

INTISARI

Peningkatan emisi partikulat yang dihasilkan dari pembakaran biomassa, khususnya partikel *soot*, telah menjadi perhatian penting dalam pengembangan sistem energi berkelanjutan. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengembangkan model pembakaran biomassa yang dapat memprediksi sistem pembakaran dalam *drop tube furnace*, mengembangkan model yang akurat untuk memprediksi partikel *soot* dalam sistem pembakaran biomassa, dan menguji efisiensi model pembentukan partikel *soot* dalam sistem pembakaran biomassa. Sistem yang dikaji berupa *drop tube furnace* berbasis data eksperimen terdahulu dengan variasi temperatur dinding 1000-1300°C. Pemodelan dilakukan dengan pendekatan *non-premixed* combustion berbasis *flamelet* PDF, model turbulensi SST k- ω , serta model radiasi Discrete Ordinates (DO). Penelitian ini membandingkan tiga model pembentukan *soot*, yaitu *one-step*, *two-step*, dan Moss-Brookes untuk menilai tingkat akurasi dan efisiensi komputasinya.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa model pembakaran yang dikembangkan mampu merepresentasikan karakteristik pembakaran biomassa dengan baik, ditunjukkan dengan kesesuaian profil temperatur dengan deviasi cukup rendah (<10%) terhadap data eksperimen. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian parameter pembakaran seperti temperatur, distribusi oksigen, dan *mixture fraction* merupakan kunci dalam meminimalkan emisi *soot*. Model *one-step* merupakan model paling sederhana dan paling efisien secara komputasi, tetapi kurang sensitif terhadap variasi kondisi lokal dan cenderung menghasilkan prediksi *yield soot* dengan deviasi yang tinggi. Model *two-step* mampu menangkap tren perubahan *soot* terhadap variasi temperatur, namun masih cenderung merepresentasikan pembentukan *soot* dibandingkan oksidasi sehingga menghasilkan deviasi yang lebih besar pada temperatur tinggi. Model Moss-Brookes menjadi model yang memberikan tingkat akurasi terbaik dalam memprediksi *yield* dan distribusi fraksi massa *soot* terhadap data eksperimen, dibuktikan dengan deviasi *yield soot* terhadap eksperimen yang sangat rendah (<5%). Model ini juga mampu merepresentasikan mekanisme nukleasi, pertumbuhan permukaan, koagulasi, dan oksidasi secara simultan, sehingga direkomendasikan sebagai pendekatan yang paling representatif untuk mensimulasikan pembentukan *soot* pada sistem pembakaran biomassa.

Kata kunci: *Soot*, pembakaran biomassa, *drop tube furnace*, CFD.

ABSTRACT

The increasing of particulate matter emission generater from biomass combustion, particularly *soot* particles, has become a critical concern in the development of sustainable energy systems. This study employs a Computational Fluid Dynamics (CFD) approach to develop a biomass combustion model capable of predicting combustion behaviour in a drop tube furnace, to establish an accurate model for *soot* particle prediction in biomass combustion systems, and to evaluate the computational efficiency of different *soot* formation models. The investigated system is a drop tube furnace based on previously published experimental data, with wall temperature variations ranging from 1000-1300°C. The modeling framework applies a non-premixed combustion approach based on the flamelet PDF method, the SST $k-\omega$ turbulence model, and the Discrete Ordinates (DO) radiation model. Three *soot* formation models—one-step, two-step, and Moss-Brookes—are systematically compared to assess their predictive accuracy and computational efficiency.

The simulation results indicate that the developed combustion model successfully represents the characteristics of biomass combustion, as demonstrated by good agreement between predicted and experimental temperature profiles, with relatively low deviations (<10%). Overall, the study confirms that controlling combustion parameters such as temperature, oxygen distribution, and mixture fraction is essential for minimizing *soot* emissions. The one-step model is the simplest and most computationally efficient approach; however, it shows limited sensitivity to local combustion conditions and tends to produce higher deviations in predicted *soot* yield. The two-step model captures the general trend of *soot* variation with temperature but tends to emphasize *soot* formation over oxidation, leading to larger deviations at elevated temperatures. The Moss-Brookes model provides the highest level of accuracy in predicting *soot* yield and mass fraction distribution compared to experimental data, with very low deviations in *soot* yield (<5%). This model is capable of simultaneously representing nucleation, surface growth, coagulation, and oxidation mechanisms, and is therefore recommended as the most representative approach for simulating *soot* formation in biomass combustion systems.

Keywords: *soot*, biomass combustion, drop tube furnace, CFD.