

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi global terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan industri, namun cadangan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara semakin menipis. Ketergantungan yang berlebihan pada energi fosil tidak hanya menimbulkan kekhawatiran mengenai ketahanan energi, tetapi juga berdampak negatif terhadap lingkungan akibat emisi gas rumah kaca (Nur Chairat et al., 2021). Oleh karena itu, transisi menuju sumber energi baru terbarukan (EBT) menjadi sangat krusial. Indonesia, sebagai negara agraris dengan wilayah hutan yang luas, memiliki potensi biomassa yang sangat besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan (Suparmin et al., 2023).

Salah satu teknologi konversi termokimia yang menjanjikan untuk memanfaatkan biomassa adalah gasifikasi. Gasifikasi adalah proses konversi bahan bakar padat berbasis karbon menjadi gas yang mudah terbakar (*syngas*), yang terdiri dari karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), metana (CH₄), dan karbon dioksida (CO₂) (Suparmin et al., 2024). *Syngas* yang dihasilkan memiliki fleksibilitas penggunaan yang luas, mulai dari bahan bakar mesin pembakaran dalam, turbin gas, hingga sintesis bahan kimia bernilai tambah (Shahbeig et al., 2022).

Dalam penerapannya, pemilihan jenis reaktor sangat mempengaruhi kualitas *syngas*. Reaktor tipe *downdraft* sering menjadi pilihan utama untuk aplikasi skala kecil hingga menengah karena kemampuannya menghasilkan gas dengan kandungan tar yang rendah dan efisiensi konversi karbon yang tinggi dibandingkan tipe *updraft* atau *fluidized bed* (Nur Chairat et al., 2021). Reaktor *fixed-bed downdraft* menunjukkan efisiensi eksergi tertinggi di antara sistem gasifikasi biomassa lainnya karena kontak yang sangat baik antara biomassa dan agen gasifikasi pada zona pembakaran (Shahbeig et al., 2022).

Meskipun teknologi gasifikasi sudah banyak diteliti, evaluasi kinerja sistem ini seringkali hanya didasarkan pada analisis energi (Hukum Termodinamika I).

Analisis energi memang dapat menghitung efisiensi termal, namun memiliki keterbatasan karena tidak memperhitungkan degradasi kualitas energi dan lokasi irreversibilitas dalam sistem (Kurniawan Putra et al., 2020). Analisis energi saja dapat menimbulkan kesalahpahaman karena mengabaikan kualitas energi (*energy quality*)(Tang et al., 2016). Oleh karena itu, analisis eksergi (berdasarkan Hukum Termodinamika II) diperlukan untuk memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kinerja sistem (Aijun Wang et al., 2013). Eksergi mendefinisikan kerja maksimum yang dapat diperoleh dari suatu sistem ketika mencapai kesetimbangan dengan lingkungannya, dengan adanya eksergi identifikasi lokasi serta besarnya kehancuran energi memungkinkan untuk di analisa (Shahbeig et al., 2022).

Efisiensi dan kualitas produk gasifikasi sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter operasional, di mana temperatur pada zona oksidasi memegang peranan vital. Temperatur oksidasi mempengaruhi laju reaksi kimia, komposisi gas produk, dan pembentukan tar. Menurut (Aijun Wang et al., 2013), peningkatan temperatur agen gasifikasi dapat meningkatkan efisiensi eksergi dan *Lower Heating Value* (LHV) *syngas*. Hal ini sejalan dengan penelitian (Gianardo Satria Primandanu & Ary Bachtiar Krishna Putra, 2022) yang menunjukkan bahwa variasi temperatur udara inlet secara signifikan mempengaruhi temperatur zona oksidasi, yang pada akhirnya berdampak pada LHV dan *Cold Gas Efficiency* (LHV). Namun, kenaikan temperatur yang berlebihan juga dapat menurunkan efisiensi eksergi akibat peningkatan irreversibilitas sistem pada kondisi tertentu (Tang et al., 2016).

