BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permasalahan limbah biomassa hingga saat ini masih menjadi masalah yang berkembang seiring meningkatnya aktivitas manusia. Limbah biomassa seperti kayu sisa pemakaian, tempurung kelapa, bambu, dan kardus merupakan material yang paling banyak dihasilkan dari kegiatan rumah tangga, industri kecil, serta sektor pertanian. Jenis biomassa ini merupakan salah satu limbah yang sangat umum ditemukan dan memiliki sifat yang mudah terbakar, serta memiliki kandungan energi yang cukup tinggi, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif apabila dikelola dengan baik. Namun, dalam praktiknya, limbah biomassa tersebut sering kali hanya dibuang atau dibakar secara terbuka tanpa pengendalian yang memadai.

Pembakaran terbuka limbah biomassa memang dapat mengurangi volume limbah, tetapi dapat menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, seperti terjadinya pencemaran udara, peningkatan emisi gas berbahaya, serta pemborosan energi panas yang dihasilkan. Selain itu, proses pembakaran yang tidak tepat dapat menyebabkan pembakaran berlangsung tidak sempurna, sehingga hanya akan menyisakan residu dan menghasilkan asap dalam jumlah besar. Dalam kondisi ini menunjukkan perlunya sistem pembakaran yang lebih tepat dan efisien, salah satu yang mulai dikembangkan dibeberapa daerah yaitu menggunakan reaktor insinerator.

Reaktor insinerator sendiri merupakan sistem pembakaran tertutup yang dirancang untuk dapat mengelola limbah biomassa dengan cara membakarnya pada

kondisi tertentu sehingga jumlah limbah dapat dikurangi secara signifikan. Keunggulan utama dari reaktor insinerator dibandingkan pembakaran terbuka adalah kemampuannya dalam mengendalikan parameter pembakaran, seperti suhu, waktu tinggal, serta suplai udara. Dengan pengendalian pembakaran yang tepat dan baik, proses pembakaran dapat berlangsung lebih stabil, efisien, dan ramah lingkungan.

Salah satu faktor yang menjadi penentu dalam proses pembakaran menggunakan reaktor insinerator adalah suplai udara pembakaran. Udara sendiri memiliki fungsi sebagai penyedia oksigen yang dibutuhkan agar dapat terjadinya reaksi oksidasi bahan bakar. Dalam sistem insinerator, suplai udara umumnya dibagi menjadi dua bagian, yaitu *primary air* (udara primer) dan *secondary air* (udara sekunder). Udara primer berfungsi sebagai penyedia udara secara langsung ke zona pembakaran utama dan berperan penting dalam proses penyalaan awal serta pembakaran utama biomassa. Sementara itu, udara sekunder biasanya hanya dialirkan pada bagian atas atau zona lanjutan pembakaran, hal ini dilakukan untuk membantu proses oksidasi gas-gas sisa hasil pembakaran, agar pembakaran limbah biomassa menjadi lebih sempurna.

Hal pertama yang harus dilakukan saat menggunakan sistem insenerator adalah mengatur suplai udara primer dan udara sekunder yang berada dalam reaktor insinerator umumnya dilakukan menggunakan rotameter. Rotameter memungkinkan pengukuran dan pengendalian laju aliran udara (*flow rate*) secara langsung, sehingga operator dapat mengatur jumlah udara yang masuk ke dalam reaktor sesuai dengan kebutuhan proses pembakaran. Penggunaan rotameter primer

dan sekunder memberikan fleksibilitas dalam mengatur distribusi udara di dalam reaktor, yang sangat berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran biomassa.

Dari kedua jenis suplai udara tersebut, udara primer memiliki peran yang sangat krusial karena langsung memengaruhi proses pembakaran awal biomassa di dalam ruang bakar. *flow rate* udara primer yang tidak sesuai dapat menyebabkan berbagai permasalahan pembakaran. Kekurangan udara primer akan menyebabkan pembakaran berlangsung tidak sempurna, ditandai dengan pembentukan asap tebal, peningkatan karbon monoksida, serta masih tersisanya biomassa yang belum terbakar. Sebaliknya, udara primer yang terlalu berlebihan dapat menurunkan suhu pembakaran karena udara berlebih menyerap panas dan membawanya keluar dari zona pembakaran.

