

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of Art*

Penelitian akan tugas akhir ini menggunakan beberapa jurnal sebagai referensi dari penulisan. Berikut ini merupakan beberapa judul yang digunakan sebagai acuan penelitian tersebut.

Tabel 2.1 *State of Art*

No.	Judul/Peneliti/ Tahun	Objek Penelitian	Hasil/temuan yang dijadikan tinjauan
1.	<i>Municipal solid waste composition in final disposal area of Serang City Banten Province</i> (Dwirani & Ariesmayana, 2020)	Sampah (MSW) Kota Serang yang diambil dari TPA Cilowong, Taktakan, Kota Serang.	Ditemukan bahwa persentase sampah terbanyak di daerah Kota Serang merupakan bersumber pada limbah organik dari makanan, yang kemudian disusul oleh plastik sebagai limbah terbanyak kedua.
2.	<i>Hydrogen production from biomass gasification; a theoretical comparison of using different gasification agents.</i> (Shayan et al., 2018)	Gasifikasi biomassa dengan variasi media gasifikasi (<i>gasifying agents</i>).	Digunakan 3 <i>gasifying agents</i> untuk menganalisa produksi hidrogen pada <i>syngas</i> . Ditemukan bahwa <i>syngas</i> akan memproduksi lebih banyak hidrogen apabila menggunakan uap air (<i>steam</i>) sebagai medianya dengan suhu optimal 1000 K.

3.	<i>A theoretical study on municipal solid waste plasma gasification</i> (Tavares et al., 2019)	Proses gasifikasi pada sampah kota (MSW)	Rasio dari <i>steam</i> dan MSW dapat mempengaruhi produksi <i>syngas</i> pada hidrogen. Semakin besar rasionya, semakin banyak hidrogen yang diproduksi <i>syngas</i> .
4.	<i>Syn-gas production from catalytic steam gasification of municipal solid wastes in a combined fixed bed reactor</i> (Li et al., 2010)	Proses gasifikasi pada sampah kota (MSW) daerah Wuhan, China.	Gasifikasi yang mencapai suhu 750 – 900 °C, didapatkan rasio <i>steam to msw</i> (uap air dan MSW) didapatkan dari 0 – 1,33 terus meningkat produksi hidrogennya. Namun, menurun setelah rasio menyentuh 1,33 ke atas.
5.	<i>Air-Steam Gasification of Biomass in a Fluidized Bed under Simulated Autothermal and Adiabatic Conditions</i>	Proses gasifikasi menggunakan <i>steam</i> pada biomassa.	Pada suhu 730 – 815 °C, didapatkan rasio <i>steam to msw</i> terbaik pada rasio tertinggi dari pengujian yaitu sebesar 0,5. Hal ini karena hanya diuji mencapai rasio tersebut, tidak lebih.

Berdasarkan referensi dari jurnal-jurnal nasional maupun internasional tersebut, akan dilakukan penelitian akan optimasi produksi hidrogen dalam *syngas* pada proses gasifikasi biomassa dengan bahan utamanya yaitu sampah kota atau *Municipal Solid Waste* (MSW) yang diperoleh di sekitar daerah Kota Serang – Cilegon. Gasifikasi sampah kota ini dilakukan dengan menggunakan uap air (*steam*) sebagai media gasifikasi (*gasifying agent*) yang akan divariasikan rasio antara uap air dan sampah kota (*steam to MSW ratio*).

Akan dicari rasio manakah yang terbaik dalam memproduksi hidrogen pada *syngas* yang memanfaatkan MSW daerah Kota Serang – Cilegon.

