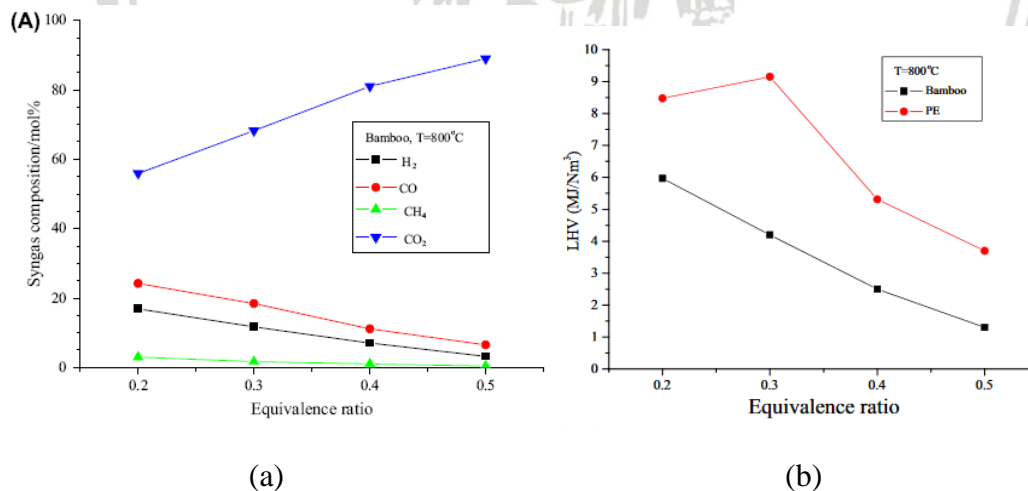


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Zheng *et al* (2016) melakukan penelitian gasifikasi menggunakan biomassa bambu dengan menggunakan tungku gasifier model *fix bed*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *equivalence ratio* (rasio antara udara yang tersedia dengan biomassa) dan penambahan katalis CaO terhadap hasil gasifikasi dan nilai LHV dari hasil tersebut.

Meningkatnya nilai *equivalence ratio* pada reaksi gasifikasi biomassa bambu, akan membantu reaksi oksidasi, karena kadar oksigen yang meningkat. Tetapi, kualitas *syngas* pada gasifikasi ini mengalami penurunan, baik dari segi kandungan gas maupun nilai LHV yang dihasilkan. Meningkatnya nilai *equivalence ratio* mengurangi hasil dari gas CO dan CH₄, dari 16.9% dan 24.2% menjadi 3.2% dan 6.5%. Namun, kadar CO₂ meningkat dari 55.9% menjadi 89%. Nilai dari LHV mula-mula naik sampai 5.97 MJ/Nm³, kemudian menurun menjadi 1.30 MJ/Nm³. Hasil secara keseluruhan akan dijelaskan pada Gambar 2.1.

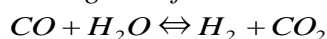


Gambar 2.1 Pengaruh *equivalence ratio* terhadap (a) komposisi *syngas* dan (b) nilai LHV
Sumber : Zheng *et al*(2016)

Dengan penambahan katalis CaO pada gasifikasi bambu, terlihat bahwa katalis CaO dapat meningkatkan hasil gasifikasi bambu. Hasil H₂ dan CO mengalami peningkatan dari 11.7% dan 18.4% menjadi 34.1% dan 26.9% dimana hasil CO₂ menurun drastis dari 68.2%

menjadi 28.6%. Hal ini terjadi karena pergeseran kesetimbangan, sesuai dengan aturan Le Chaterier, jika terdapat perubahan konsentrasi pada reaksi kesetimbangan, maka kesetimbangan akan bergeser menuju senyawa yang konsentrasinya berkurang. Kandungan CO_2 terserap oleh katalis CaO , sehingga mengurangi konsentrasi dari CO_2 tersebut. Konsentrasi CO_2 yang berkurang akan memicu reaksi *water-gas shift reaction*, reaksi pemecahan senyawa tar, dan reaksi pembentukan sehingga akan meningkatkan konsentrasi pada H_2 dan CO . Ketiga reaksi tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

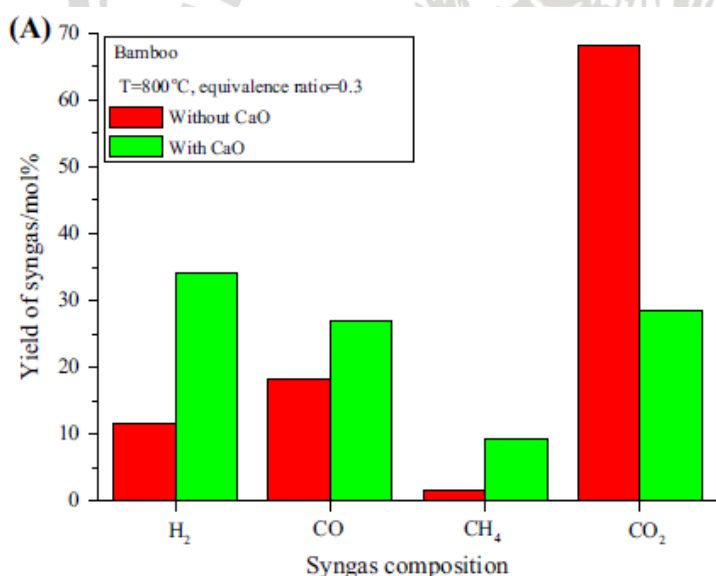
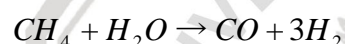
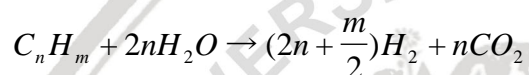
- *Water-gas shift reaction* :