Kaliandra (*Calliandra calothyrsus*) merupakan salah satu jenis tanaman biomassa kayu yang memiliki potensi besar di Indonesia karena pertumbuhannya yang cepat dan nilai kalor yang cukup tinggi. Studi sebelumnya oleh (Suparmin et al., 2023) menunjukkan bahwa karakteristik biomassa kayu seperti *wood pellets* memiliki rasio O/C dan H/C yang mempengaruhi kualitas *syngas*. Namun, penelitian yang secara spesifik menganalisis efisiensi eksergi pada gasifikasi kayu Kaliandra dengan memvariasikan temperatur oksidasi pada reaktor *downdraft* masih terbatas. Sebagian besar penelitian berfokus pada analisis energi atau menggunakan bahan baku lain seperti limbah kota *municipal solid waste* (MSW) atau tongkol jagung (Gianardo Satria Primandanu & Ary Bachtiar Krishna Putra, 2022; Suparmin et al., 2023).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini penting untuk dilakukan guna mengisi celah pengetahuan mengenai optimalisasi kinerja termodinamika gasifikasi Kaliandra. Penelitian ini akan berfokus pada analisis efisiensi eksergi dengan melakukan variasi temperatur pada zona oksidasi menggunakan gasifier tipe *downdraft*. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan rekomendasi kondisi operasi yang optimal untuk menghasilkan *syngas* berkualitas tinggi dengan kerugian eksergi yang minimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dengan judul skripsi yang diangkat, agar pembahasan tidak menyimpang dari topik yang dibahas. Pemberian rumusan masalah meliputi:

1. Bagaimana pengaruh temperatur oksidasi terhadap efisiensi eksergi, destruksi eksergi, eksergi produk gas, dan LHV *Syngas* pada proses gasifikasi kayu Kaliandra?
2. Berapa temperatur oksidasi yang optimal pada operasi gasifier tipe *downdraft* berdasarkan analisis eksergi ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dibentuk, tujuan penelitian yang akan dicapai meliputi:

1. Mengetahui dan menilai pengaruh variasi temperature oksidasi terhadap efisiensi eksergi, destruksi eksergi, eksergi produk gas, dan LHV *Syngas* pada proses gasifikasi kayu Kaliandra.
2. Menentukan temperature oksidasi optimal pada gasifier tipe *downdraft* berdasarkan hasil analisis eksergi..

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini meliputi:

1. Manfaat Ilmiah

Secara ilmiah, penelitian ini dapat menjadi referensi akademik dalam penerapan analisis eksergi untuk mengevaluasi sistem konversi energi berbasis biomassa.

2. Manfaat Teknis

Secara teknis, hasil penelitian dapat digunakan sebagai dasar dalam perancangan dan optimasi gasifier tipe *downdraft*, khususnya untuk bahan bakar kayu Kaliandra.

3. Manfaat Praktis,

Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia, serta mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil dengan memanfaatkan potensi biomassa lokal secara berkelanjutan.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Proses memudahkan pemahaman penelitian pada pembahasan agar tidak melebar, penelitian membatasi berdasarkan beberapa point sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada gasifier tipe downdraft skala laboratorium.
2. Bahan bakar biomassa yang digunakan adalah kayu Kaliandra kering dengan kadar air tertentu.
3. Parameter yang divariasikan terdiri dari temperature oksidasi.
4. Analisa hanya dilakukan pada efisiensi eksergi kimia dan fisik dari produk gas (*syngas*) dihasilkan, serta destruksi eksergi.
5. Faktor-faktor lain seperti kinetika reaksi, aspek ekonomi, distribusi temperatur, distribusi tar, distribusi char, dan distribusi abu tidak dibahas secara mendalam.

1.6 Kebaharuan

Penelitian ini didasari dengan tujuan untuk menganalisis dan membandingkan secara bagaimana perubahan temperatur oksidasi mempengaruhi kualitas energi (efisiensi eksergi) yang dihasilkan. Fokus utamanya adalah untuk mengetahui seberapa efektif sistem *gasifier* dalam mengubah bahan baku biopellet kayu kaliandra menjadi energi yang dapat menghasilkan kerja berguna, sehingga dapat ditentukan kondisi operasi yang paling optimal secara analisis efisiensi eksergi.

1.7 Hipotesa

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ialah bahwa temperatur oksidasi pada rentang 900°C sampai dengan 1000°C akan menghasilkan efisiensi eksergi paling optimum dibandingkan temperatur 600°C sampai 800°C. Hal ini berdasarjab pada asumsi bahwa temperatur 900°C sampai dengan 1000°C menyediakan energi termal yang cukup untuk memfasilitasi reaksi reduksi endotermik secara efektif, sehingga meningkatkan kandungan kimia (nilai kalor) syngas. Sebaliknya, temperatur oksidasi 600°C sampai 800°C diprediksi terlalu rendah untuk memecah tar dan char secara

sempurna, menyebabkan tingginya kerugian eksergi (*exergy destruction*) akibat pembakaran yang tidak sempurna.