2.2 Biomassa



Gambar 2.1 Biomassa

(Sumber: Rosillo-Calle & Woods, 2012)

Sudah diangkat sebelumnya, biomassa merupakan bahan baku yang bersumber dari makhluk hidup, seperti hewan, mikroba, dan tanaman. Biomassa dapat dijadikan sebagai sumber dalam memenuhi kebutuhan manusia sebab biomassa adalah bahan yang dapat diperbaharui terus menerus, mudah didapatkan, dan ramah lingkungan. Selain dijadikan bahan pangan, minyak nabati, pakan ternak, dan sebagainya, biomassa dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang potensial. Pemanfaatan energi biomassa sudah banyak yang bersumber dari limbah biomassa itu sendiri, seperti sisa biomassa yang terpakai, bonggol jagung, cangkang kelapa sawit, dan lain sebagainya. Karena bersumber dari limbahnya sendiri, biomassa ini tentu nilai ekonomisnya sangat rendah dan lebih unggul dari gas bumi yang biasa digunakan.

Secara umum biomassa menurut Calle dkk (2007) diklasifikasikan menjadi biomassa kayu dan biomassa non-kayu, termasuk tanaman herba. Namun, biomassa juga dapat dibagi menjadi 8 klasifikasi (Johnson & Rosillo-calle, 2007). Berikut ini merupakan kedelapan klasifikasi dari biomassa tersebut.

1. Hutan Alam, termasuk biomassa pada dataran tinggi. Hutan memiliki beragam sisa hutan yang dapat dimanfaatkan sebagai biomassa.

2. Tanaman Kebun, pada tahun 1970-an dan 1990-an perkebunan digemborkan sebagai energy biomassa di masa depan. Namun dalam beberapa tahun terakhir potensinya mulai dianggap terbatas.
3. Perkebunan Agroindustri, dirancang khusus untuk menghasilkan bahan baku agro industri. Contohnya seperti the, kopi, pohon karet, kelapa sawit, perkebunan bambu, rerumputan, dan lain sebagainya.
4. Tanaman selain di hutan, terdiri dari pohon yang tumbuh di luar hutan, termasuk pohon-pohon di perkotaan, pinggir jalan, pertanian, dan sebagainya. Tanaman selain di hutan memiliki peran utama sebagai sumber yang tidak boleh diremehkan kepentingannya.
5. Tanaman Pertanian, ini adalah tanaman yang ditanam khusus untuk makanan, pakan ternak, serat, atau dimanfaatkan sebagai produksi energi.
6. Residu Tanaman, termasuk tanaman dan sisa tanamannya. Contohnya seperti jerami, dedaunan kering, batang, dan sebagainya.
7. Residu yang Diproses, dihasilkan dari konversi agroindustry atau pengolahan tanaman, seperti serbuk gergaji (yang dimanfaatkan dalam penelitian ini, ampas tebu, kulit kacang, sekam, dan sebagainya).
8. Kotoran hewan, seperti limbah dari peternakan. Sudah umum digunakan sebagai bahan bakar (seperti pada proses biogas) yang mana tentu perlu diperhatikan jumlah atau perbandingannya dengan benar. Kotoran dapat dimanfaatkan sebagai pupuk pula.

2.3 *Municipal Solid Waste (MSW)*

Municipal Solid Waste (MSW) atau sering disebut juga sebagai limbah padat kota sesuai namanya didefinisikan sebagai limbah-limbah yang berasal dari perindustrian maupun rumah tangga yang umumnya terdiri atas sisa makanan, kertas, kayu, plastic, besi, kaca, tekstil, maupun karet. Permasalahan sampah kota (MSW) di Indonesia sudah menjadi masalah yang besar khususnya di perkotaan besar. MSW dari setiap wilayah berbeda tergantung atas hasil produksi dari daerah atau wilayah tersebut. Pertambahan penduduk dan aktivitas yang kian meningkat juga mempengaruhi jumlah MSW yang dihasilkan pada suatu daerah. Diperkirakan dari seluruh sampah

yang dihasilkan paling banyak hanya sekitar 60-70% sampah yang dapat diangkut ke tempat pembuangan akhir oleh instansi yang bertanggungjawab menangani sampah dan kebersihan (Damanhuri et al., 2014).

Apabila diambil contoh dari salah satu kota di Indonesia, yaitu Kota Serang, pertumbuhan sampah kota meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, dengan Jumlah Timbulan Sampah (JTS) Kota Serang pada tahun 2014 tercatat sebesar 78.409.628 kg sampah dengan jumlah sampah per kapitanya sebesar 0,35 kg per jiwa dalam 1 hari (Febriyanto et al., 2017). Komposisi dari MSW yang ada pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di kota Serang, Banten dapat tergambarkan pada grafik di bawah ini (Dwirani & Ariesmayana, 2020).