- Reaksi pemecahan senyawa tar



- Reaksi pembentukan

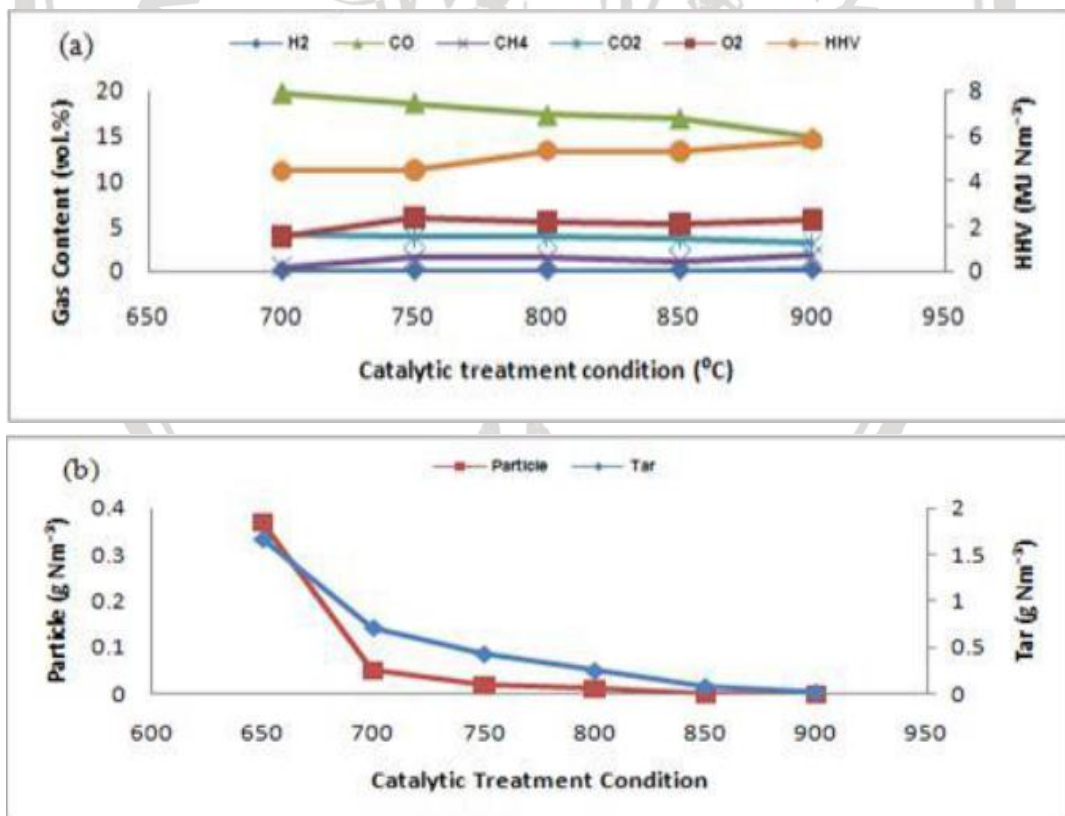


Gambar 2.2 Pengaruh penambahan katalis CaO terhadap hasil gasifikasi Bambu
Sumber : Zheng et al (2016)

Yuriantama (2017) melakukan penelitian mengenai pengaruh kadar bentonit terhadap hasil gasifikasi sekam padi dengan menggunakan tiga variasi temperatur. Pada penelitiannya ini, Andretti menemukan bahwa kuantitas katalis dan suhu mempengaruhi hasil gasifikasi. Semakin tinggi temperatur pemanasan pada proses gasifikasi, hasil gasifikasi akan semakin

optimal dikarenakan komponen pada biomassa akan terdekomposisi lebih efektif. Jika ditambahkan katalis bentonit, dimana berperan dalam memecah rantai hidrokarbon kompleks menjadi rantai hidrokarbon pendek dengan menembakkan proton H^+ yang terdapat pada bentonit, maka akan lebih mengoptimalkan hasil dari gasifikasi biomassa.

Selain itu, Warsito (2016) meneliti mengenai pengaruh suhu dan katalis terhadap penghapusan kadar tar pada proses gasifikasi. Aris menggunakan media kayu pelet (sejenis serbuk kayu) sebagai objek gasifikasi. Variasi suhu gasifikasi dibuat antara 650°C sampai 900°C dengan interval 50°C . Media yang digunakan sebagai katalis adalah Dolomit, Zeolit, Nikel, Ruthenium, dan Rhodium. Aris menyimpulkan bahwa Dolomit merupakan katalis yang lebih baik untuk menunjang gasifikasi pada kayu pellet, karena menghasilkan nilai LHV yang lebih besar ketimbang dengan katalis lainnya. Namun, katalis dolomit ini berfungsi secara efektif pada suhu 900°C , dari segi kualitas gas yang dihasilkan maupun jumlah tar yang dihasilkan. Grafik pengaruh perlakuan penghapusan tar dengan katalis dolomit ditunjukkan oleh Gambar 2.3



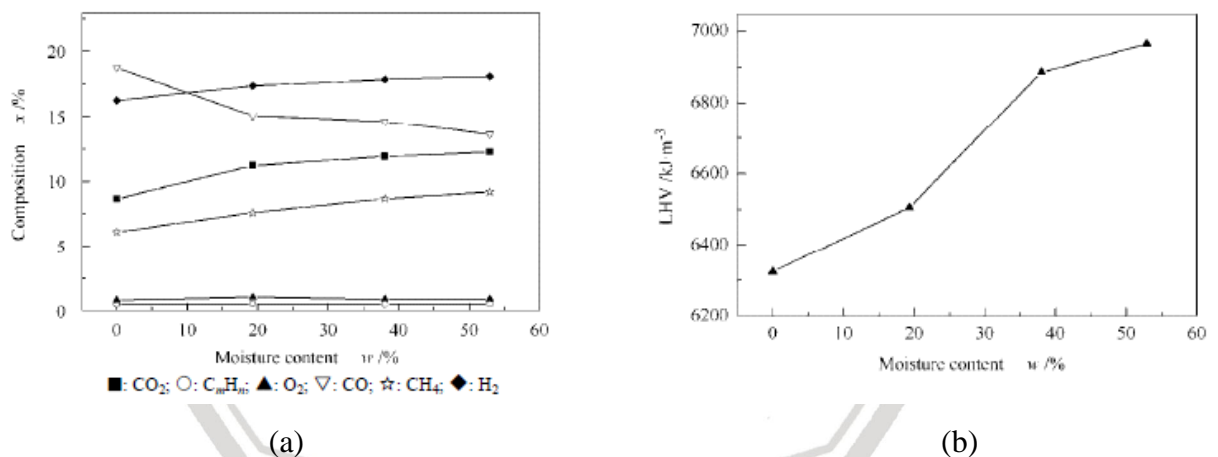
Gambar 2.3 Pengaruh temperatur gasifikasi terhadap (a) Kandungan Gas dan Nilai HHV (b) Jumlah tar

Sumber : Warsito (2006)

Pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa katalis dolomit dalam penghilangan tar mulai menunjukkan aktivitasnya pada suhu 650 °C sampai 700 °C, ditunjukkan oleh penurunan kadar tar yang signifikan. Lebih dari suhu 700 °C, kandungan tar tidak mengalami perubahan yang signifikan, namun terus berkurang sampai katalis dolomit berfungsi secara optimal, yaitu pada suhu 900 °C, dimana kualitas *syngas* semakin bertambah dan kandungan tar yang dihasilkan telah mencapai nol. Temperatur merupakan salah satu parameter terpenting dalam proses gasifikasi kayu pelet ini.