Pengaruh *flow rate* udara primer menjadi semakin kompleks ketika digunakan untuk membakar biomassa dengan karakteristik yang berbeda-beda. Kayu, tempurung, bambu, dan kardus memiliki sifat fisik dan kimia yang tidak sama, sehingga kebutuhan udara primer untuk pembakaran masing-masing biomassa juga berbeda. Oleh karena itu, pengaturan *flow rate* udara primer tidak dapat disamaratakan untuk semua jenis biomassa.

Kayu memiliki struktur serat yang relatif padat dan nilai kalor yang cukup tinggi. Proses pembakaran kayu sangat dipengaruhi oleh ukuran potongan dan kadar air yang terkandung di dalamnya. *Flow rate* udara primer yang terlalu kecil dapat menyebabkan kayu terbakar secara lambat dan menghasilkan asap, sedangkan *flow rate* yang terlalu besar dapat mempercepat pembakaran namun menurunkan efisiensi panas akibat hilangnya energi bersama aliran udara berlebih.

Tempurung kelapa memiliki densitas yang lebih tinggi dan kandungan karbon yang besar, sehingga mampu menghasilkan suhu pembakaran yang relatif tinggi. Namun, sifat keras dan padat dari tempurung menyebabkan kebutuhan udara primer yang cukup besar agar oksigen dapat mencapai seluruh permukaan bahan bakar. Variasi *flow rate* udara primer akan sangat memengaruhi kestabilan pembakaran tempurung serta jumlah residu abu yang dihasilkan.

Bambu memiliki struktur berongga dan berserat memanjang, yang menyebabkan perilaku pembakarannya berbeda dibandingkan kayu dan tempurung. Bambu relatif mudah terbakar, tetapi sering kali mengalami pembakaran yang tidak merata jika suplai udara primer tidak terdistribusi dengan baik. *Flow rate* udara primer yang terlalu tinggi dapat menyebabkan bambu terbakar sangat cepat, sementara *flow rate* yang terlalu rendah dapat menyebabkan pembakaran terhambat dan menyisakan bagian yang belum terbakar sempurna.

Kardus, sebagai biomassa berbasis kertas, memiliki densitas rendah dan kandungan selulosa yang tinggi. Biomassa ini sangat mudah menyala dan memiliki laju pembakaran yang cepat. Dalam pembakaran kardus, pengaturan *flow rate* udara primer menjadi sangat penting agar proses pembakaran tetap terkendali. Udara primer yang berlebihan dapat menyebabkan pembakaran berlangsung terlalu cepat dan sulit dikontrol, sedangkan udara primer yang kurang dapat menurunkan kualitas pembakaran dan meningkatkan pembentukan asap.

Dalam sistem insinerator yang menggunakan rotameter primer dan sekunder, interaksi antara udara primer dan udara sekunder juga perlu diperhatikan. Udara primer berperan utama dalam pembakaran biomassa padat, sedangkan udara sekunder membantu menyempurnakan pembakaran gas hasil *devolatilisasi*

biomassa. Namun demikian, kinerja udara sekunder sangat bergantung pada kondisi pembakaran awal yang ditentukan oleh *flow rate* udara primer. Jika pembakaran awal tidak berlangsung optimal, maka peran udara sekunder tidak dapat bekerja secara maksimal.

