

BAB II

KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR, DAN HIPOTESIS

A. KAJIAN PUSTAKA

1. *Purifier* sebagai Pemurnian Gas

Produk gas mentah dari proses gasifikasi mengandung beberapa zat kontaminan minor seperti tar, logam alkali, HCl, amonia, HCN, H₂S, dan CO yang memiliki batas toleransinya. Tar merupakan cairan pengotor pekat yang mengembun pada temperatur rendah *gasifier* menyumbat saluran gas dan menyebabkan gangguan pada proses gasifikasi. NH₃ dan HCN merupakan zat yang signifikan dari proses konversi bahan bakar nitrogen oleh gasifikasi biomassa.

Kandungan sulfur pada H₂S juga menjadi gangguan lain dari proses gasifikasi biomassa. H₂S perlu dikurangi jumlahnya karena menyebabkan permasalahan di *part-part* akhir sistem dan menghindari masalah operasi yang merepotkan. Gasifikasi biomassa berbeda dengan bahan bakar fosil karena banyaknya kandungan alkali yang menguap pada temperatur tinggi tetapi mengembun di bawah temperatur 600°C sehingga menimbulkan korosi yang serius (Zhang et al., 2012)

Strategi *gas cleaning* perlu diupayakan seperti dengan pengaplikasian *purifier* atau filter pada alat gasifikasi. *Purifier* merupakan bahan berpori (filter) yang menyaring partikel berdiameter kecil yang terbawa oleh aliran gas. *Purifier* dirancang untuk menjangkau seluruh ukuran partikel, tetapi perbedaan tekanan *purifier* relevan dengan pengecilan ukuran pori-pori (Ridhuan & Yudistira, 2017). *Purifier* disebut juga sebagai filter atau *cleanup gasifier* merupakan suatu media yang disusun guna mendapatkan *syngas* yang aman, bersih dari zat pengotor (*impurity*).

Penggunaan *cleanup gasifier* atau *purifier* tidak hanya memfiltrasi zat pengotor melainkan juga menstabilkan nyala api dan memperbaiki kualitas *syngas* yang dihasilkan (Ariyanto, 2017). Kualitas nyala api berkaitan erat

dengan nilai kalor yang dilepaskan oleh *syngas* dari proses gasifikasi. Semakin tinggi *combustible gas*, maka kualitas api akan semakin baik (Supriyadi, 2018).

Purifier ditempatkan setelah *cyclone* untuk mengurangi kandungan zat pengotor yang terbawa oleh *syngas* (Ridhuan & Yudistira, 2017). Komponen yang menyusun *purifier* harus tersusun atas bahan yang mengandung karbon aktif seperti tempurung kelapa, sekam padi, serbuk kayu, zeolit, ampas tebu, bonggol jagung, dan sebagainya. Karena di dunia industri, karbon aktif dapat digunakan sebagai komponen pemurnian gas. (Arsad, 2010)

Pada penelitian ini digunakan adsorben karbon aktif pada *purifier* antara lain, pasir zeolit, serbuk kayu, dan geram besi mengacu penelitian yang dilakukan (Ariyanto, 2017) dan ditambahkan satu media karbon aktif lagi berupa sekam padi yang menurut (Kate & Chaurasia, 2018) *syngas* melewati komponen sekam padi pada *purifier* akan menghasilkan kandungan tar yang minimum. Sekam padi juga digunakan untuk menyerap CO₂ dan N₂ sehingga meningkatkan CH₄ untuk keperluan pembakaran yang lebih baik (Indrawati & Susilo, 2018)

