

Peningkatan kebutuhan terhadap perangkat penyimpanan energi berkelanjutan mendorong pengembangan material elektroda berbasis biomassa yang memiliki kinerja elektrokimia tinggi. Cangkang kelapa sawit (CKS) merupakan limbah biomassa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai prekursor karbon berpori untuk aplikasi superkapasitor. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengevaluasi pengaruh penambahan *phytic acid* terhadap karakteristik fisikokimia serta kinerja elektrokimia material nanokomposit PANI-PA/C-CKS sebagai material elektroda superkapasitor. Pada penelitian ini, nanokomposit PANI-PA/C-CKS disintesis melalui *in-situ chemical oxidative polymerization* menggunakan rasio mol optimum PANI:PA sebesar 5:1 mol. *Phytic acid* (PA) digunakan sebagai dopan sekaligus *cross-linker* fisik ramah lingkungan untuk memodifikasi interaksi antarmuka antara polianilin (PANI) dan karbon berpori serta meningkatkan karakteristik elektrokimia material elektroda. Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Brunauer-Emmett-Teller* (BET), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Thermogravimetric Analysis* (TGA), pengukuran konduktivitas listrik, dan pengukuran sudut kontak mengonfirmasi terbentuknya nanokomposit melalui perubahan morfologi permukaan, keberadaan gugus fungsi khas dari masing-masing material penyusun, peningkatan stabilitas termal, serta perubahan karakteristik pembasahan material. Pengujian elektrokimia menggunakan metode *cyclic voltammetry* (CV) menunjukkan bahwa penambahan PA meningkatkan respons pseudokapasitif material elektroda yang ditandai oleh peningkatan luas kurva CV dan munculnya puncak redoks yang tetap dipertahankan pada berbagai *scan rate*, sehingga mengindikasikan reversibilitas reaksi redoks dan kinetika transfer muatan yang baik. Material nanokomposit PANI-PA/C-CKS dengan komposisi PANI sebesar 5 wt% menghasilkan kapasitansi spesifik sebesar 740,22 F g⁻¹ pada scan rate 5 mV s⁻¹, meningkat sekitar 52,43% dibandingkan material nanokomposit PANI/C-CKS dengan komposisi PANI yang sama tanpa penambahan PA yang memiliki kapasitansi spesifik sebesar 485,61 F g⁻¹. Selain itu, konduktivitas listrik meningkat dari 0,0339 menjadi 0,0439 S cm⁻¹, meskipun luas permukaan spesifik menurun menjadi 107,70 m² g⁻¹. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan PA sebagai dopan ramah lingkungan mampu secara efektif meningkatkan konduktivitas listrik dan kinerja elektrokimia material nanokomposit biomassa sehingga berpotensi diterapkan sebagai strategi pengembangan material elektroda superkapasitor berkelanjutan.

Kata kunci: nanokomposit PANI-PA/CKS, karbon berpori, *phytic acid*, superkapasitor

ABSTRACT

The increasing demand for sustainable energy storage devices has driven the development of biomass-derived electrode materials with high electrochemical performance. Palm kernel shells (PKS) are an abundant biomass waste that can potentially be utilized as a precursor for porous carbon in supercapacitor applications. This study aimed to synthesize and evaluate the effects of phytic acid (PA) incorporation on the physicochemical characteristics and electrochemical performance of PANI-PA/C-PKS nanocomposites as a supercapacitor electrode materials. The PANI-PA/C-PKS nanocomposites were synthesized via in-situ chemical oxidative polymerization using an optimum PANI:PA molar ratio of 5:1. PA was employed as an environmentally friendly dopant and physical cross-linker to modify the interfacial interactions between polyaniline (PANI) and porous carbon and to enhance the electrochemical properties of the electrode material. Characterization using Scanning Electron Microscopy (SEM), Brunauer -Emmet-Teller (BET) analysis, Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy, Thermogravimetric Analysis (TGA), electrical conductivity measurements, and water contact angle measurements confirmed the formation of the nanocomposites, as evidenced by changes in surface morphology, the presence of characteristic functional groups associated with the constituent materials, enhanced thermal stability, and alterations in surface wettability. Electrochemical evaluation using cyclic voltammetry (CV) demonstrated that PA incorporation enhanced the pseudocapacitive respons of the electrode material, as indicated by the increased CV curve area and the presence of redox peaks that were retained across various scan rates, suggesting reversible redox reactions and favorable charge-transfer kinetics. The PANI-PA/C-PKS nanocomposites containing 5 wt% PANI exhibited a specific capacitance of 740.22 F g^{-1} at a scan rate of 5 mV s^{-1} , representing an approximately 52.43% improvement compared with the PANI/C-PKS nanocomposites containing the same PANI loading without PA, which exhibited a specific capacitance 485.61 F g^{-1} . In addition, the electrical conductivity increased from 0.0339 to 0.0439 S cm^{-1} , despite a decrease in the specific surface area to $107.70 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. These results demonstrate that the incorporation of PA as an environmentally friendly dopant can effectively enhance the electrical conductivity and electrochemical performance of biomass-derived nanocomposites, highlighting its potential as a sustainable strategy for the development of high-performance supercapacitor electrode materials.

Keywords: PANI-PA/CKS nanocomposites, porous carbon, phytic acid, supercapacitor