

Peningkatan kebutuhan litium secara global, terutama untuk aplikasi baterai kendaraan listrik dan sistem penyimpanan energi, mendorong pencarian sumber litium alternatif yang lebih berkelanjutan. Sumber litium konvensional berbasis batuan keras menghadapi keterbatasan cadangan, konsumsi energi tinggi, serta dampak lingkungan yang signifikan. Dalam konteks ini, geothermal brine muncul sebagai sumber litium non-konvensional yang menjanjikan, khususnya bagi Indonesia yang memiliki potensi panas bumi besar dan tersebar luas. Namun, pemulihan litium dari geothermal brine memerlukan teknologi pemisahan yang selektif, stabil, dan efisien dalam kondisi kimia yang kompleks.

Disertasi ini berfokus pada sintesis dan pengembangan adsorben *lithium-ion sieve* berbasis titanium melalui pendekatan reaksi padat, serta modifikasi biopolimer kitosan sebagai agen stabilisasi struktural. Adsorben litium titanium oxide (Li_2TiO_3 , LTO) disintesis dari prekursor Li_2CO_3 dan TiO_2 dengan variasi rasio mol Li/Ti dan suhu kalsinasi. Proses delitiasi menggunakan larutan asam menghasilkan hydrogen titanium oxide (H_2TiO_3 , HTO) yang berfungsi sebagai adsorben aktif litium. Untuk meningkatkan stabilitas mekanik dan ketahanan siklus, HTO dimodifikasi menggunakan kitosan–gelatin sehingga diperoleh material CH–HTO.

Karakterisasi material dilakukan secara komprehensif menggunakan analisis termal (TGA–DSC), difraksi sinar-X (XRD), spektroskopi FTIR, mikroskopi SEM-EDX, analisis distribusi ukuran partikel, serta analisis luas permukaan dan distribusi pori (BET/BJH). Optimasi parameter sintesis dilakukan dengan Metodologi Permukaan Respons (RSM) untuk mengidentifikasi kombinasi kondisi operasi yang memaksimalkan kapasitas adsorpsi litium. Kinerja adsorpsi dievaluasi melalui studi isotherm, kinetika, pemodelan shrinking core model, serta pengujian siklus adsorpsi–desorpsi berulang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio Li/Ti dan suhu kalsinasi berpengaruh signifikan terhadap pembentukan fasa monoklinik LTO–HTO, karakteristik pori, dan luas permukaan spesifik. Modifikasi kitosan tidak mengubah struktur kristal utama adsorben, namun meningkatkan homogenitas morfologi, kestabilan pori, serta ketahanan terhadap pelindian titanium. Adsorben CH–HTO menunjukkan penurunan pelindian Ti hingga sekitar 1% selama siklus regenerasi, serta mempertahankan kapasitas adsorpsi litium yang lebih stabil dibandingkan HTO tanpa modifikasi. Analisis kinetika menunjukkan bahwa proses adsorpsi litium mengikuti model pseudo second order (PSO) dengan kontribusi gabungan antara reaksi kimia permukaan dan difusi intrapartikel.

Secara keseluruhan, disertasi ini menunjukkan bahwa integrasi kitosan sebagai stabilisator efektif meningkatkan performa, durabilitas, dan potensi aplikatif adsorben berbasis titanium. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dan teknologis bagi pengembangan proses pemulihan litium yang berkelanjutan dari geothermal brine, serta mendukung strategi hilirisasi mineral dan transisi energi di Indonesia.

The growing global demand for lithium, driven by electric vehicles and energy storage technologies, has increased interest in alternative and sustainable lithium resources. Conventional hard-rock lithium extraction is associated with limited reserves, high energy consumption, and environmental concerns. Geothermal brine represents a promising non-conventional lithium source, particularly for Indonesia, which has significant geothermal potential. However, efficient lithium recovery from geothermal brine requires selective and chemically stable separation materials.

This dissertation focuses on the synthesis and performance enhancement of titanium-based lithium-ion sieve adsorbents through chitosan biopolymer modification. Lithium titanium oxide (Li_2TiO_3 , LTO) was synthesized via a solid-state reaction using Li_2CO_3 and TiO_2 with variations in Li/Ti molar ratio and calcination temperature. Delithiation of LTO produced hydrogen titanium oxide (H_2TiO_3 , HTO) as the active lithium adsorbent. To improve structural integrity and cyclic stability, HTO was modified with chitosan–gelatin, resulting in chitosan-stabilized HTO (CH–HTO).

Comprehensive material characterization was conducted using TGA–DSC, XRD, FTIR, SEM-EDX, particle size analysis, and BET surface area measurements. Process optimization was performed using Response Surface Methodology (RSM) to evaluate the effects of synthesis parameters on lithium adsorption capacity. Adsorption performance was assessed through equilibrium isotherms, kinetic modeling, shrinking core analysis, and repeated adsorption–desorption cycles.

The results demonstrate that the Li/Ti molar ratio and calcination temperature significantly influence phase formation, pore structure, and specific surface area. Chitosan modification does not alter the primary crystal structure but markedly improves morphological uniformity, pore stability, and resistance to titanium leaching. The CH–HTO adsorbent exhibits titanium leaching below approximately 1% during extended regeneration cycles while maintaining higher and more stable lithium adsorption capacity than unmodified HTO. Kinetic analysis indicates that lithium adsorption follows a pseudo second order model with combined surface reaction and intraparticle diffusion control.

Overall, this study confirms that chitosan-stabilized titanium-based adsorbents provide enhanced performance and durability for lithium recovery from geothermal brine, offering a viable pathway toward sustainable lithium extraction and supporting energy transition and mineral downstreaming strategies in Indonesia.