Selain itu, penelitian mengenai pengaruh kadar air terhadap hasil gasifikasi dilakukan oleh Xie Li-ping *et al* (2010) yang melakukan proses gasifikasi dengan media limbah lumpur dengan menggunakan *tungku gasifier* model *fixed bed*. Limbah lumpur terbagi atas 3 sampel, dimana bersumber dari dua tempat pengolahan limbah di Tianjin. Ukuran dari limbah lumpur berkisar 3-4 cm pada sebuah ayakan sebelum gasifikasi. Limbah lumpur dengan berbagai kadar air didapat dengan merendamnya, kemudian dipanaskan sampai dengan suhu tertentu.

Pengaruh kadar air lumpur terhadap sifat pada *syngas* ditunjukkan pada Grafik 2.2.



Gambar 2.4 (a) Pengaruh kadar air pada lumpur terhadap komposisi pada *syngas*

(b) Pengaruh kadar air pada lumpur terhadap nilai LHV pada gas

Sumber : Xie Li-ping *et al* (2010)

Berdasarkan Gambar 2.4, dapat dilihat bahwa kandungan CO₂, H₂, CH₄ pada gas dan nilai LHV mengalami peningkatan dari 8.68%, 16.27%, 6.14% dan 6364 kJ/m³ menjadi 12.25%, 18.12%, 9.20% dan 6965 kJ/m³, dengan peningkatan kadar air dari 0% sampai 52.9%. Namun, kandungan CO berkurang dari 18.79% menjadi 13.62%.

Reaksi-reaksi yang terjadi pada zona oksidasi dan reduksi :

Zona Oksidasi

- $C + O_2 \rightarrow CO_2$ $\Delta H = -406 \text{ kJ/mol}$
- $2C + O_2 \rightarrow 2CO$ $\Delta H = -123 \text{ kJ/mol}$

Zona Reduksi

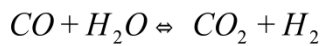
- $C + CO_2 \rightarrow 2CO$ $\Delta H = 162 \text{ kJ/mol}$
- $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ $\Delta H = 119 \text{ kJ/mol}$
- $C + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 2H_2$ $\Delta H = 75 \text{ kJ/mol}$
- $C + H_2 \rightarrow CH_4$ $\Delta H = -87 \text{ kJ/mol}$
- $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ $\Delta H = -42 \text{ kJ/mol}$
- $2C + H_2O \rightarrow CO_2 + CH_4$ $\Delta H = -11 \text{ kJ/mol}$

Kandungan CO_2 , H_2 , CH_4 meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan air, sesuai dengan reaksi (1), (2), (4),(5). Reaksi (1) merupakan reaksi gas-padat, sedangkan reaksi (4) merupakan reaksi gas-gas. Dengan demikian, dengan meningkatnya kandungan uap (meningkatnya tekanan parsial uap) akan mempercepat reaksi (4) dibandingkan dengan reaksi (1), sehingga volume CO yang dipakai pada reaksi (4) lebih besar dari jumlah CO yang dihasilkan pada reaksi (1), sehingga menyebabkan kandungan CO menurun seiring dengan meningkatnya kandungan air. Meningkatnya kandungan CH_4 dan H_2 akan meningkatkan nilai LHV dari *syngas* tersebut. Dapat disimpulkan bahwa peningkatan kadar air pada gasifikasi limbah lumpur akan meningkatkan kualitas dari *syngas*.

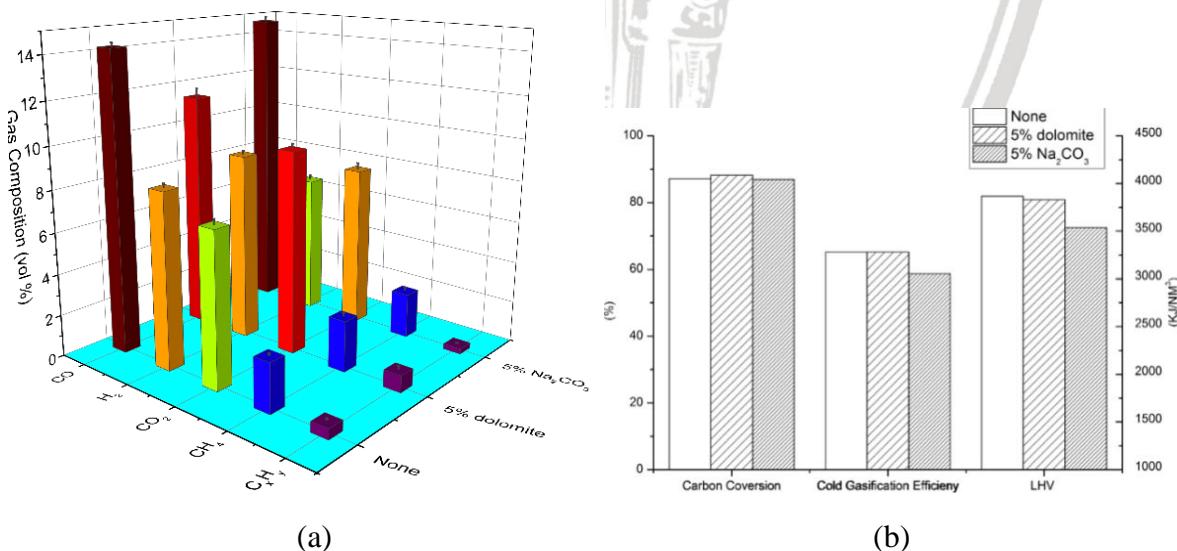
Dalam penelitian lain, Haimiao Yu et al (2018) melakukan penelitian mengenai pengaruh katalis terhadap gasifikasi biomassa dengan menggunakan *entrained-flow gasifier*. Media yang digunakan adalah selulosa (Avicel 101), hemiselulosa (Tepung xylan), dan lignin (jerami). Katalis yang digunakan adalah Dolomit ($CaO_3 \cdot MgO \cdot CO_2$) dan Na_2CO_3 , karena tersedia dalam jumlah banyak, murah dan ramah lingkungan. Media yang sudah dipilih akan dilumatkan dan disaring untuk menghasilkan partikel yang berukuran

kurang dari 0.3 mm. Kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin berturut turut 40.52%, 24.87%, 17.85%.