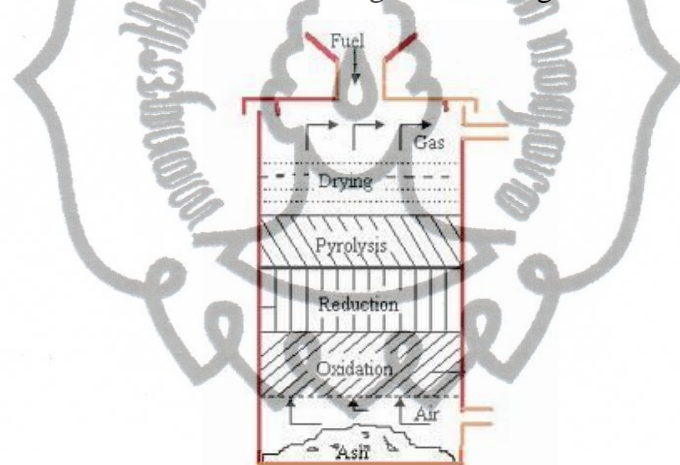
Zeolit memiliki performa yang baik untuk mengadsorpsi CO₂ yang merupakan zat pengotor utama hingga 18,70% sehingga dapat meningkatkan kemurnian gas (Apriyanti, 2013). Geram besi digunakan untuk mengurangi H₂S yang merupakan zat racun mematikan dan menyebabkan korosi (Metty et al., 2012). Penggunaan serbuk kayu mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh (Durán et al., 2018) karbon aktif dari serbuk kayu atau serbuk gergaji berpotensi besar memisahkan CO₂ dengan uap air serta biogas jenuh

2. Alat Gasifikasi Tipe *Updraft* Semi-Kontinu

Gasifikasi merupakan suatu proses termokimia yang mengonversikan bahan bakar padat (*biomassa*, batu bara, dan arang) menjadi *combustible gas* (CO, H₂, dan CH₄) (Najib & Darsopuspito, 2012). Menurut (Ariyanto, 2017) gasifikasi merupakan proses pembakaran *solid fuel* ke gas secara termokimia, yang menghasilkan gas bertekanan udara lebih rendah daripada tekanan gas yang dibutuhkan saat proses pembakaran. Definisi lain juga dikemukakan (Ridhuan & Yudistira, 2017) gasifikasi adalah suatu metode produksi gas dengan bahan

bakar biomassa padat pada *range* temperatur 200°C sampai 600°C melalui pembakaran parsial.

Gasifikasi memiliki banyak keunggulan dan sudah terbukti merupakan teknologi yang maju pada bidangnya karena dapat menghasilkan gas yang diperlukan untuk generator set dengan kalori rendah maupun sedang, sebagai substrat untuk sintesis kimiawi, bahan bakar sistem uap dan gas, bahan bakar motor dan sebagai gas *reburning* guna mereduksi nitrogen oksida pada *boiler* listrik (Poskrobko et al., 2016). Sistem gasifikasi terdiri dari beberapa bagian, yaitu *feeding*, *gasifier*, *burner*, *cyclone*, dan *purifier*. *Gasifier* memproduksi gas melalui pembakaran tidak sempurna. Pada saat proses gasifikasi berlangsung terjadi kontak antara bahan bakar dengan medium gasifikasi di dalam *gasifier*.



Gambar 2.1 Proses Gasifikasi

Sumber : (Basu, 2013)

Gasifikasi memiliki empat tahapan, tahap pertama yaitu pengeringan (25–150°C). Bahan bakar mengering akibat oksidasi kandungan H₂O pada air dipisahkan dari *fuel* ke dalam bentuk gas (*vapor*) tanpa diuraikan secara kimiawi. Tahapan kedua yaitu pirolisis (150–600°C) terjadi dekomposisi termal tanpa oksigen. Hal tersebut terjadi saat *fuel* turun ke tungku pembakaran temperatur naik memecah *fuel* ke struktur alamiahnya, yaitu arang, tar, minyak, gas, dan produk pirolisis yang lain. Produk – produk tersebut lalu teroksidasi oleh oksigen pada tahap oksidasi (800–1400°C) sehingga menimbulkan panas yang digunakan untuk pengeringan serta reaksi endoterm. Sedangkan tahap terakhir

adalah reduksi yaitu reaksi tukar dan *metanasi*. Pada tahap ini barulah sistem memproduksi gas yang bernilai kalor bernama *syngas*. (Suhendi et al., 2017)