Gambar 2.2 Komposisi MSW di Kota Serang

(Sumber: Dwiriyani & Ariesmayana, 2020)

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa pada TPA Kota Serang, Banten memiliki 8 dari 10 tipe komposisi sampah kota yang ada dengan sampah bahan organik terbanyak dan disusul oleh plastik setelahnya. Komposisi lainnya yaitu kertas, styrofoam, karet, tekstil, kayu, kaca, dan lainnya. Adapun berdasarkan Laporan UPTD Pengelolaan Sampah Kota Serang yang ditulis oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Serang, Pemerintah Kota Serang tahun 2022, komposisi sampah yang ada pada TPAS Cilowong, Taktakan, Kota Serang datanya sebagai berikut.

Tabel 2.2 Komposisi Sampah TPAS Cilowong, Serang

No.	Jenis Sampah	Persentase (%)
1.	Sisa Makanan	50,00
2.	Kertas, Karton, dan Nappies	8,00

3.	Kayu dan Sampah Taman	4,00
4.	Kain dan Produk Tekstil	0,75
5.	Karet dan Kulit	0,50
6.	Plastik	35,00
7.	Logam	0,50
8.	Gelas	0,25
9.	Lain-lain	1,00
Jumlah		100,00

(Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Serang, 2022)

Sehingga berdasarkan seluruh paparan tersebut, sampah kota (MSW) di Indonesia, khususnya kota Serang dan sekitarnya, sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan karena sampah kota (MSW) ini merupakan biomassa yang memiliki berbagai kandungan organik maupun non organik yang dapat diolah menjadi sumber energi. Diperlukan perhatian khusus akan manajemen pengolahan sampah kota menjadi energi terbarukan guna mengurangi jumlah sampah yang tidak terdaur ulang.

2.4 Gasifikasi

2.4.1 Definisi Gasifikasi

Gasifikasi merupakan salah satu metode yang dapat dilakukan untuk memperoleh energi terbarukan yang memanfaatkan biomassa sebagai sumber energinya. Gasifikasi ini adalah bentuk peningkatan energy yang terkandung dalam biomassa melalui suatu konversi dari bahan padatan menjadi gas (syn-gas) dengan menggunakan proses termokimia (degradasi termal) bahan-bahan organik menggunakan temperature tinggi dan udara yang dimampatkan (Nurulhuda, 2022).

Dalam gasifikasi terdapat konversi bahan bakar menjadi gas yang dapat terbakar, dengan proses termokimia menggunakan oksigen yang kurang dari stoikiometri, bukan tidak ada sama sekali. Apabila proses yang dilakukan menghilangkan oksigen sepenuhnya, maka proses tersebut sudah termasuk dalam proses pirolisis yang sama-sama terjadi

proses dekomposisi bahan bakar. Namun dalam gasifikasi, masih membutuhkan setidaknya oksigen dalam jumlah tertentu (Sansaniwal et al., 2017). Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi pada dasarnya seperti karbon monoksida (CO), gas hidrogen (H₂), metana (CH₄), dan gas yang tidak dapat dibakar (seperti CO₂, dan N₂). Proses gasifikasi ini terjadi dalam sebuah ruangan atau alat yang mampu memampatkan udara atau seringkali disebut sebagai *gasifier* atau reaktor (ruangbakar).