Pengaruh dua katalis terhadap hasil gasifikasi ditunjukkan pada Gambar 2.5. Dua katalis menunjukkan perbedaan yang signifikan. Setelah menambahkan dolomit, kandungan H_2 meningkat dari 8.38% menjadi 9.01%. Kandungan CO_2 berkurang dari 14.23% menjadi 11.32%. Pengurangan yang signifikan ini terjadi karena berpindahnya kesetimbangan reaksi menuju ke kanan :



Namun, jika ditambahkan Na_2CO_3 , kandungan H_2 berkurang secara signifikan dari 8.39% menjadi 6.80%. Kandungan C_xH_y juga mengalami penurunan yang signifikan. Hal ini terjadi karena katalis Na_2CO_3 menghalangi proses gasifikasi dari selulosa. Saat dihasilkan uap kondensasi pada proses pirolisis, terjadi reaksi sampingan dan uap terpecah menjadi arang, tar, dan berbagai gas. Na_2CO_3 menghalangi reaksi diatas, menyebabkan gas C_xH_y dan H_2 yang dihasilkan menurun. Karena itu, setelah penambahan Na_2CO_3 , konversi karbon, efisiensi gasifikasi, dan nilai *calorific value* pada gas mengalami penurunan. Dolomit menunjukkan efek yang tidak signifikan pada gasifikasi selulosa.

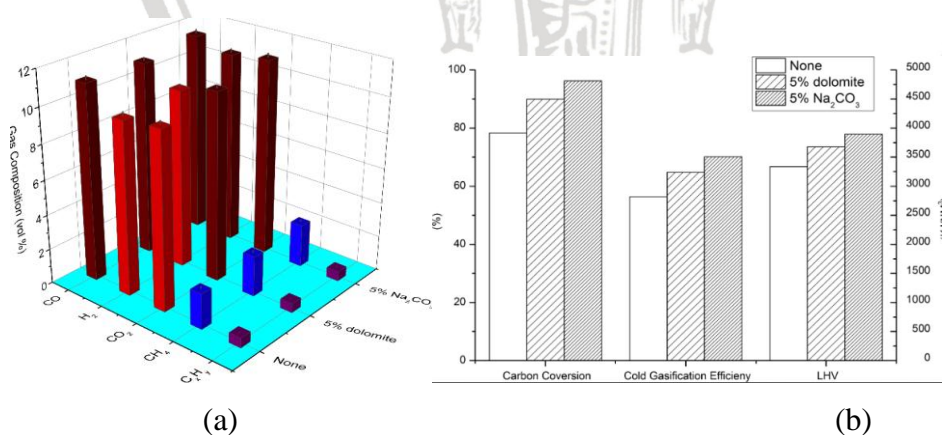


Gambar 2.5 (a) Efek katalis Dolomit dan Na_2CO_3 terhadap komposisi gas (b) Efek katalis Dolomit dan Na_2CO_3 terhadap indikator gasifikasi utama pada Selulosa.

Sumber : Haimiao Yu et al (2018)

Pada hemiselulosa, efek penambahan katalis dolomit dan Na_2CO_3 ditunjukkan pada Gambar 2.6. Setelah penambahan dua katalis, komposisi gas hasil gasifikasi berubah secara signifikan. Efek penambahan Na_2CO_3 lebih besar dari dolomite. Kandungan gas H_2 dan CH_4 meningkat dari 9.82% dan 2.05% menjadi 10.98 dan 2.47%. Perubahan yang terjadi pada gas CO dan C_xH_y tidak signifikan. Penambahan katalis juga berefek pada peningkatan indikator gasifikasi utama.

Setelah menambahkan katalis dolomit, efisiensi gasifikasi dan nilai LHV meningkat secara berturut-turut sebesar 3.19% dan 2.74%. Setelah menambahkan Na_2CO_3 , efisiensi gasifikasi dan nilai LHV meningkat secara berturut-turut sebesar 11.64% dan 8.83%. Ini menandakan bahwa kedua katalis berperan positif pada gasifikasi hemiselulosa dan Na_2CO_3 lebih berperan signifikan dibanding dolomit. Perbedaan ini disebabkan karena mekanisme kerja kedua katalis, dimana komposisi dolomit terdiri dari 30% CaO , 21% MgO , dan 45% CO_2 . Pada gasifier, komposit CaO-MgO terbentuk pada 1000°C . Pada permukaan komposit, terdapat situs aktif yang dapat menyerap unsur hidrokarbon ringan yang dihasilkan selama proses gasifikasi, dan memecah ikatan C-C dan C-H. Pada tahap ini, *syngas*, tar ringan, dan unsur lain akan dihasilkan. Sebagai logam alkali, Na_2CO_3 akan mencegah pembentukan struktur kimia yang stabil dan melemahkan ikatan C-C dengan mekanisme transfer oksigen, dengan demikian akan mengurangi energi aktivasi pada proses pirolisis.



Gambar 2.6 (a) Efek katalis Dolomit dan Na_2CO_3 terhadap komposisi gas (b) Efek katalis Dolomit dan Na_2CO_3 terhadap indikator gasifikasi utama pada Hemiselulosa.

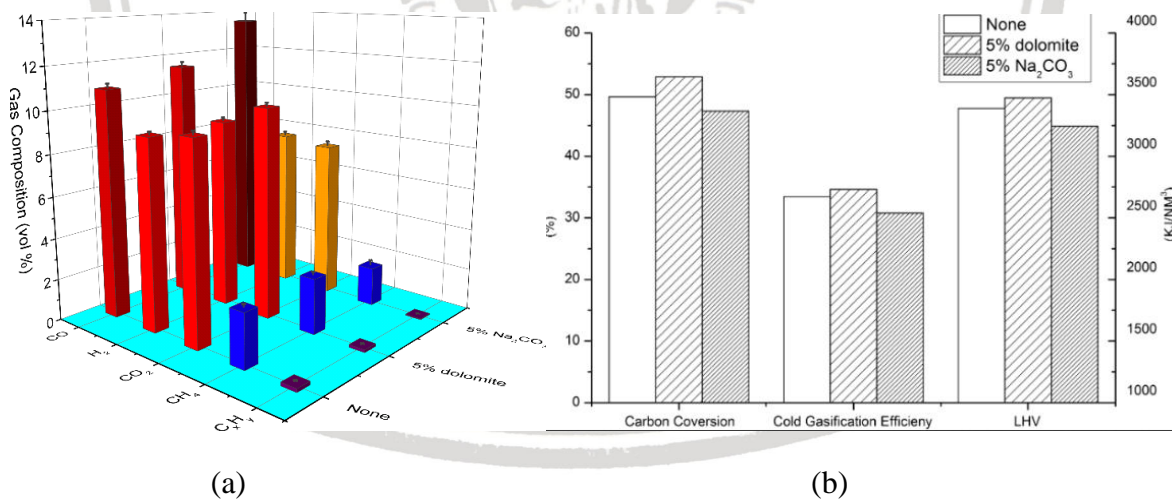
Sumber : Haimiao Yu et al (2018)

Pada lignin, efek penambahan katalis ditunjukkan pada Gambar 2.7. Efek katalis dolomit dan Na_2CO_3 mengalami perbedaan yang signifikan. Setelah menambahkan dolomit, kandungan gas H_2 , CH_4 , dan C_xH_y cenderung tidak berubah dan kandungan CO dan CO_2 mengalami penambahan sedikit, karena penambahan dolomit lebih memfasilitasi pemecahan senyawa tar. Setelah penambahan Na_2CO_3 , kandungan H_2 , CH_4 , CO_2 , dan C_xH_y pada gasifikasi lignin mengalami penurunan dan kandungan CO meningkat secara signifikan.