Gasifikasi dibagi menjadi empat menurut tipe *gasifier* nya yaitu *updraft*, *downdraft*, *inverted downdraft*, dan *crossdraft*. Tipe *gasifier updraft* yaitu tungku pembakaran di bawah bahan bakar sehingga udara panas hasil pembakaran bergerak ke atas. Tipe *gasifier downdraft* sebaliknya, udara panas bergerak ke bawah, asap hasil pirolisis melewati zona gasifikasi sehingga membakar kandungan tar membuat *syngas* keluar lebih bersih. Tipe *gasifier inverted downdraft* hampir sama seperti *gasifier downdraft* hanya saja arah aliran dan zona pembakaran dibalik, bahan bakar di bawah *gasifier* dan aliran udara naik ke atas *gasifier*. Sedangkan tipe *crossdraft* menghasilkan arah udara tegak lurus dengan zona pembakaran (Subroto, 2017). Dibandingkan dengan pembakaran langsung, proses gasifikasi lebih memiliki banyak manfaat yaitu penggunaannya lebih fleksibel, selain digunakan untuk bahan bakar *syngas*, produk hasil gasifikasi memiliki nilai ekonomi yang jauh lebih tinggi yaitu sebagai bahan baku pada industri kimia (Harahap & Tjahjono, 2016).

Penelitian ini menggunakan tipe *gasifier updraft* mengacu pada (Gunawan et al., 2015) dimana aliran *syngas* bergerak ke atas melawan aliran bahan bakar. Tipe *updraft* ini dipilih karena tidak memiliki batasan jenis dan kualitas bahan bakarnya dan juga desainnya ergonomis. Sedangkan pilihan *feeding* yang dipilih adalah tipe semi-kontinu dimana bahan bakar bisa diisi terus menerus dan dihentikan, ketika *burner* penuh bisa dilakukan penutupan katup sehingga bahan bakar tidak turun lalu ketika *gasifier* mengalami penurunan temperatur karena bahan bakar limit, katup dibuka sehingga bahan bakar turun.

Penelitian ini menggunakan alat gasifikasi semi kontinu tipe *updraft* dengan variasi kecepatan aliran 6 m/s, 8m/s, dan 10 m/s. Penelitian (Setiawan, 2014) menggunakan variasi kecepatan udara 2,0 m/s, 4,0 m/s dan 6,0 m/s, hasil pengujian menyatakan bahwa variasi udara berpengaruh terhadap temperatur pembakaran. Hasil pengujian menyatakan bahwa variasi udara berpengaruh terhadap temperatur pembakaran, dari pengujian diperoleh data bahwa kecepatan udara 6,0 m/s yaitu memiliki temperatur tertinggi daripada 2,0 m/s

dan 4,0 m/s. Penelitian (Subroto & Saputra, 2016) variasi kecepatan udara berpengaruh terhadap temperatur pembakaran gas hasil gasifikasi, kecepatan udara 8,0 m/s memiliki rata-rata temperatur tertinggi dibandingkan kecepatan 7,0 m/s dan kecepatan 6,0 m/s. Sedangkan penelitian (Djafar & Darise, 2018) menggunakan variasi kecepatan aliran udara 5 m/s, 10 m/s dan 15 m/s.

3. Limbah Aren

Limbah aren berasal dari tanaman aren atau enau (*Arenga pinnata Merr*) dapat tumbuh di seluruh wilayah Indonesia yang memiliki iklim tropis. Enam provinsi di Indonesia yang merupakan penghasil aren terbesar, yaitu: Banten, Jawa Barat Aren 13.878 hektar, Sulawesi Utara 5.928 hektar, Sumatra Utara 4.708 hektar, Sulawesi Selatan 4.520 hektar, Jawa Tengah 2.638 hektar, dan Bengkulu 3.388 hektar.