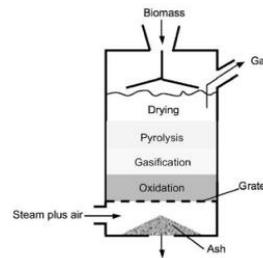
2.4.2 Klasifikasi Reaktor Gasifikasi

Telah dibahas sebelumnya bahwa proses gasifikasi terjadi dalam sebuah ruangan yang dapat mengatur jumlah udara yang ada pada ruangan atau seringkali disebut sebagai reaktor. Reaktor dari proses gasifikasi ini juga beragam tipe atau jenisnya tergantung penggunaan yang diinginkan. Reaktor gasifikasi (*gasifiers*) dikelompokkan umumnya dikelompokkan menjadi 2, yaitu *fixed bed gasifiers* dan *fluidized bed gasifiers*, yang mana masing-masing memiliki tipe reaktornya lagi. Berikut ini merupakan penjelasan dari klasifikasi reaktor gasifikasi tersebut.

a. *Fixed Bed Gasifier*

Kelompok *fixed bed gasifier* telah menjadi jenis reaktor gasifikasi tertua yang sudah banyak dikembangkan dalam skala kecil. Seringkali disebut juga sebagai *moving bed reactor* karena biomassa yang digunakan dalam reaktor dapat digerakkan naik-turun. Terbagi menjadi 3 tipe reaktor, yaitu *updraft gasifier*, *downdraft gasifier*, dan *cross gasifier*. Berikut merupakan penjelasannya (Basu, 2010).

1. Reaktor *updraft*



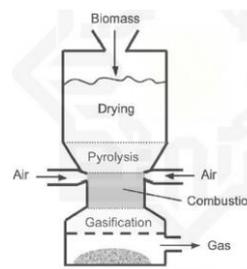
Gambar 2.3 Reaktor *Updraft*

(Sumber: Basu, 2010)

Reaktor tipe ini sudah banyak digunakan dalam skala laboratorium maupun industri besar. Pada reaktor ini 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. Gas yang dihasilkan keluar melalui bagian atas dari reaktor sedangkan abu pembakaran (tar) jatuh ke bagian bawah *gasifier* karena pengaruh gaya gravitasi.

Keunggulan dari reaktor jenis ini mekanismenya yang sangat sederhana dibandingkan dengan tipe lainnya juga tingkat toleransi reaktor yang mampu mengolah bahan bakar kualitas rendah dengan temperatur gas yang relative rendah. Kelemahannya adalah kadar tar dalam syn-gas yang masih cukup tinggi yang mempengaruhi gas hasil produksinya.

2. Reaktor *downdraft*



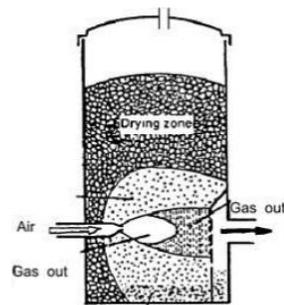
Gambar 2.4 Reaktor *Downdraft*

(Sumber: Basu, 2010)

Reaktor tipe *downdraft* menghasilkan kadar tar dalam syn-gas yang lebih rendah dibandingkan dengan reaktor *updraft*.

Penyebabnya adalah tar hasil pirolisis terbawa bersama gas dan kemudian masuk ke daerah gasifikasi dan pembakaran yang memiliki temperature tinggi. Dalam daerah gasifikasi dan pembakaran ini tar kemudian akan terurai. Gas hasil pembakaran dilewatkan pada bagian oksidasi dari pembakaran dengan cara ditarik mengalir ke bawah sehingga gas yang dihasilkan akan lebih bersih karena tar dan minyak akan terbakar sewaktu melewati bagian tadi.

3. Reaktor *crossdraft*



Gambar 2.5 Reaktor *Crossdraft*

(Sumber: Basu, 2010)

Pada reaktor ini beban mengikuti kemampuan reaktor *crossdraft* sedikit baik karena zona parsial terkonsentrasi yang beroperasi pada suhu sampai 2000°C. Waktu mulainya 5-10 menit lebih cepat dibandingkan jenis *gasifier* jenis *updraft* ataupun *downdraft*.

b. *Fluidized Bed Gasifiers*

Reaktor *fluidized bed* merupakan reaktor gasifikasi yang berpotensi untuk dikembangkan. Reaktor jenis ini adalah sebuah tungku pembakaran yang menggunakan material *bed* yang bertujuan agar terjadi pencampuran yang homogeny antara zat yang terlibat dalam reaktor. Jenis *fluidized bed gasifiers* unggul dalam 4 aspek, yaitu sebaga berikut.