Setelah menambahkan dolomit, indikator gasifikasi pada lignin meningkat. Setelah menambahkan Na_2CO_3 , indikator gasifikasi pada lignin sedikit berkurang. Hasil ini menunjukkan bahwa dolomit memberi peran positif pada gasifikasi lignin, dan Na_2CO_3 menghambat gasifikasi pada lignin. Hal tersebut terjadi karena persentase karbon pada lignin yang relatif tinggi, sehingga menyebabkan reaksi *hydrogasification* yang mengarah ke arah positif :



Sehingga akan memberikan efek positif pada peningkatan komposisi gas H_2 .



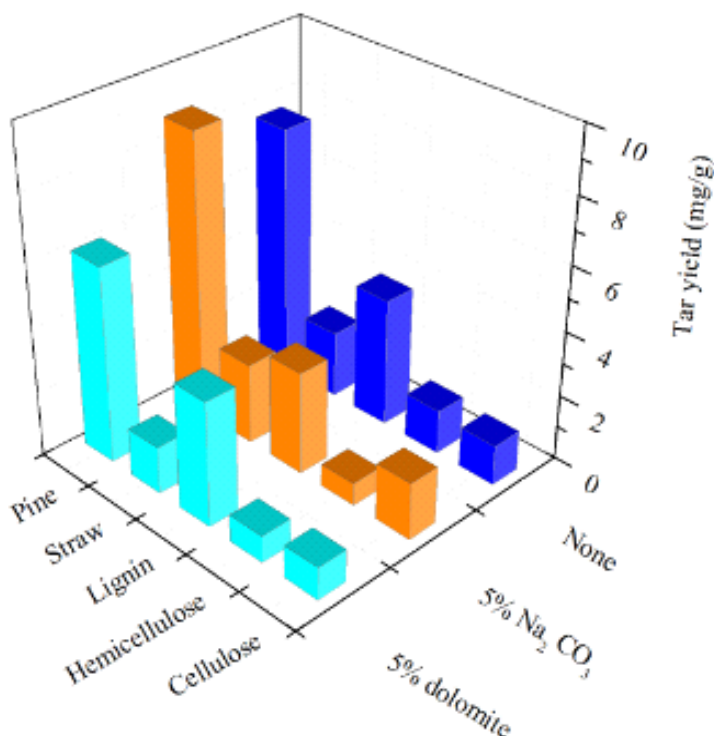
Gambar 2.7 (a) Efek katalis Dolomit dan Na_2CO_3 terhadap komposisi gas

(b) Efek katalis Dolomit dan Na_2CO_3 terhadap indikator gasifikasi utama pada Lignin.

Sumber : Haimiao Yu et al (2018)

Dapat disimpulkan bahwa dolomit menunjukkan peran positif pada gasifikasi selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Dolomit meningkatkan efisiensi gasifikasi, LHV, konversi

karbon, dan menurunkan hasil tar. Na_2CO_3 menunjukkan peran positif pada gasifikasi hemiselulosa, tetapi menghambat proses gasifikasi pada selulosa dan lignin. Dengan demikian, Na_2CO_3 cocok dipakai untuk mengkatalis proses gasifikasi biomassa dengan kandungan hemiselulosa yang tinggi.



Gambar 2.8 Efek penambahan katalis dolomit dan Na_2CO_3 terhadap hasil tar pada 3 komponen utama biomassa, jerami, dan pinus.

Sumber : Haimiao Yu et al (2018)

2.2 Katalis

Katalis merupakan unsur yang berperan untuk mempercepat reaksi. Katalis dapat mempengaruhi kecepatan reaksi, tanpa mengalami perubahan secara kimiawi pada akhir reaksi. Katalis dapat mempercepat reaksi dengan cara memberikan reaksi alternatif, dimana membutuhkan energi aktivasi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan reaksi normal (Daniels et al, 2003). Akibatnya, energi yang dibutuhkan untuk melakukan reaksi menjadi lebih sedikit dan reaksi dapat berlangsung pada temperatur yang lebih rendah. Katalis yang biasa dipakai pada gasifikasi adalah bentonit, dolomit, dan Na_2CO_3 . Pada penelitian ini, bentonit akan dipergunakan sebagai katalisatornya.

2.2.1 Bentonit

Bentonit merupakan jenis tanah lempung yang mempunyai sifat plastis dan koloidal yang tinggi, dengan kandungan utama mineral smektit (montmorillonite). Bentonit tersedia melimpah di muka bumi, terbentuk dari hasil pelapukan abu vulkanik. Rumus kimia dari bentonit adalah $\text{Al}_2\text{H}_2\text{Na}_2\text{O}_{13}\text{Si}_4$ (Sodium Bentonit). Bentuk dari bentonite sendiri adalah butiran-butiran yang halus. Bentonit memiliki kemampuan menyerap air yang besar. Jika bentonit berkontak dengan air, maka bentonit dapat menyerap air sebesar lima sampai lima belas kali dari volume keringnya (Alther, 1984).

Berdasarkan jenisnya, bentonit dibagi menjadi 2 jenis yaitu Na-Bentonit dan Ca-Bentonit. Ca-Bentonite biasanya digunakan sebagai bahan penyerap, pemucat minyak goreng, zat perekat pasir cetak, sebagai katalisator dalam industri kimia, dan sebagainya. Natrium bentonit dapat digunakan sebagai lumpur pembilas (*drilling mud*) dalam pengeboran minyak, gas dan panas bumi, pencampuran semen, bahan penyumbat kebocoran bendungan dan sebagainya (Buchari, 1996).

