

## INTISARI

Superkapasitor sebagai perangkat penyimpanan energi listrik yang dikenal juga dengan sebutan *ultracapacitor* atau *electrochemical capacitor*, menarik minat penelitian yang besar oleh para peneliti karena mampu menyediakan densitas daya yang relatif tinggi, stabilitas yang baik, masa pemakaian yang panjang, dan waktu *charging-discharging* yang relatif cepat. Elektroda merupakan salah satu komponen utama dari superkapasitor yang dapat memengaruhi performa penyimpanan secara keseluruhan. Material elektroda superkapasitor diharapkan memiliki luas permukaan yang besar, porositas yang tinggi, kapasitansi (kemampuan penyimpanan) yang tinggi, konduktivitas yang tinggi, stabilitas yang baik, dan juga biaya yang ekonomis. Material elektroda yang digunakan pada penelitian ini berupa kombinasi tiga material yaitu karbon berpori sebagai matriks,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , dan PANI sebagai terneri nanokomposit. Ada dua pendekatan metode dengan urutan/sistematika pendispersian yang berbeda untuk mensintesis terneri nanokomposit, yaitu (i) Metode 1: pendispersian oksida besi ke dalam karbon, dilanjutkan pendispersian PANI; dan (ii) Metode 2: pendispersian PANI ke dalam karbon, dan dilanjutkan oleh pendispersian oksida besi. Metode pendispersian PANI menggunakan Metode *In-Situ* Polimerisasi. Sedangkan metode pendispersian oksida logam melalui Metode *Incipient Wetness Impregnation*.

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa Metode yang terpilih yang menghasilkan terneri nanokomposit unggul sebagai material elektroda superkapasitor adalah dengan Metode 2. Pendekatan dengan menggunakan Metode 2 yang menghasilkan material C/ $\text{Fe}_{5\%}$ /PANI $_{5\%}$ -M.2 menunjukkan performa elektrokimia yang lebih stabil dalam uji stabilitas, kapasitansi yang lebih tinggi sebesar 214.49 F/g, kristalinitas yang tinggi sebesar 10.84% dan konduktivitas listrik yang tinggi 0.152 S/cm dibandingkan dengan material C/PANI $_{5\%}$ / $\text{Fe}_{5\%}$ -M.1 (Metode 1) yang memiliki kapasitansi sebesar 159.10 F/g, stabilitas yang rendah, kristalinitas yang rendah sebesar 5.90% dan konduktivitas listrik yang rendah sebesar 0.058 S/cm. Selanjutnya, hasil variasi komposisi optimal dari penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan PANI dengan menggunakan Metode 2 adalah pada material C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$ /PANI $_{2.5\%}$ . Material C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$ /PANI $_{2.5\%}$  memiliki kapasitansi spesifik sebesar 577.03 F/g pada laju pemindaian 5 mV/s. Adanya peningkatan konsentrasi Fe dan PANI dapat berkontribusi meningkatkan konduktivitas dan kapasitansi material. Material C/ $\text{Fe}_{2.5\%}$ , C/ $\text{Fe}_{5\%}$ , dan C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$  memiliki konduktivitas sebesar 0.053, 0.070, dan 0.071 S/cm; dan kapasitansi sebesar 161.96, 182.44, dan 216.67 F/g. Begitu juga, material C/PANI $_{2.5\%}$ , C/PANI $_{5\%}$ , dan C/PANI $_{7.5\%}$  mengalami peningkatan konduktivitas sebesar 0.059, 0.130, dan 0.154 S/cm, dan kapasitansi sebesar 150.00, 160.43, dan 162.50 F/g. Selanjutnya, pengaruh ultrasonik khususnya pada pendispersian Fe memungkinkan terjadi persebaran Fe yang lebih merata pada material C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$ /PANI $_{2.5\%}$ -Ultra dengan kapasitansi yang relatif besar yaitu 491.51 F/g pada laju pemindaian 5 mV/s dan spesifik *surface area* sebesar 386.89 m<sup>2</sup>/g. Sedangkan material C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$ /PANI $_{2.5\%}$  (sebagai material pembanding) dengan Metode *Incipient Wetness Impregnation* memiliki spesifik *surface area* sebesar 29.897 m<sup>2</sup>/g. Hal tersebut disebabkan adanya fenomena *pore blocking* yang dapat menurunkan spesifik *surface area*. Namun, material C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$ /PANI $_{2.5\%}$  menghasilkan kapasitansi yang tinggi sebesar 577.03 F/g pada laju pemindaian 5 mV/s. Adapun, material C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$ /PANI $_{2.5\%}$  memiliki derajat kristalinitas sebesar 12.18%, dan nilai konduktivitas sebesar 0.076 S/cm lebih tinggi daripada material C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$ /PANI $_{2.5\%}$ -Ultra yang memiliki derajat kristalinitas sebesar 11.78%, dan konduktivitas sebesar 0.074 S/cm.