1. Kemampuan untuk mengontrol temperature
2. Kemampuan beroperasi secara *continue*
3. Unggul dalam persoalan perpindahan panas, dan

4. Unggul dalam proses katalis

2.4.3 Proses Gasifikasi

Setiap reaktor memiliki mekanisme proses gasifikasi yang berbeda. Namun yang pasti, biomassa akan mengalami atau melalui 4 proses gasifikasi. Empat proses tersebut adalah Pengeringan (*drying*), Pirolisis (*pyrolysis*), Pembakaran atau Oksidasi (*oxidation*), dan Reduksi (*reduction*). Berikut merupakan penjelasan akan proses-proses tersebut.

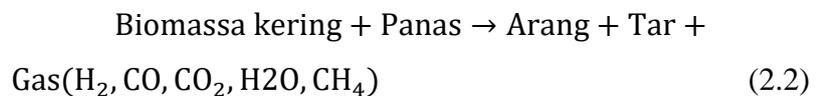
a. Pengeringan (*drying*)

Drying merupakan proses penguapan kandungan air didalam biomassa melalui pemberian panas pada interval suhu 100 -300°C. Berikut merupakan prosesnya.



b. Pirolisis

Setelah pengeringan dilakukan, bahan bakar akan turun dan menerima panas sebesar 250°C - 500°C dalam kondisi tanpa udara. Produk dari hasil pirolisis terbagi menjadi produk cair (tar), produk gas (H₂, CO, CO₂, H₂O, CH₄), tar dan arang. Reaksi kimianya adalah sebagai berikut.



c. Pembakaran (*oxidation*)

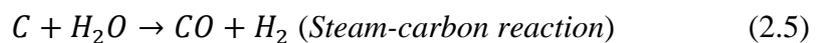
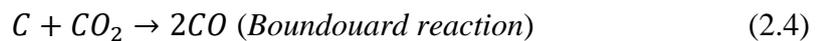
Tahap oksidasi merupakan bagian proses untuk mensuplai panas yang dibutuhkan dalam proses pengeringan, pirolisis dan reduksi. Proses oksidasi (pembakaran) ini dapat mencapai temperatur 1200°C. Temperatur yang dihasilkan akan mencapai maksimal dikarenakan distribusi oksigen yang merata pada zona oksidasi. Reaksi kimia yang terjadi pada zona pembakaran adalah sebagai berikut.



Reaksi pembakaran lain yang berlangsung adalah oksidasi hidrogen yang terkandung dalam bahan bakar membentuk kukus. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

d. Reduksi (*reduction*)

Pada zona reduksi panas yang berlangsung mencapai suhu 600°C - 900°C. Pada zona ini terjadi beberapa reaksi kimia yang merupakan proses penting terbentuknya beberapa senyawa yang berguna untuk menghasilkan produk gas seperti H₂, CO₂, dan CH₄. Adapun terjadi beberapa reaksi pada proses reduksi, yaitu sebagai berikut.



2.4.4 Variabel yang Mempengaruhi Gasifikasi

Dalam proses gasifikasi, terdapat faktor-faktor yang mempengaruhinya. Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi proses gasifikasi tersebut.

a. Karakteristik Biomassa

Tentunya tidak semua biomassa dapat dikonversi menjadi syngas. Terdapat karakteristik yang perlu dipertimbangkan sebelum dikonversi menjadi gas. Parameter karakteristik yang dapat dipertimbangkan. Berikut merupakan parameter tersebut.

1. Kadar air

Tiap biomassa memiliki kandungan air yang berbeda. Kandungan air biomassa sering dianalisa dalam *proximate analysis* yang kerap kali disebut juga sebagai *moisture content*. Semakin sedikit kandungan air dari biomassa yang dipakai, semakin baik digunakan sebagai biomassa pada proses gasifikasi.