Ketika bentonit terlibat dalam reaksi, rantai -O dan -OH yang terdapat pada tar dan polimer rumit lainnya (paraffin, olefin) akan cenderung untuk melepaskan diri dari rantai utama, sehingga atom H^+ yang terdapat pada bentonit akan masuk ke rantai polimer dan akan menjadi rantai yang lebih sederhana. Reaksi ini terjadi secara endotermis, yaitu membutuhkan energi ikatan kimia untuk proses pemanasan. Reaksi tersebut terjadi pada suhu $550\text{-}2700^\circ\text{C}$. Hidrokarbon ringan seperti metana, etana, dan propana tidak terpengaruh oleh peran bentonit pada reaksi.

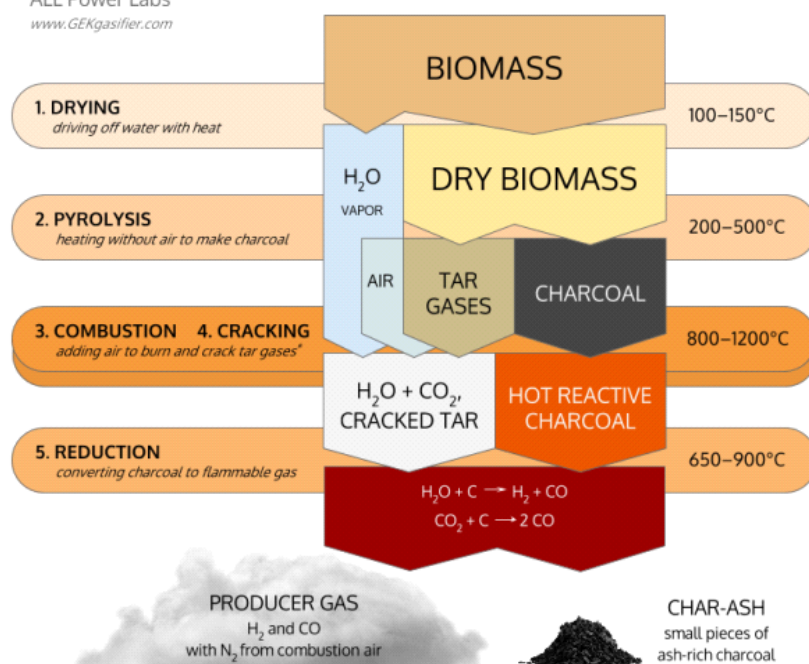
2.3 Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses konversi energi secara termokimia, dari material-material yang mengandung hidrokarbon (batubara, *petcoke*, biomassa) menjadi gas mampu bakar (CO , H_2 , C_xH_y) melalui proses pembakaran dengan suplai oksigen terbatas. Faktor ini yang membedakan antara gasifikasi, pirolisis, dan pembakaran, dimana AFR (*Air-Fuel Ratio*) yang dibutuhkan pada saat gasifikasi adalah kurang dari $3/2$. Ada empat tahapan dalam proses gasifikasi, yaitu pengeringan, pirolisis, reduksi, dan oksidasi.



The Five Processes of Gasification

ALL Power Labs
www.GEKgasifier.com



* tar cracking is the breakdown of tar into H₂, CO, and other flammable gases by exposure to high temperatures.

Gambar 2.9 Proses Gasifikasi

Sumber : Tom Reed (2017)

2.3.1 Pengeringan

Pengeringan merupakan tahapan pertama dari proses gasifikasi, yaitu proses penguapan kandungan air pada biomassa pada interval suhu 100-150 derajat celcius. Reaksi ini terjadi pada bagian atas reaktor (zona dengan temperatur terendah di dalam reaktor). Pada proses pengeringan, biomassa tidak mengalami penguraian unsur-unsur kimianya (dekomposisi kimia), tetapi hanya terjadi pelepasan kandungan air dalam bentuk uap air, sehingga pada proses pengeringan ini akan dihasilkan biomassa kering dan uap air.

2.3.2 Pirolisis

Pirolisis atau *devolatilisasi* disebut juga dengan gasifikasi parsial. Kandungan volatile matter pada biomassa terdekomposisi menjadi gas *volatile matter*, tar, dan arang karbon. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis, terjadi pada suhu (200-500)°C. Pada proses pirolisis, hemiselulosa akan terdekomposisi (200-260°C), diikuti

oleh selulosa (240-340°C), dan lignin (280-500°C). Semakin tinggi laju pemanasan pada pirolisis, akan semakin mempercepat pembentukan produk yang mudah menguap, dan meningkatkan tekanan dalam reaktor. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H_2 , CO , CO_2 , C_xH_y , H_2O), tar, dan char (arang).

Tar merupakan cairan kental berwarna hitam yang terbentuk dari reaksi dekomposisi biomassa. Tar dapat bereaksi kembali dengan metode *thermal cracking* dan direaksikan dengan *fuel gas* seperti gas H_2 , CO_2 , H_2O . Untuk mendekomposisi tar secara optimal, temperatur tinggi pada *thermal cracking* sangat diperlukan. Keberadaan gas H_2O dan CO_2 akan mempercepat dekomposisi tar. Dekomposisi tar akan dominan menghasilkan CH_4 dengan bantuan gas H_2 . (Vreugdenhil, 2009)

Char merupakan residu hitam mengandung 98% karbon yang didapat dari hasil dekomposisi biomassa pada proses pemanasan. Pada tahap reduksi, char (C) akan bereaksi dengan CO_2 , H_2O , dan H_2 membentuk syngas (CO , H_2 , CH_4)

2.3.3 Oksidasi

Oksidasi atau pembakaran mengoksidasi kandungan karbon yang terdapat pada arang dengan reaksi eksotermik. Reaksi oksidasi merupakan reaksi yang berperan untuk menghasilkan CO , CO_2 dan H_2O , dan panas yang diperlukan untuk proses reduksi (reaksi endotermik) dan memecah kandungan tar yang terbentuk saat proses pirolisis, melalui *thermal and catalytic cracking*. Oleh karena itu, reaksi ini memiliki peranan penting dalam proses gasifikasi. Kandungan oksigen yang digunakan pada proses oksidasi ini pada umumnya berkisar 20%-40% dari kebutuhan udara stoikiometri, agar dihasilkan gas CO (karena pembakaran yang tidak sempurna). Jika ketersediaan udara mencapai stoikiometri, maka akan terjadi reaksi pembakaran sempurna, sehingga produk yang dihasilkan merupakan karbondoksida dan uap air, dimana karbondioksida merupakan gas yang tidak memiliki nilai kalor.

Reaksi pembakaran ini terjadi pada suhu 800°C -1200°C. Reaksi pembakaran ini hanya bisa terjadi jika terdapat tiga indikator utama yang berperan dalam reaksi pembakaran, yaitu panas (*heat*), bahan bakar (*fuel*), dan udara (*oxygen*).

