

Karbon dioksida (CO₂) merupakan impuritas utama yang terkandung di dalam biogas dan gas alam. Kandungan CO₂ yang tinggi menyebabkan rendahnya panas pembakaran, korosif, dan menimbulkan emisi gas rumah kaca secara berlebihan. Oleh karena itu, diperlukan unit purifikasi untuk memisahkan CO₂ dari gas alam dan biogas sehingga kualitasnya dapat ditingkatkan. Metode pemisahan gas dengan metode adsorpsi pada kolom *fixed-bed* dinilai menjanjikan untuk pemisahan CO₂/CH₄ dibandingkan metode konvensional. Dengan demikian, pengetahuan terkait kinetika pemisahan dan perilaku dinamika pemisahan gas pada kolom *fixed-bed* dibutuhkan untuk desain proses dan optimisasi sistem adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh laju alir umpan dan ukuran partikel adsorben terhadap kinetika adsorpsi dan kinerja pemisahan gas pada kolom *fixed-bed*.

Karbon berpori dipreparasi dari *biochar* berbasis cangkang kelapa sawit dan diaktivasi menggunakan *steam* pada suhu 800 °C. Karbon berpori dikarakterisasi menggunakan N₂ sorption, FTIR, dan SEM untuk mempelajari struktur morfologi pori. Selanjutnya, pemisahan gas CO₂/CH₄ (45/55%) dilakukan di dalam kolom *fixed-bed* yang berisikan tumpukan karbon berpori berbasis cangkang kelapa sawit. Siklus pemisahan gas dan regenerasi adsorben dijalankan pada tekanan atmosferis, kondisi isothermal pada suhu 30 °C, laju alir umpan yang berbeda (50, 100, 150 mL.min⁻¹), dan ukuran partikel adsorben yang berbeda (376, 771, 1000 μm). Untuk mengevaluasi parameter kinetika gas dan mempelajari perilaku dinamika pemisahan gas pada kolom *fixed-bed* maka disusun model matematika. Untuk mempelajari kinetika adsorpsi, disusun model matematika dengan mengadopsi model transfer massa *linear driving force* (LDF). Sebagai pendukung data untuk simulasi model matematika, dilakukan pula percobaan kesetimbangan adsorpsi isothermal gas murni CO₂ dan CH₄ dengan metode *static volume* pada suhu 30 °C dan tekanan 0-120 kPa. Selain itu, mekanisme kinetika adsorpsi CO₂ pada karbon berpori berbasis cangkang kelapa sawit diinvestigasi menggunakan model difusi intrapartikel dan model difusi *film* Boyd.

Hasil karakterisasi material menunjukkan bahwa karbon berpori berbasis cangkang kelapa sawit yang dipreparasi pada penelitian ini memiliki karakteristik pori yang didominasi oleh mikropori dan banyak mengandung gugus oksigen pada permukaan porinya. Selanjutnya, hasil pemisahan pada kolom *fixed-bed* menunjukkan bahwa CO₂ dapat dipisahkan dari campuran CO₂/CH₄ menghasilkan CH₄ dengan kemurnian tinggi (> 98 %vol) menggunakan karbon berpori berbahan dasar cangkang kelapa sawit. Selain itu, model matematika yang disajikan pada penelitian ini dapat digunakan untuk memprediksi kurva *breakthrough*. Hasil analisis kinetika gas menunjukkan bahwa kinetika pemisahan CO₂/CH₄ semakin cepat dengan semakin meningkatnya laju alir umpan dan semakin kecilnya ukuran partikel adsorben. Disisi lain, hasil investigasi mekanisme kinetika adsorpsi menunjukkan bahwa kinetika adsorpsi tidak hanya dikontrol oleh proses difusi intrapartikel tetapi dikontrol juga oleh difusi *film* eksternal. Terakhir, hasil analisis kinerja pemisahan menunjukkan bahwa laju alir umpan rendah dan ukuran partikel adsorben rendah menghasilkan kapasitas kerja besar. Sementara laju alir umpan besar dan ukuran partikel adsorben rendah menghasilkan efisiensi pemisahan tinggi.

ABSTRACT

Carbon dioxide (CO₂) is the main impurity containing in biogas and natural gas. The high CO₂ content causes low combustion heat, corrosive, and causes excessive greenhouse gas emissions. Therefore, a purification unit is needed to separate CO₂ from natural gas and biogas so that its quality can be improved. The gas separation method using adsorption method in the fixed-bed column is considered promising for the separation of CO₂/CH₄ compared to conventional methods. Thus, knowledge regarding separation kinetics and dynamic behavior of gas separation in the fixed-bed column is required for process design and optimization of the adsorption system. This study aims to study the effect of the feed flowrate and the size of the adsorbent particles on the adsorption kinetics and gas separation performance in the fixed-bed column.

Porous carbon was prepared from palm kernel shell-based biochar based on oil palm and activated using steam at a temperature of 800 °C. Porous carbon was characterized using N₂ sorption, FTIR, and SEM to study its pore morphology. Furthermore, the separation of CO₂ / CH₄ (45/55%) was carried out in a fixed-bed column containing palm kernel shell-based porous carbon. The separation and regeneration cycles was conducted at atmospheric pressure, isothermal conditions at 30 °C, different feed flow rates (50, 100, and 150 mL.min⁻¹), and different sizes of adsorbent particles (376, 771, and 1000 μm). In order to evaluate the gas kinetics parameters and study the dynamic behavior of gas separation in the fixed-bed column, a mathematical model was developed by adopting the linear driving force (LDF) mass transfer model. Furthermore, an experiment of the isothermal adsorption equilibrium of pure gas CO₂ and CH₄ was carried out using static volume method at 30 °C and 0-120 kPa pressure. On the other hand, the mechanism of CO₂ adsorption on palm kernel shell-based porous carbon was investigated using the intraparticle diffusion model and the Boyd film diffusion model.

The characterization results showed that the palm kernel shell-based porous carbon prepared in this study had pore characteristics which were dominated by micropores and containing a lot of oxygen groups on the pore surface. Furthermore, the separation results on the fixed-bed column showed that CO₂ was separated from the CO₂ / CH₄ mixture producing CH₄ with high purity (> 98% vol) using porous carbon prepared from palm kernel shells. Furthermore, the mathematical model presented in this study can be used to predict the breakthrough curves. The results of the gas kinetics analysis showed that CO₂ / CH₄ separation kinetics were getting faster with increasing feed flow rate and the smaller the size of the adsorbent particles. On the other hand, the results of the investigation of the adsorption kinetics mechanism showed that the adsorption kinetics were not only controlled by the intraparticle diffusion process but also by external film diffusion at a specific time. Finally, the separation performance analysis showed that lower feed flow rate and smaller adsorbent particle size resulting in high adsorption working capacity. Meanwhile, higher feed flow rate and smaller adsorbent particle size resulting in high efficiency of separation.