2. Tar

Tar adalah kontaminan organik yang terbentuk selama proses gasifikasi berlangsung. Tar merupakan campuran yang kompleks dari hidrokarbon yang dapat berkondensasi. Jumlah dan komposisi dari tar dihasilkan sangat bergantung dari jenis bahan bakar (Hutabarat, 2012). Jika syn-gas banyak mengandung tar, dapat merusak ruang bakar karena sifatnya yang korosif.

3. Kandungan energi

Pada biomassa tentu terdapat energi yang berbeda satu sama lainnya. Energi dalam biomassa akan mempengaruhi energi produk *flammable syngas*. Semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki biomassa akan semakin tinggi pula energi produk gas yang dihasilkan.

b. Waktu

Menurut Suhendi dkk (2016), semakin lama waktu gasifikasi, maka semakin banyak hasil gas yang dihasilkan, tetapi jumlah arang semakin berkurang. Sehingga perlu dipertimbangkan banyaknya hasil gas dan juga seberapa banyak arang yang ingin dihasilkan (Suhendi et al., 2017).

c. Kecepatan Aliran Udara

Kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam reaktor dapat mempengaruhi laju pembakaran saat proses gasifikasi berlangsung. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hariyanto (2012), semakin besar nilai kecepatan aliran udaranya waktu yang ditempuh dalam proses gasifikasi makin cepat. Namun, makin besar aliran udaranya, semakin sedikit syn-gas yang dihasilkan (Hariyanto et al., 2012).

d. Gasifying Agent (Media)

Jenis media gasifikasi atau disebut juga *gasifying agent* berpengaruh dalam proses gasifikasi. Biasanya *gasifying agent*

yang digunakan seperti oksigen (O₂), uap air (H₂O), dan udara. Pada proses gasifikasi menggunakan udara sebagai *gasifying agent*, syn-gas mengandung gas yang mudah terbakar (*flammable gas*) dan yang tidak mudah terbakar (*non-flammable gas*). Gas yang mudah terbakar ini seperti karbonmonoksida (CO), gas metana CH₄, dan hydrogen (H₂). Kemudian untuk gas yang tidak mudah terbakar seperti gas nitrogen (N₂) dan karbondioksida (CO₂) (Basu, 2010).

2.5 Synthetic Gas (Syngas)

Synthetic Gas (Syngas) atau Gas Sintetis didefinisikan sebagai suatu gas yang memiliki komposisi utama bahan bakarnya yaitu gas hidrogen (H₂) dan karbon monoksida (CO). Komposisi lainnya yang dapat terkandung dalam *syngas* bergantung pada sumbernya, ukuran partikel, laju aliran gas, konfigurasi reaktor kimia, kondisi saat proses pembentukan, katalis, dan lain sebagainya (El-Nagar & Ghanem, 2019). Kandungan-kandungan seperti karbon dioksida (CO₂) dan komponen lain seperti air (H₂O) dapat terkandung dalam *syngas*.

Syngas dapat diproduksi dari proses gasifikasi biomassa atau proses *steam reforming* yang berasal dari gas alam. Pada proses gasifikasi biomassa terjadi beberapa proses reaksi kimia di dalam reaktor gasifikasi (*gasifier*) yang dapat disimpulkan menjadi persamaan reaksi berikut ini.



Adapula persentase volume dari masing-masing kandungan *syngas* tersebut berdasarkan jenis *gasifier* yang digunakan adalah sebagai berikut ini (Visconti et al., 2017).

Tabel 2.3 Komposisi *Syngas*

Komposisi	<i>Gasifier Tipe Updraft</i> (% volume)	<i>Gasifier Tipe Downdraft</i> (% volume)
Karbon Monoxide	24	21
Hidrogen	11	17
Metana	3	2

Hidrokarbon	0,2	0.3
Nitrogen	53	48
Uap Air	3	4

(Sumber: Visconti et al., 2017)

Syngas memiliki batas mudah bakarnya (*flammability limits*) yang mana menandakan kemampuan lama api membakar gas. Bahan bakar, arah penyebaran, ukuran, dan bentuk ruang bakar, suhu, serta tekanan sangat berpengaruh dalam batas mudah bakar pula (Jiang et al., 2017). Sudah jelas bahwa H₂ dan CO merupakan komponen utama dari *syngas* yang akan memberikan batas mudah bakar yang lebih baik (tahan lama) sehingga *syngas* yang baik adalah *syngas* yang mampu memproduksi H₂ dan CO yang melimpah. Sedangkan kehadiran komposisi lain seperti nitrogen dan karbon dioksida dalam campuran *syngas* justru akan mengurangi batas mudah bakarnya. Untuk itu nitrogen dan karbon dioksida sebaiknya diproduksi seminim mungkin (El-Nagar & Ghanem, 2019).