Aren memiliki potensi ekonomi yang signifikan karena semua bagian tumbuhan tersebut memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan dapat memberikan kontribusi dalam rangka pemberdayaan masyarakat pedesaan. Akarnya digunakan untuk bahan obat-obatan, batangnya digunakan untuk ijuk dan lidi, daunnya digunakan untuk kerajinan tangan, dan dipasang untuk atap, lengan bunga jantan daripada nira aren digunakan untuk produksi gula, pembuatan kecap, cuka dan alkohol, sedangkan pengolahan tepung dari pati aren untuk karbohidrat (Fatah & Sutejo, 2015).

Penyebaran tanaman aren di Indonesia sangat banyak, termasuk di Dusun Bendo, Desa Daleman, Kecamatan Tulung Kabupaten Klaten kebanyakan diolah menjadi tepung aren, nantinya dibuat mi sohun dan cendol. Tidak hanya itu, tanaman ini dalam pengolahannya memberikan dampak negatif berupa limbah onggok yang belum dapat dimanfaatkan oleh masyarakat. Pembuatan RDF dari limbah aren merupakan terobosan baru di dunia *renewable energy* diharapkan dapat menyelesaikan masalah limbah yang ada di Dusun Bendo karena limbah aren memiliki kelebihan yang sama unggulnya dengan bahan bakar minyak dan gas elpiji (Pamungkasih et al., 2013).



Gambar 2.2 Limbah Aren

4. *Refuse Derived Fuel (RDF)*

Indonesia dan negara berkembang lain dihadapkan dengan masalah serius untuk menghadapi banyaknya jumlah sampah padat yang semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi. *Refuse derived fuel (RDF)* menjadi pilihan yang potensial untuk mengolah limbah padat agar tidak mencemari lingkungan (Dianda et al., 2018). RDF didapatkan dari sampah kota yang memiliki potensi mencemari lingkungan dan dijadikan sebagai bahan bakar alternatif dengan mengubah sampah menjadi energi yang dapat dimanfaatkan.

RDF merupakan hasil proses pemisahan limbah padat fraksi sampah mudah terbakar dengan yang tidak mudah terbakar. Pembuatan RDF memiliki banyak parameter, seperti: nilai kalor, kadar air, kadar abu, dan kadar zat yang menguap. Parameter ini memiliki rumus hitungan masing-masing digunakan sebagai acuan standar RDF yang baik untuk *combustion*. (Rania et al., 2019). Menurut *American Society for Testing and Material (ASTM) E 856 standard definitions of term and abbreviations relating to physical and chemical characteristic of refuse derived fuel* ada 7 tipe pada (Sari, 2012) sebagai berikut :

Tabel 2.1 Karakteristik RDF

Kelas	Bentuk	Deskripsi
<i>RDF-1</i>	Mentah	Sampah yang langsung dijadikan bahan bakar.
<i>RDF-2</i>	Kasar	Sampah diolah menjadi partikel kasar dengan atau tanpa pemisah logam besi (<i>ferrous metal</i>) dimana 95% berat awal melewati saringan berukuran 6 in ² (38,71 cm ²).
<i>RDF-3</i> (<i>f-RDF</i>)	<i>Fluff</i>	Partikel dari bahan <i>MSW</i> diproses untuk menghilangkan logam, kaca, dan bahan anorganik dengan ukuran partikel 95% dari berat awal melewati saringan berukuran 2 in ² (12,90 cm ²).
<i>RDF-4</i>	Tepung/ serbuk	Limbah yang mudah dibakar diolah menjadi bentuk seperti serbuk.
<i>RDF-5</i>	Dipadatkan	Sampah yang mudah dibakar kemudian dipadatkan (<i>compressed</i>) menjadi <i>pellet</i> , <i>slugs</i> , <i>cubettes</i> , briket, atau bentuk serupa.
<i>RDF-6</i>	Cair	Limbah mudah terbakar diolah menjadi bahan bakar cair.
<i>RDF-7</i>	Gas	Limbah mudah terbakar yang diolah menjadi bahan bakar gas.

