

INTISARI

Perkembangan nanoteknologi telah membuka peluang baru dalam rekayasa material, terutama dalam pengembangan sistem pelapis (coating) berskala nano dengan performa perlindungan tinggi. Inovasi ini menjadi kunci krusial dalam mengatasi korosi sebuah ancaman destruktif yang terus merugikan berbagai sektor industri akibat degradasi logam. Bersamaan dengan itu, dunia juga dihadapkan pada urgensi penanganan limbah panel surya fotovoltaik (PV) yang volumenya semakin melonjak. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{PV}$ menggunakan metode sol-gel sebagai aditif pada coating anti-korosi pelindung logam.

Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{PV}$ disintesis menggunakan metode sol-gel melalui pencampuran prekursor Titanium isopropoxide (TTIP), Tetraethyl orthosilicate (TEOS), dan serbuk limbah PV secara terkontrol hingga diperoleh sol yang homogen. Proses sintesis ini melibatkan reaksi hidrolisis dan kondensasi untuk membentuk jaringan oksida logam, kemudian dilanjutkan dengan pengeringan selama 17 jam dan kalsinasi 3 jam. Material yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi menggunakan transmission electron microscopy (TEM) untuk mengamati morfologi, ukuran partikel, dan struktur kristal. Selain itu, scanning electron microscopy–energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS) digunakan untuk mengetahui komposisi serta distribusi unsur dalam nanokomposit. Performa coating dievaluasi melalui uji daya rekat adhesi dan uji laju korosi menggunakan metode Tafel pada tiga media korosif, yaitu NaCl 3,5%, HCl 2%, dan KOH 2,5%.

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{PV}$ berhasil terbentuk dengan ukuran partikel berada pada rentang 1–100 nm. Struktur kristal yang terbentuk menunjukkan fase anatase TiO_2 , yang ditandai dengan jarak kisi 0,35 nm pada bidang kristal (101). Hasil SEM-EDS pada formulasi TSP5 juga menunjukkan bahwa unsur-unsur dari limbah PV berhasil terintegrasi ke dalam matriks komposit, dengan komposisi 36 wt% O, 23 wt% Ti, 19 wt% Si, 16 wt% Nb, dan 7 wt% C. Penggunaan nanokomposit ini sebagai aditif coating mampu meningkatkan daya rekat hingga kategori 4A–4B dan menurunkan laju korosi secara signifikan. Efisiensi perlindungan yang diperoleh mencapai 99,88% pada NaCl 3,5%, 99,78% pada HCl 2%, dan 99,34% pada KOH 2,5%. Hasil ini menunjukkan bahwa coating $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{PV}$ memiliki kemampuan yang baik dalam melindungi permukaan logam, baik melalui mekanisme penghalang fisik maupun kestabilan kimia terhadap penetrasi ion-ion korosif.

Kata Kunci: Nanoteknologi, Korosi, Limbah Fotovoltaik, Coating, Adhesi, Metode Sol-Gel.

ABSTRACT

Advances in nanotechnology have opened up new opportunities in materials engineering, particularly in the development of nano-scale coating systems with high protective performance. These innovations are crucial in addressing corrosion—a destructive threat that continues to cause significant damage across various industrial sectors due to metal degradation. At the same time, the world is also facing the urgent need to manage photovoltaic (PV) solar panel waste, the volume of which is rapidly increasing. Therefore, this study aims to synthesize and characterize $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{PV}$ nanocomposites using the sol-gel method as additives in anti-corrosion coatings for metal protection.

The $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{PV}$ nanocomposite was synthesized using the sol-gel method by mixing the precursors titanium isopropoxide (TTIP), tetraethyl orthosilicate (TEOS), and PV waste powder in a controlled manner until a homogeneous sol was obtained. This synthesis process involved hydrolysis and condensation reactions to form a metal oxide network, followed by drying for 17 hours and calcination for 3 hours. The resulting material was then characterized using transmission electron microscopy (TEM) to observe its morphology, particle size, and crystal structure. In addition, scanning electron microscopy–energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS) was used to determine the composition and elemental distribution within the nanocomposite. Coating performance was evaluated through adhesion strength tests and corrosion rate tests using the Tafel method in three corrosive media: 3.5% NaCl, 2% HCl, and 2.5% KOH.

The characterization results indicate that the $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{PV}$ nanocomposite was successfully formed with particle sizes ranging from 1 to 100 nm. The resulting crystal structure exhibits the TiO_2 anatase phase, characterized by a lattice spacing of 0.35 nm on the (101) crystal plane. SEM-EDS results for the TSP5 formulation also showed that elements from PV waste were successfully integrated into the composite matrix, with a composition of 36 wt% O, 23 wt% Ti, 19 wt% Si, 16 wt% Nb, and 7 wt% C. The use of this nanocomposite as a coating additive can improve adhesion to the 4A–4B category and significantly reduce the corrosion rate. The protection efficiency achieved was 99.88% in 3.5% NaCl, 99.78% in 2% HCl, and 99.34% in 2.5% KOH. These results indicate that the $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{PV}$ coating demonstrates excellent ability to protect metal surfaces, both through physical barrier mechanisms and chemical stability against the penetration of corrosive ions.

Keywords: Nanotechnology, Corrosion, Photovoltaic Waste, Coating, Adhesion, Sol-Gel Method.