2.6 Optimasi Hidrogen pada *Syngas*

Seperti yang sudah dibahas pada subbab 2.3, terdapat beberapa variabel yang mempengaruhi hasil dari gasifikasi. Ada yang berpengaruh akan kecepatan proses gasifikasinya, ada yang berpengaruh terhadap jumlah *syngas* yang dihasilkan, ada pula yang berpengaruh terhadap kandungan *syngas* yang dihasilkan. *Syngas* yang baik merupakan *syngas* yang mampu memproduksi H₂ dan CO yang melimpah.

Karbon monoksida (CO) merupakan gas yang dihasilkan oleh pembakaran tidak sempurna. Dapat ditemukan dimanapun seperti asap industri, tembakau, knalpot kendaraan bermotor, maupun rumah tangga. Karbon monoksida merupakan salah satu polutan yang sangat melimpah dan berdampak buruk bagi kesehatan tubuh manusia (Goldsmith & Landaw, 1968). Dikarenakan karbon monoksida merupakan unsur yang juga ada pada komposisi *syngas*, maka perlu dikurangi dan harus diutamakan unsur gas lain yang menyusun gas tersebut, yaitu gas hidrogen (H₂). Untuk itu hidrogen pada *syngas* perlu dioptimasi dengan baik.

Terdapat berbagai metode yang mampu dilakukan untuk memperoleh *syngas* yang kaya akan hidrogen. Salah satu yang paling umum ditemukan adalah dengan menambahkan katalis pada pembakaran gasifikasi biomassa. Contohnya dengan menambahkan katalis alkali akan menambah rasio gas hidrogen pada *syngas* (Li et al., 2021). Adapula yang mempengaruhi komposisi *syngas* salah satunya yaitu adalah temperatur. Temperatur yang optimum digunakan pada proses gasifikasi biomassa yaitu berkisar pada suhu 1000 K atau 700 – 900°C untuk produksi hidrogen pada *syngas* (Shayan et al., 2018). Pengaruh lain yang dapat meningkatkan kandungan hidrogen dalam *syngas* adalah media gasifikasi (*gasifying agent*) yang digunakan. *Gasifying agent* yang umum digunakan adalah udara, uap air, dan oksigen. Dari ketiga media tersebut yang paling banyak memproduksi hidrogen pada *syngas* adalah uap air, kemudian disusul oleh oksigen dan udara (Shayan et al., 2018).

Berdasarkan *gasifying agent* tersebut, merasiokan media gasifikasi dengan biomassa yang digunakan juga dapat mempengaruhi produksi hidrogen dalam *syngas* dengan temperatur tertentu. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Li et al., (2010), digunakan uap air (*steam*) sebagai media gasifikasi yang dibandingkan dengan jumlah MSW (*steam/MSW*) yang digunakannya. Divariasikan rasio *steam/MSW* olehnya 0 – 2.67. Didapatkan rasio *steam/MSW* yang optimal digunakan adalah 1.33. Ketika rasio dari 0 – 1.33, produksi meningkat sejalan dengan bertambahnya rasio *steam/MSW*. Saat rasio *steam/MSW* 1.33 – 2.67 produksi hidrogen menurun. Hal tersebut dikarenakan jumlah uap yang berlebihan dapat menurunkan suhu reaksi sehingga menurunkan kualitas gas (Li et al., 2010). Untuk itu diperlukan analisa rasio uap air dan MSW yang terbaik agar dapat memproduksi hidrogen lebih.