

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan ekonomi. Namun, pemenuhan kebutuhan energi nasional saat ini masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil (minyak bumi, gas alam, dan batu bara) yang jumlah cadangannya semakin menipis. Ketergantungan ini tidak hanya menimbulkan ancaman terhadap ketahanan energi nasional, tetapi juga berkontribusi pada masalah lingkungan serius akibat emisi gas rumah kaca. Kondisi ini mendesak diperlukannya transisi energi untuk mendukung komitmen nasional mencapai *Net Zero Emission* (NZE) dan meningkatkan bauran Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam bauran energi primer.(Yana et al., 2022)

Sejalan dengan krisis energi, Indonesia juga menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan limbah padat perkotaan atau *Municipal Solid Waste* (MSW). Produksi MSW di kota-kota besar terus meningkat secara signifikan.(M.Idris, 2024) Metode pengelolaan konvensional dengan skema "kumpul-angkut-buang" ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sudah tidak memadai dan menimbulkan berbagai masalah lingkungan, seperti pencemaran tanah, air, dan udara, serta menipisnya lahan TPA. Selain itu, dekomposisi sampah organik di TPA secara anaerobik menghasilkan gas metana, sebuah gas rumah kaca poten yang turut menghambat pencapaian *tar get Net Zero Emission*.(Nurfadhilah et al., 2022)

Untuk mengatasi kedua masalah tersebut secara simultan, konsep *Waste-to-Energy* (WtE) menjadi solusi strategis sebagai salah satu pilar energi terbarukan yang mengubah limbah menjadi sumber daya energi.(M.Idris, 2024) Di antar a berbagai teknologi WtE, gasifikasi muncul sebagai salah satu metode konversi termokimia yang paling menjanjikan. Gasifikasi adalah proses konversi bahan bakar padat (seperti MSW) menjadi gas sintetis (*syngas*) yang kaya akan CO, H₂, dan CH₄ melalui pembakaran parsial dengan suplai udara terbatas.(Amrullah & Oktaviananda, 2022) Teknologi ini memiliki keunggulan dibandingkan pembakaran langsung, seperti efisiensi energi yang lebih tinggi dan emisi polutan yang lebih rendah.(Endang Suhendi, 2016)

Untuk proses gasifikasi sangat ditentukan oleh berbagai parameter operasional, terutama rasio kesetaraan (*equivalence ratio*) dan temperatur udara masukan (*inlet air temperature*). Kedua faktor ini memiliki pengaruh krusial terhadap laju reaksi termokimia, yang pada gilirannya menentukan komposisi *syngas* akhir serta efisiensi konversi energi pada sistem. Guna memahami sejauh mana energi dalam proses gasifikasi dapat dimanfaatkan secara optimal, diperlukan sebuah metode analisis yang tidak hanya menilai kuantitas energi, tetapi juga mengevaluasi kualitas serta potensi kerja yang terkandung di dalamnya. Pendekatan ini dikenal sebagai analisis eksergi, yang berlandaskan pada hukum pertama dan kedua termodinamika.

Analisis eksergi mampu menyajikan gambaran utuh mengenai efisiensi aktual dari sebuah sistem energi sekaligus menunjukkan besarnya potensi energi yang hilang (kerugian) selama proses berlangsung. Dengan demikian, evaluasi kinerja sistem gasifikasi menggunakan analisis eksergi dianggap lebih komprehensif, terutama dalam mendeteksi bagian proses yang menjadi sumber *irreversibilitas* atau kerugian energi terbesar. Analisis ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai efisiensi termodinamika proses tersebut dan potensi pemanfaatan limbah perkotaan sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dengan judul penelitian yang saya bawakan, agar pembahasan tidak menyimpang dari topik yang dibahas. Pemberian rumusan masalah meliputi:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur oksidasi ($640,1^{\circ}\text{C}$ – $737,4^{\circ}\text{C}$) terhadap efisiensi eksergi (%) pada proses gasifikasi MSW tipe *downdraft*?
2. Pada temperatur oksidasi berapakah diperoleh efisiensi eksergi maksimum (%) dan destruksi eksergi minimum (kW)?
3. Bagaimana hubungan temperatur oksidasi terhadap nilai LHV *syngas* (MJ/kg) sebagai indikator kualitas energi kimia produk gas?

1.3 Tujuan

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini, berdasarkan dari *latar* belakang dan rumusan masalah penelitian ini, adalah sebagai berikut:

1. Menghitung dan menganalisis efisiensi eksergi (%) pada variasi temperatur oksidasi 640,1°C–737,4°C.
2. Menentukan temperatur oksidasi optimum berdasarkan efisiensi eksergi tertinggi (%) dan destruksi eksergi terendah (kW).
3. Mengevaluasi hubungan antara temperatur oksidasi dengan nilai LHV syngas (MJ/kg).

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 *Municipal solid waste*.

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

Agar penelitian ini lebih terfokus, maka penelitian ini dibatasi pada aspek-aspek berikut:

1. Penelitian dilakukan pada *gasifier* tipe *downdraft* skala laboratorium.
2. Bahan bakar biomassa yang digunakan adalah *Municipal solid Wasted* dalam bentuk pelet.
3. Parameter yang divariasikan terdiri dari temperature oksidasi.
4. Analisis yang dilakukan difokuskan pada aspek efisiensi eksergi, dan destruksi eksergi.
5. Faktor-faktor lain seperti kinetika reaksi, aspek ekonomi, dan distribusi *tar* tidak

dibahas secara mendalam.

1.6 Kebaharuan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan secara mendalam bagaimana perubahan suhu pada tahap oksidasi mempengaruhi kualitas energi (efisiensi eksergi) yang dihasilkan. Fokus utamanya adalah untuk mengetahui seberapa efektif sistem gasifier dalam mengubah bahan baku sampah kota yang kompleks menjadi energi yang benar-benar bernilai guna, sehingga dapat ditentukan kondisi operasi yang paling optimal dengan tingkat pemborosan energi seminimal mungkin.

1.7 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan awal, hipotesis yang diajukan pada penelitian bahwa temperatur oksidasi 731°C akan menghasilkan efisiensi eksergi paling optimum dibandingkan temperatur 579°C dan 371°C. Hal ini didasarkan pada asumsi bahwa temperatur 731°C menyediakan energi termal yang cukup untuk memfasilitasi reaksi reduksi endotermik secara efektif, sehingga meningkatkan kandungan kimia (nilai kalor) *syngas*. Sebaliknya, temperatur 371°C diprediksi terlalu rendah untuk memecah *tar* dan *char* secara sempurna, menyebabkan tingginya kerugian eksergi (*exergy destruction*) akibat pembakaran yang tidak sempurna.