5. Synthetic Gas

Gas yang diproduksi oleh proses gasifikasi yaitu *syngas* yang berupa kandungan CO, CH₄, dan H₂. (Saputro et al., 2018). Komponen utama dari *synthetic gas* yakni hidrogen (H₂) dan karbon monoksida (CO) digunakan sebagai bahan bakar gasifikasi mencapai 70% dan digunakan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan zat kimia. Hidrogen (H₂) merupakan unsur yang sangat aktif yang membuatnya jarang ditemukan dalam keadaan bebas melainkan bersenyawa dengan unsur-unsur lain seperti oksigen dalam air dengan karbon dalam metana. Hal tersebut membuat hidrogen dalam pemanfaatannya harus dipisahkan dahulu dengan senyawanya sebelum diproses menjadi bahan bakar. Pada temperatur dan tekanan standar, hidrogen memiliki ciri khas tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, dan merupakan gas *diatomic* yang *flammable* (Harahap & Tjahjono, 2016)

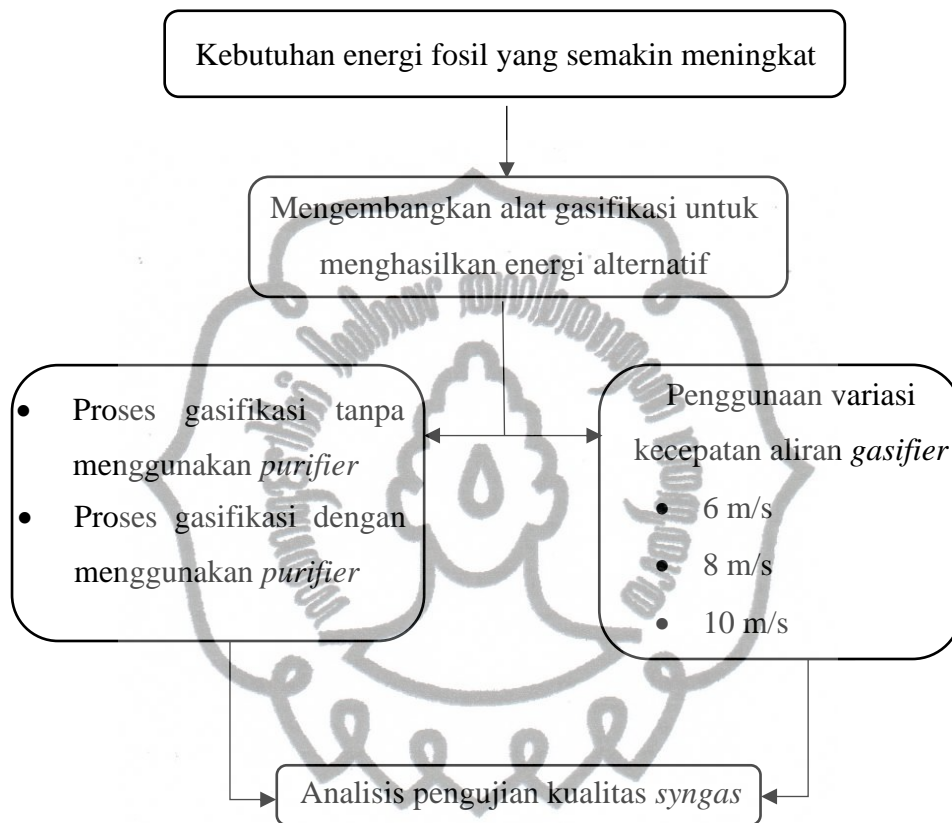
Karbon monoksida (CO) merupakan gas yang memiliki karakteristik tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran tak sempurna (*partial combustion*) dari senyawa karbon yang terbentuk apabila proses pembakaran terjadi kekurangan oksigen. Secara umum, karbon monoksida dipandang sebelah mata karena sifatnya yang beracun tetapi, justru unsur tersebut memiliki peran penting pada teknologi modern (Harahap & Tjahjono, 2016). Selain digunakan sebagai bahan bakar, beberapa perusahaan industri menggunakan *syngas* sebagai sumber alternatif bahan bakunya yaitu industri methanol dapat diolah kembali menjadi *oxo-alcohol*, industri *formic acid* dapat diolah menjadi *acetic acid* dan *ethyl-acetate*, industri amonia dapat diolah kembali menjadi pupuk. (Harahap & Tjahjono, 2016)