Kata Kunci: Elektroda; Karbon Berpori; PANI;  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ; Superkapasitor

## ABSTRACT

Supercapacitors, also known as electrochemical capacitors, are electronic components used for electrical energy storage. These devices have gained significant research interest due to their ability to provide relatively high power density, good stability, long lifespan, and relatively fast charging-discharging times. Electrodes are crucial components of supercapacitors that can significantly influence overall storage performance. Electrode materials for supercapacitors are expected to have a large surface area, high porosity, high capacitance, high conductivity, good stability, and economical cost. The electrode material used in this research consists of a combination of three materials: porous carbon as the matrix,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , and PANI. There are two methodological approaches with different sequences for the dispersion process to synthesize the nanocomposite ternary: (i) the 1<sup>st</sup> Method involves dispersing iron oxide into carbon, followed by PANI dispersion; and (ii) the 2<sup>nd</sup> Method involves dispersing PANI, followed by iron oxide dispersion into the carbon pores. PANI dispersion is carried out using the *in-situ* polymerization method, while the metal oxide dispersion uses the *incipient wetness impregnation* method. The objective of this research is to evaluate the nanocomposite ternary method through both approaches. Evaluation includes testing capacitance and conductivity, along with characterization using various methods such as SEM,  $\text{N}_2$ -sorption, XRD, and FTIR. The superior electrode material from one of methods will be further investigated by varying the material composition. This research also explores the influence of the *incipient wetness impregnation* and ultrasonication methods in dispersing iron oxide.

Research results indicated that the selected method for producing superior nanocomposite ternary materials as supercapacitor electrode material is Method 2. The approach using Method 2, which yields C/ $\text{Fe}_{5\%}$ /PANI $_{5\%}$ -M.2 material, demonstrated more stable electrochemical performance in stability tests, higher capacitance at 214.49 F/g, higher crystallinity degree of 10.84%, and greater conductivity at 0.152 S/cm compared to C/PANI $_{5\%}$ / $\text{Fe}_{5\%}$ -M.1 material with Method 1, which has a capacitance of 159.10 F/g, low stability, low crystallinity degree of 5.90% and conductivity of 0.058 S/cm. The optimal composition with the addition of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and PANI using Method 2 was in C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$ /PANI $_{2.5\%}$  material with a specific capacitance of 577.03 F/g at a scan rate of 5 mV/s. The increased concentration of Fe and PANI contributes to enhancing the conductivity and capacitance of the material. C/ $\text{Fe}_{2.5\%}$ , C/ $\text{Fe}_{5\%}$ , and C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$  materials had conductivities of 0.053, 0.070, and 0.071 S/cm, and capacitances of 161.96, 182.44, and 216.67 F/g, respectively. Similarly, C/PANI $_{2.5\%}$ , C/PANI $_{5\%}$ , and C/PANI $_{7.5\%}$  materials as binary nanocomposites experience increased conductivity at 0.059, 0.130, and 0.154 S/cm, and capacitances of 150.00, 160.43, and 162.50 F/g. The influence of ultrasonication, especially in the dispersion of Fe, allowed more uniform distribution of Fe in C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$ /PANI $_{2.5\%}$ -Ultra material with a relatively large capacitance of 491.51 F/g at a scan rate of 5 mV/s and a specific surface area of 386.89  $\text{m}^2/\text{g}$ . Meanwhile, C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$ /PANI $_{2.5\%}$  material with the Incipient Wetness Impregnation Method has a specific surface area of 29.897  $\text{m}^2/\text{g}$ . This was due to phenomena such as pore blocking or stacking that can reduce the specific surface area. However, C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$ /PANI $_{2.5\%}$  material produced a high capacitance of 577.03 F/g at a scan rate of 5 mV/s, a crystallinity degree of 12.18% and a conductivity value of 0.076 S/cm, which is higher than the C/ $\text{Fe}_{7.5\%}$ /PANI $_{2.5\%}$ -Ultra material with a crystallinity degree of 11.78% and conductivity of 0.074 S/cm.

Keywords: Electrode; Porous Carbon;  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ; PANI; Supercapacitor