2.3.4 Thermal and Catalytic Cracking

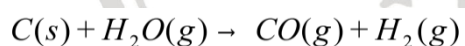
Pada saat pirolisis, diperoleh senyawa *polyaromatic* khususnya tar yang merupakan rantai senyawa yang rumit dan dapat merugikan hasil akhir dari proses gasifikasi. Senyawa hidrokarbon ini dapat terurai menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan menaikkan suhu dan menambahkan katalis pada gasifier, sehingga senyawa yang sudah terurai tersebut dapat diproses menjadi *syngas*.

2.3.5 Reduksi

Reduksi merupakan tahapan akhir dari proses gasifikasi, dimana pada tahap ini akan menghasilkan *syngas* yang dapat digunakan sebagai energi alternatif. Reaksi yang terdapat pada tahap reduksi, merupakan reaksi endotermik dimana panasnya diperoleh dari hasil pembakaran pada proses oksidasi. Reaksi reduksi terjadi antara temperatur $500^{\circ}\text{C} < T < 1000^{\circ}\text{C}$. Reaksi ini menggunakan arang, dimana arang yang dihasilkan pada proses pirolisis tidak sepenuhnya karbon, melainkan ada yang mengandung hidrokarbon, seperti dari oksigen dan hidrogen. Agar dihasilkan *syngas* (CO , H_2 , CH_4), maka arang tersebut akan direaksikan dengan air dan karbon dioksida yang didapat pada proses pirolisis. Proses pembentukan *syngas* ini melibatkan beberapa reaksi kimia, yaitu :

2.3.5.1 Gas-Solid Reaction

Reaksi yang melibatkan antara uap air dan arang dari hasil pirolisis, untuk menghasilkan gas karbon monoksida dan hidrogen (*syngas*).



2.3.5.2 Water-gas Reaction

Water-gas reaction merupakan reaksi kesetimbangan antara karbon monoksida dan uap air. Reaksi ini terjadi apabila terdapat kandungan uap air yang berlebih. Reaksi ini biasanya bertujuan untuk menghasilkan lebih banyak gas hidrogen dan mengurangi hasil dari karbon monoksida. Reaksi termokimia yang terjadi secara eksotermis, dimana membutuhkan panas agar dapat menghasilkan gas hidrogen.

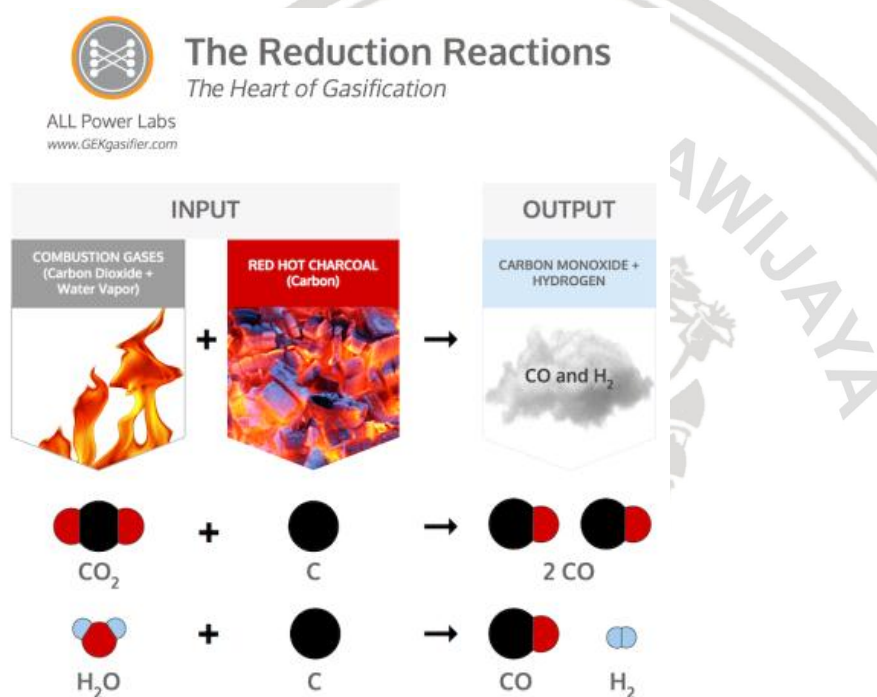
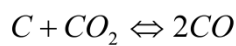
Sesuai dengan aturan Le Chartier mengenai kesetimbangan, Jika jumlah atau laju *steam* (H_2O) meningkat, maka kandungan CO akan mengalami penurunan. Tetapi,

kandungan CO_2 dan H_2 meningkat karena kesetimbangan berpindah ke kanan, sesuai dengan reaksi:



2.3.5.3 Boudoward Reaction

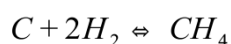
Boudoward reaction adalah reaksi yang melibatkan karbondioksida yang terdapat dalam *gasifier* dengan arang yang didapat dari hasil pirolisis, untuk menghasilkan karbon monoksida.



Gambar 2.10 Proses utama Reduksi
Sumber : Tom Reed (2017)

2.3.5.4 Methanation Conversion

Methanation merupakan proses pembentukan gas metana. Adapun reaksi pembentukan gas metana sebagai berikut :



2.4 Reaktor Gasifikasi

Berdasarkan cara fluidisasinya, reaktor gasifikasi dibagi menjadi tiga jenis, yaitu gasifikasi unggun tetap (*fixed bed gasification*), gasifikasi unggun terfluidisasi (*fluidized bed*

gasification), dan gasifikasi *entrained flow*. Reaktor fluidized bed memiliki ukuran yang besar dan biasanya digunakan untuk menghasilkan energi yang besar dalam satuan MW, sedangkan reaktor *fixed bed* biasanya dipakai untuk menghasilkan daya yang kecil, dengan kisaran kW sampai beberapa MW.

Berdasarkan arah aliran, *fixed bed* dapat dibedakan menjadi dua macam :

2.4.1 Updraft Gasifier

Pada gasifikasi *updraft*, udara masuk dari bagian bawah gasifier melalui grate, dan bahan bakar memasuki gasifier dari bagian atas, sehingga aliran udara dan bahan bakar berlawanan arah. Udara akan mengoksidasi arang secara parsial untuk menghasilkan CO dan H₂ (jika menggunakan uap) atau N₂ (jika menggunakan udara). *Syngas* yang dihasilkan akan keluar ke bagian atas, sedangkan akan dihasilkan char pada bagian bawahnya. Reaksi oksidasi terjadi pada daerah dekat grate dan akan diikuti oleh proses reduksi, kemudian gas yang dihasilkan dari berbagai reaksi akan berpindah ke daerah yang bertemperatur lebih rendah.

