



ABSTRACT

Renewable energy utilization for fulfilling world energy needs can be a strategic alternative considering the longevity of fossil fuels and the environmental impacts arise. The abundant availability of oil palm solid waste as one of renewable energy forms due to the increasing palm oil production deserves appropriate treatment for the sake of sustainable energy development. Pyrolysis as one of thermochemical conversion processes could be chosen for producing valuable products by cracking polymer structures of lignocellulosic materials and converting it into char and volatile fraction consisting of gases, vapours, tar components. The knowledge and understanding on pyrolysis kinetics of biomass are needed to properly design and establish efficient and safe processes.

This research aimed at investigating kinetics of slow pyrolysis on oil-palm solid waste, including: empty fruit bunch (EFB), fibre (mesocarp), and shell, by using three different methods: Coats-Redfern Method, Distributed Activation Energy Model (DAEM) and Isoconversional Method, to gain a comprehensive understanding in their pyrolytic behaviour and to investigate the kinetic parameters in term of activation energy, frequency factor, and reaction order under non-isothermal conditions.

The results of the research show that the thermogravimetry and derivative thermogravimetry curves shift toward the higher temperature range with the increasing heating rates. The maximum rate of decomposition tends to increase at higher heating rates and the temperature corresponding to this maximum mass loss rate also increases. In addition, activation energy values of all components vary and show different trends among them, whereas those values of the blends are affected by the contribution of their components. For DAEM, the activation energy values corresponds to the different mass losses during the thermal decomposition process are not directly related to the heating rate. The Coats-Redfern method can be easily applied to obtain the average value of activation energy, however, the DAEM method can reflect the distribution of activation energy values of the whole pyrolysis process and is more descriptive of the pyrolysis reaction than the Coats-Redfern method. Comparatively, the activation energy values obtained from Coats-Redfern method are correspondingly lower than those gained from DAEM and isoconversional methods, while those values of DAEM and isoconversional methods are competitive. The kinetic and thermodynamic of the slow pyrolysis of oil palm solid waste by the isoconversional methods, including: Friedman, Flynn – Ozawa – Wall and Kissinger – Akahira – Sunose, reveal that the pyrolysis process of oil palm solid waste is constructed by a multi-stage reaction and can be approximately divided into three stages with the increase of conversion degrees (α): first stage ($0.1 \leq \alpha < 0.3$) represents the dominating reaction zone of the extractives and hemicellulose constituent, second stage ($0.3 \leq \alpha \leq 0.6$) represents hemicellulose and lignin constituents, and third stage ($0.6 < \alpha \leq 0.9$) represents cellulose and lignin constituents. Considering the values of activation energy and the changes of Gibbs free energy obtained, oil palm solid waste has considerable potential as a bioenergy resource.

Keywords: Coats-Redfern, DAEM, isoconversional, kinetic, oil-palm solid waste, pyrolysis, thermogravimetry



ABSTRAK

Penggunaan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi dunia dapat menjadi alternatif strategis, mempertimbangkan keberlangsungan bahan bakar fosil dan dampak lingkungan yang ditimbulkan. Ketersediaan yang melimpah akan limbah padat kelapa sawit sebagai salah satu bentuk energi terbarukan sebagai akibat meningkatnya produksi minyak kelapa sawit pantas mendapatkan pengolahan yang tepat demi pengembangan energi berkelanjutan. Pirolisis sebagai salah satu proses konversi termokimia dapat dipilih untuk menghasilkan produk-produk bernilai dengan memecah struktur polimer material *lignocellulosic* dan mengubahnya menjadi *char* dan fraksi volatile terdiri dari gas, uap, dan komponen tar. Pengetahuan dan pemahaman terhadap kinetika pirolisis biomassa diperlukan dalam mendesain secara tepat dan membangun proses yang aman dan efisien.

Penelitian ini bertujuan menyelidiki kinetika pirolisis lambat pada limbah padat kelapa sawit, meliputi: tandan kosong, sabut, buah dan cangkang, dengan menggunakan tiga metode yang berbeda: Metode Coats-Redfern, DAEM (*Distributed Activation Energy Model*) dan Metode Isokonvensional, untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif mengenai perilaku pirolitiknya dan menyelidiki parameter kinetika, yaitu: energi aktivasi, faktor frekuensi, dan orde reaksi pada kondisi non-isotermal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan kenaikan laju pemanasan maka kurva-kurva termogravimetri dan termogravimetri derivatif bergeser ke arah rentang suhu yang lebih tinggi. Laju dekomposisi maksimum cenderung meningkat pada laju pemanasan yang lebih tinggi dan suhu dimana pengurangan massa maksimum juga meningkat. Selain itu, nilai-nilai energi aktivasi seluruh komponen bervariasi dan menunjukkan kecenderungan yang berbeda, sedangkan nilai-nilai energi aktivasi campuran dipengaruhi oleh peran komponen-komponennya. Pada DAEM, nilai-nilai energi aktivasi yang disesuaikan dengan pengurangan massa yang berbeda selama proses dekomposisi termal tidak secara langsung berhubungan dengan laju pemanasan. Metode Coats-Redfern dapat secara mudah diterapkan untuk memperoleh nilai rerata energi aktivasi, akan tetapi, DAEM dapat mencerminkan distribusi nilai-nilai energi aktivasi dari proses pirolisis secara keseluruhan dan lebih deskriptif mengenai reaksi pirolisis daripada metode Coats-Redfern. Secara komparatif, nilai-nilai energi aktivasi yang diperoleh dari metode Coats-Redfern lebih rendah daripada nilai-nilai energi aktivasi yang diperoleh dari DAEM dan metode Isokonvensional, sementara itu nilai-nilai energi aktivasi yang diperoleh dari DAEM kompetitif dengan nilai-nilai energi aktivasi yang diperoleh dari metode Isokonvensional. Kinetika dan termodinamika pirolisis lambat limbah padat kelapa sawit dengan metode Isokonvensional, meliputi: Friedman, Flynn – Ozawa – Wall dan Kissinger – Akahira – Sunose, menghasilkan bahwa proses pirolisis limbah padat kelapa sawit tersusun atas reaksi banyak-tahap dan secara pendekatan dapat dibagi menjadi tiga tahap seiring kenaikan tingkat konversi (α): tahap pertama ($0.1 \leq \alpha < 0.3$) mewakili zona reaksi ekstraktif dan hemiselulosa yang mendominasi, tahap kedua ($0.3 \leq \alpha \leq 0.6$) mewakili zona reaksi hemiselulosa dan lignin, dan tahap ketiga ($0.6 < \alpha \leq 0.9$) mewakili zona reaksi selulosa dan lignin. Dengan mempertimbangkan nilai-nilai energi aktivasi dan perubahan energi bebas Gibbs yang diperoleh, maka limbah padat kelapa sawit berpotensi besar sebagai sumberdaya bioenergi.

Kata kunci: Coats-Redfern, DAEM, isokonvensional, kinetika, limbah padat kelapa sawit, pirolisis, termogravimetri