B. KERANGKA BERPIKIR

Seiring berjalannya waktu kebutuhan energi fosil dunia semakin meningkat, dan mengingat energi fosil yang tidak dapat diperbaharui maka akan berdampak pada cadangan energi fosil yang lama kelamaan akan berkurang bahkan habis dikarenakan persediaannya yang sangat terbatas. Untuk menyiasati hal tersebut maka diperlukan pemanfaatan sumber energi alternatif sebagai pengganti energi fosil. Untuk memperoleh energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil bisa menggunakan berbagai metode, salah satunya adalah proses gasifikasi. Dalam penerapannya, proses gasifikasi dapat menghasilkan energi alternatif yang berupa *syngas*. Untuk menghasilkan kualitas *syngas* yang optimal, maka dalam proses gasifikasi membutuhkan *purifier* yang digunakan sebagai pemurnian gas.

Purifier dapat menyaring zat pengotor/*impurity* yang menyebabkan kualitas *syngas* menurun. Penelitian ini memodifikasi *purifier* dengan 4 kandungan adsorben di dalamnya yaitu geram besi, pasir zeolit, serbuk kayu, dan sekam padi. Kandungan H₂S menyebabkan kualitas *syngas* kurang baik dan menimbulkan permasalahan pada alat gasifikasi. Geram besi dapat mengurangi kadar H₂S (Sugiyono et al., 2019). Zeolit dan serbuk kayu memiliki performa

mengadsorbsi zat pengotor berupa CO_2 (Sugiyono et al., 2019), sedangkan sekam padi meningkatkan kadar CH_4 merupakan zat yang dibutuhkan dalam proses pembakaran (Durán et al., 2018).



Gambar 2.3 Kerangka Berpikir

Penelitian ini menggunakan variasi kecepatan aliran udara pada *gasifier* sebesar 6 m/s, 8 m/s, dan 10 m/s. kecepatan aliran udara sebagai sarana penghantar *syngas* dari mulai pembakaran di dalam *gasifier* sampai ke *outlet burner*. Penggunaan variasi kecepatan aliran udara untuk mengidentifikasi keterkaitan antara variasi kecepatan aliran udara tersebut dengan pemurnian *syngas* pada alat gasifikasi tipe *updraft* semi-kontinu RDF limbah aren. Hasil dari *syngas* yang memiliki kualitas pembakaran yang baik, siap diaplikasikan pada salah satu *renewable fuel*. Kerangka berpikir diperjelas pada gambar 2.3

C. HIPOTESIS

Berdasarkan rumusan masalah dan kerangka berpikir yang telah dipaparkan, maka dapat ditarik hipotesis sebagai berikut:

1. Penggunaan *purifier* sebagai pemurnian gas menghasilkan kualitas produk *syngas* yang bersih dari zat *impurity*
2. Kecepatan aliran udara 10 m/s menghasilkan produksi *syngas* pada alat gasifikasi semi kontinu tipe *updraft* yang lebih banyak daripada kecepatan aliran udara 6 m/s dan 8 m/s.