2.4.2 Downdraft Gasifier

Pada gasifikasi *downdraft*, arah aliran udara searah dengan arah aliran bahan bakar yang masuk dalam gasifier. Udara akan masuk pada atau diatas zona oksidasi. Gas hasil pembakaran dilewatkan pada bagian oksidasi dari pembakaran dengan cara dialirkan kebawah sehingga kandungan gas akan semakin bersih dari kandungan tar, karena tar akan terbakar pada saat melewati bagian oksidasi tersebut.

2.5 Efisiensi Gasifikasi

Agar dapat mengetahui keefektifan gasifikasi untuk menghasilkan energi terbarukan, kita perlu untuk menganalisis rasio energi yang dihasilkan pada *syngas* dengan energi yang dikeluarkan untuk proses gasifikasi, atau biasa kita sebut dengan efisiensi gasifikasi. Persamaan berikut ini digunakan untuk menghitung efisiensi dari gasifikasi (Mamphweli, 2010) :

$$\eta = \frac{LHV_{syngas} \times \dot{V}_{gas}}{LHV_{fuel} \times m_{fuel}} \times 100\%$$

Keterangan :

$$LHV_{syngas} = \frac{(H_{2vol} \times CV_{H_2}) + (CO_{vol} \times CV_{CO}) + (CH_{4vol} \times CV_{CH_4})}{100\%} \text{ (kJ/m}^3\text{)}$$

\dot{V}_{gas} = gas flow rate (m^3 / s)

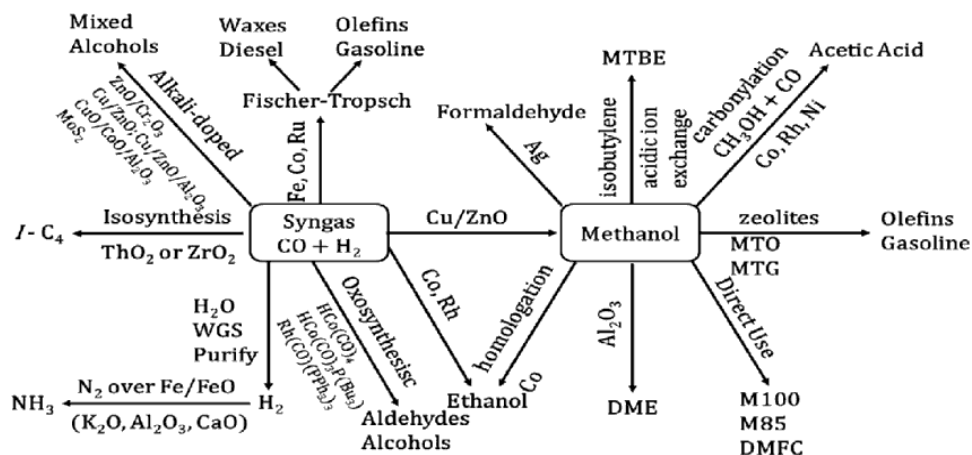
$LHV_{fuel} \times \dot{m}_{fuel}$ = energi yang dikeluarkan selama proses gasifikasi (kJ/s)

2.6 Syngas

Syngas merupakan produk akhir dari rangkaian proses gasifikasi, yang merupakan campuran dari unsur karbon monoksida, karbondioksida, hidrogen, metana dan gas-gas lainnya. *Syngas* merupakan hasil dari proses gasifikasi biomassa yang mengandung karbon. Gas ini merupakan *intermediate product*, dimana *syngas* ini dapat menjadi bahan baku untuk membentuk gas ammonia dan metanol (Beychok, 1975). *Syngas* merupakan gas yang mudah terbakar dan sering digunakan sebagai bahan bakar mesin pembakaran dalam. *Syngas* biasanya dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Komposisi yang terkandung dalam satuan unit massa bahan bakar dan satuan unit volume yang menentukan nilai LHV bahan bakar dan LHV dalam *syngas*. Komposisi *syngas* dipengaruhi oleh bahan baku dan kondisi pada saat gasifikasi berlangsung. Gas-gas tersebut dapat dihasilkan dari temperatur gasifikasi yang tinggi dan dapat dibantu oleh katalis.

Syngas dari proses gasifikasi didapatkan dengan memecah rantai CH_4 dengan bantuan sedikit oksigen yang terkandung pada uap air agar dapat menghasilkan gas H_2 dan CO . Jika ingin menghasilkan jumlah gas hidrogen yang lebih banyak, maka diperlukan penambahan uap agar terjadi *water shift reaction*, dimana menghasilkan produk berupa CO_2 dan H_2 . Tetapi, gas hidrogen dari hasil reaksi ini harus dipisahkan terlebih dahulu dari CO_2 , dengan metode *pressure swing adsorption* (PSA) atau *amine scrubbing* (Arthur, 1997).

Produk yang dapat diperoleh dari *syngas* dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.11 Produk syngas

Sumber : Edward J. Anthony (2017)

2.7 Sampah Organik

Sampah organik merupakan sampah atau limbah yang berasal dari makhluk hidup, seperti tumbuhan, hewan, serta olahannya dan dapat terurai secara alami oleh bakteri tanpa bantuan bahan kimia apapun di dalam penguraiannya. Sampah organik bersifat ramah lingkungan, namun jika pengelolaannya kurang baik, akan menimbulkan masalah, karena sampah organik bersifat cepat mengalami pembusukan. Pembusukan akan memicu bakteri untuk berkembang biak, yang akan menimbulkan berbagai penyakit. Contoh sampah organik adalah ranting tanaman, daun tanaman, sisa pengolahan makanan, sisa pengolahan sayuran, dan sebagainya.

2.8 Hipotesa

Penambahan bentonit akan meningkatkan kualitas syngas, karena bentonit berperan dalam proses *catalytic cracking*, sehingga akan membantu peran *thermal cracking* pada proses pemecahan rantai hidrokarbon kompleks (belum dapat digunakan sebagai syngas) menjadi rantai yang lebih sederhana, sehingga menghasilkan rantai hidrokarbon pendek seperti metana dan etana, dimana bersifat mudah terbakar dan lebih mudah untuk bereaksi.

Sedangkan pada sampah dengan kadar air tinggi akan terjadi reaksi *shift conversion*, dimana akan mengakibatkan gas CO akan tereduksi dan akan menghasilkan gas CO₂ dan H₂. Nilai HHV pada hasil gasifikasi akan menurun, karena gas CO₂ tidak dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar, dan berkurangnya gas CH₄ yang dihasilkan jika gasifikasi dilakukan pada sampah yang memiliki kelembaban yang tinggi.