Berdasarkan kondisi tersebut, pengkajian mengenai pengaruh *flow rate* udara primer yang diatur menggunakan rotameter terhadap pembakaran biomassa kayu, tempurung, bambu, dan kardus di dalam reaktor insinerator yang dilengkapi dengan rotameter primer dan sekunder menjadi sangat penting. Penelitian ini diperlukan untuk memahami bagaimana variasi laju aliran udara primer memengaruhi karakteristik pembakaran, seperti kestabilan nyala api, suhu pembakaran, laju konsumsi bahan bakar, serta kualitas pembakaran secara keseluruhan.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam menentukan pengaturan *flow rate* udara primer yang optimal untuk masing-masing jenis biomassa. Dengan pengaturan yang tepat, proses pembakaran di dalam insinerator dapat berlangsung lebih efisien, emisi gas buang dapat ditekan, serta pemanfaatan energi dari limbah biomassa dapat ditingkatkan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan dan pengoperasian reaktor insinerator biomassa yang lebih efektif dan berkelanjutan.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan kondisi nyata pengoperasian reaktor insinerator biomassa serta permasalahan yang sering ditemui di lapangan, khususnya pada sistem pembakaran dengan udara primer dan sekunder, maka penelitian ini mengidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Pada pengoperasian insinerator biomassa di lapangan, pengaturan *flow rate* udara primer yang diukur menggunakan rotameter masih banyak dilakukan berdasarkan perkiraan operator, sehingga hasil pembakaran sering kali tidak stabil.
2. Perubahan kecil pada *flow rate* udara primer dapat menyebabkan perbedaan signifikan pada proses pembakaran, seperti perubahan suhu ruang bakar dan kestabilan nyala api, namun pengaruh tersebut belum dipahami secara kuantitatif.
3. Setiap jenis biomassa, seperti kayu, tempurung kelapa, bambu, dan kardus, menunjukkan perilaku pembakaran yang berbeda di dalam reaktor insinerator, sehingga pengaturan udara primer yang berhasil untuk satu jenis biomassa belum tentu sesuai untuk jenis biomassa lainnya.
4. Dalam praktik operasional, sering terjadi pembakaran tidak sempurna yang ditandai dengan munculnya asap pekat dan sisa biomassa yang belum terbakar, yang diduga berkaitan langsung dengan ketidaktepatan pengaturan *flow rate* udara primer.
5. Sistem udara sekunder yang telah dipasang pada reaktor insinerator belum selalu bekerja secara optimal karena kondisi pembakaran awal di zona primer tidak stabil akibat pengaturan udara primer yang kurang tepat.
6. Belum tersedia pedoman teknis yang sederhana dan aplikatif mengenai pengaturan *flow rate* udara primer menggunakan rotameter untuk berbagai jenis biomassa pada skala reaktor insinerator yang digunakan.
7. Kurangnya data eksperimental mengenai hubungan antara *flow rate* udara primer, jenis biomassa, dan karakteristik pembakaran menyulitkan proses evaluasi dan pengembangan kinerja reaktor insinerator di lapangan.

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian mengenai pengaruh *flow rate* udara primer terhadap pembakaran biomassa di dalam reaktor insinerator dapat dilakukan secara terarah dan sesuai dengan tujuan penelitian, maka diperlukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada pengaruh *flow rate* udara primer (*primary air*) yang diatur menggunakan rotameter terhadap proses pembakaran biomassa di dalam reaktor insinerator.
2. Variasi *flow rate* udara primer yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada 20 m^3/jam, 30 m^3/jam, 40 m^3/jam, dan 48 m^3/jam.
3. Pengukuran dan pengaturan laju aliran udara primer dilakukan menggunakan rotameter sebagai alat ukur utama.
4. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi suhu ruang bakar, suhu *cyclone* (ruang penyimpanan panas hasil pembakaran), dan massa residu abu sebagai indikator kualitas pembakaran.
5. Bahan baku biomassa yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada campuran kayu, bambu, tempurung kelapa, dan kardus dengan komposisi dengan massa total 2,05Kg
6. Penelitian ini tidak membahas analisis komposisi gas buang, efisiensi termal, maupun sistem kontrol otomatis pada reaktor insinerator.

1.4. Rumusan Masalah

.Berdasarkan dari latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi *flow rate* udara primer yang diatur menggunakan rotameter terhadap karakteristik pembakaran campuran biomassa di dalam reaktor insinerator?
2. Bagaimana pengaruh variasi *flow rate* udara primer terhadap suhu ruang bakar dan suhu *cyclone* (ruang penyimpanan panas hasil pembakaran)?
3. Bagaimana pengaruh variasi *flow rate* udara primer terhadap massa residu abu yang dihasilkan setelah proses pembakaran?
4. Pada variasi *flow rate* udara primer berapakah karakteristik pembakaran campuran biomassa menghasilkan kondisi yang paling optimal berdasarkan suhu yang dicapai dan jumlah residu abu yang dihasilkan?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi *flow rate* udara primer yang diatur menggunakan rotameter terhadap karakteristik pembakaran campuran biomassa pada reaktor insinerator.
2. Mengetahui pengaruh variasi *flow rate* udara primer terhadap suhu ruang bakar dan suhu cyclone (ruang penyimpanan panas hasil pembakaran).
3. Mengetahui pengaruh variasi *flow rate* udara primer terhadap massa residu abu yang dihasilkan setelah proses pembakaran.
4. Menganalisis karakteristik pembakaran campuran biomassa berdasarkan perubahan suhu ruang bakar, suhu pada *cyclone* (ruang penyimpanan panas hasil pembakaran), dan jumlah residu abu yang dihasilkan.

