbentuk akibat terputusnya ikatan rantai karbon. Berikut merupakan contoh reaksi pemutusan ikatan karbon yang diakibatkan oleh energi panas yang menyebabkan terbentuknya radikal



Gambar 2.14 Reaksi pembentukan radikal bebas
 Sumber : Sadeghibeigi (2012,p,126)

Dengan adanya radikal bebas dapat menyebabkan terjadi proses *beta-scission* dan *alpha-scission*. *Beta-scission* adalah proses pemecahan ikatan karbon (C – C) yang diakibatkan oleh radikal bebas sehingga dapat menghasilkan olefin (ethylene) dan radikal bebas yang lainnya. Sementara itu proses *alpha-scission* menghasilkan metil radikal, yang mana dapat mengekstrak atom hidrogen dari kandungan molekul hidrokarbon netral pada biomassa. Ekstraksi hidrogen tersebut menghasilkan paraffin yaitu gas metana (CH₄) dan radikal bebas sekunder.

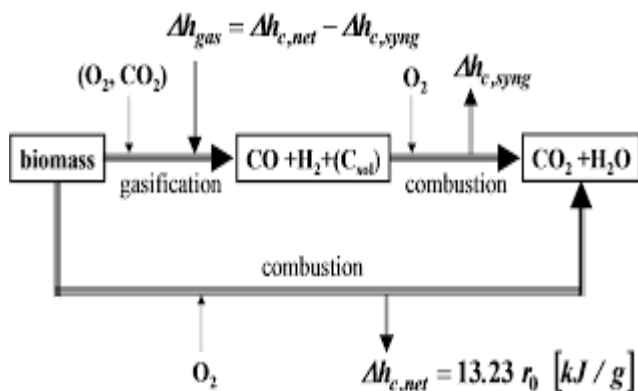
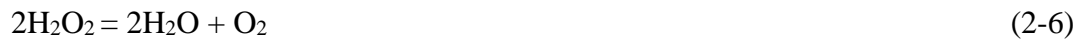


Gambar 2.15 Reaksi *beta-scission* dan *alpha-scission*
 Sumber : Sadeghibeigi (2012,p,127)

2.6.2.2 Reaksi Dekomposisi

Reaksi dekomposisi adalah reaksi kimia yang menghasilkan produk dari pemecahan reaktan. Reaktan di pecah menjadi bentuk produk yang lebih sederhana. Bentuk paling umum dari reaksi dekomposisi adalah $AB = A+B$.

Contoh reaksi dekomposisi secara spontan *hydrogen peroxide* ($2\text{H}_2\text{O}_2$)



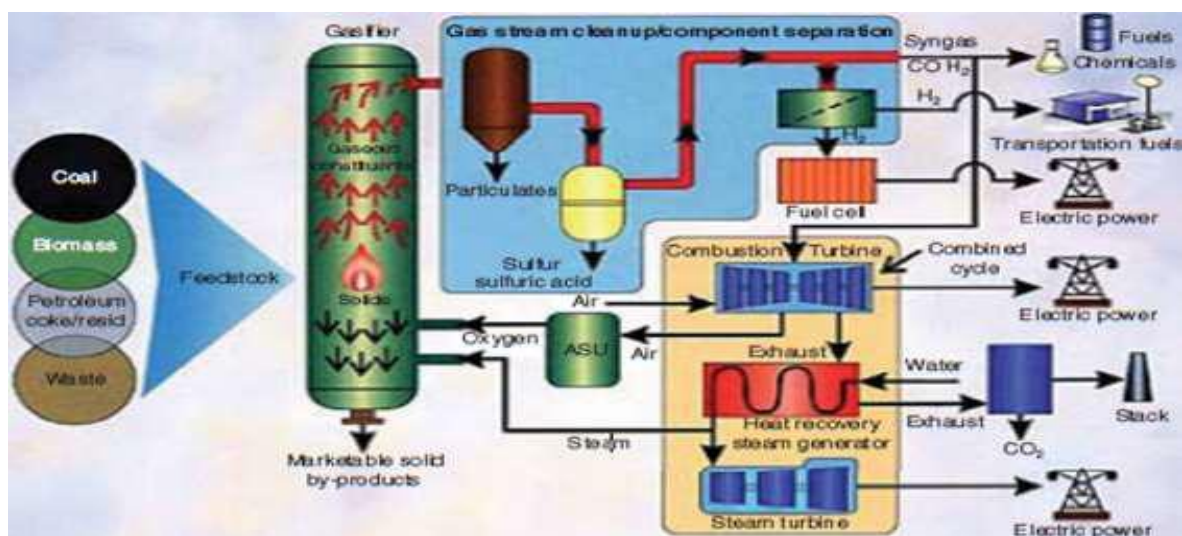
Gambar 2.16 Dekomposisi biomassa
 Sumber : Hrabovsky,2011

2.7 Syngas

syngas (synthesis gas) adalah campuran gas yang mengandung H_2 dan CO dengan jumlah yang bervariasi. *Syngas* harus memiliki tekanan tinggi, mengingat proses untuk sintesis amonia berlangsung pada tekanan yang tinggi. Selain itu, *syngas* harus bebas

senyawa sulfur untuk menghindari korosi pada alat dan menghindari lepasnya senyawa sulfur ke lingkungan saat proses pembakaran, *carbon oxide* (CO dan CO₂), dan air. Di samping itu, produk samping berupa CO₂ dengan kemurnian 90% dapat digunakan sebagai bahan baku sintesis urea. Namun, produk samping CO₂ ini perlu *treatment* lanjutan untuk menghilangkan kandungan airnya, mengingat CO₂ yang dapat digunakan untuk sintesis urea konsentrasinya harus lebih dari 98,5%.

Syngas merupakan komponen yang sangat penting di muka bumi ini karena peran dari bahan bakar fosil karena dapat berfungsi sebagai sumber bahan bakar pada manufaktur dan pembangkit listrik. Rasio dari metana, hidrogen dan karbon monoksida pada gas dari hasil gasifikasi merupakan parameter yang sangat penting. Komposisi yang terkandung dalam satuan unit massa bahan bakar dan satuan unit volume dapat menentukan nilai LHV bahan bakar dan LHV *syngas*.



Gambar 2.17 *Syngas* sebagai sumber bahan bakar
Sumber: Ke Liu (2010,p,466)

2.8 Hipotesis

Bentonit secara umum Na⁺ maupun Ca⁺ memiliki senyawa (Al₂O₃) atau biasa disebut alumina. Alumina (Al₂O₃) dapat mengantarkan panas dengan baik sehingga dapat menurunkan energi aktivasi, energi aktivasi yang berkurang menyebabkan pembentukan senyawa terjadi lebih cepat. Pembentukan senyawa yang lebih cepat berdampak pada meningkatnya jumlah *syngas* yang dihasilkan. Sehingga proses gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan bentonit akan diperoleh hasil *syngas* lebih banyak dibanding tanpa bentonit.