5. Menentukan variasi *flow rate* udara primer yang menghasilkan kondisi pembakaran paling optimal berdasarkan suhu yang dicapai dan massa residu abu yang dihasilkan.

1.6. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang luas, baik dari segi akademis, teknis, praktis, maupun pengembangan teknologi pembakaran biomassa. Secara akademis, penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi ilmiah serta memperkaya wawasan mengenai pengaruh variasi *flow rate* udara primer yang diatur menggunakan rotameter terhadap karakteristik pembakaran campuran biomassa pada reaktor insinerator. Hasil penelitian ini dapat menjadi bahan rujukan bagi mahasiswa, peneliti, maupun pihak lain yang tertarik dalam bidang konversi energi biomassa, sistem pembakaran, serta pengembangan teknologi insinerator skala laboratorium maupun prototipe.

Secara teknis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih mendalam mengenai hubungan antara variasi *flow rate* udara primer dengan perubahan suhu ruang bakar, suhu pada *cyclone* (ruang penyimpanan panas hasil pembakaran), serta massa residu abu yang dihasilkan setelah proses pembakaran. Informasi tersebut dapat digunakan untuk memahami karakteristik pembakaran campuran biomassa secara lebih sistematis, sehingga diperoleh kondisi operasi yang mampu menghasilkan proses pembakaran yang lebih stabil, efektif, dan terkendali. Dengan mengetahui pengaruh setiap variasi laju aliran udara, pengguna dapat menentukan kondisi *flow rate* yang paling sesuai untuk memperoleh kualitas pembakaran yang optimal.

Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam penggunaan rotameter sebagai alat ukur dan pengatur *flow rate* udara primer pada sistem pembakaran biomassa. Hasil penelitian ini dapat membantu operator atau pengguna reaktor insinerator dalam mengatur suplai udara secara lebih tepat, sehingga proses pembakaran dapat berlangsung dengan temperatur yang lebih tinggi dan residu abu yang lebih sedikit. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan gambaran nyata mengenai perilaku pembakaran campuran biomassa yang terdiri dari kayu, bambu, tempurung kelapa, dan kardus, yang banyak tersedia sebagai limbah biomassa di lingkungan sekitar.

Dari sisi operasional, penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam meningkatkan efektivitas proses pembakaran biomassa dengan memanfaatkan pengaturan udara primer yang lebih terukur dan konsisten. Dengan proses pembakaran yang lebih baik, jumlah biomassa yang tidak terbakar sempurna dapat dikurangi, sehingga efisiensi penggunaan bahan bakar meningkat dan kualitas hasil pembakaran menjadi lebih optimal. Pemantauan suhu pada ruang bakar dan *cyclone* (ruang penyimpanan panas hasil pembakaran), juga dapat memberikan informasi penting mengenai distribusi panas selama proses berlangsung.

Secara lingkungan, penelitian ini diharapkan dapat mendukung pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi alternatif yang lebih bermanfaat dan ramah lingkungan. Dengan pembakaran yang lebih terkendali, jumlah residu padat yang dihasilkan dapat diminimalkan dan potensi terjadinya pembakaran tidak sempurna dapat dikurangi. Hal ini dapat menjadi salah satu upaya

untuk meningkatkan nilai guna limbah biomassa sekaligus mengurangi penumpukan limbah organik yang belum dimanfaatkan secara optimal.

Selain itu, dari sisi pengembangan teknologi, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan dalam merancang dan menyempurnakan sistem insinerator biomassa yang lebih efisien, sederhana, dan mudah dioperasikan. Data yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan sistem pembakaran biomassa yang lebih baik, baik dalam skala laboratorium, skala pendidikan, maupun aplikasi yang lebih luas di masa mendatang