

## INTISARI

Kendala utama dalam ekstraksi energi termal pada sistem pembangkit listrik energi panas bumi (PLTP) adalah fenomena deposisi silika (*silica scaling*) pada alat sistem perpipaan dan penukar panas (*heat exchanger*), yang mengakibatkan penurunan efisiensi termal, korosi, dan gangguan operasional. Studi kasus di PLTP Dieng menunjukkan dampak kritisnya, di mana konsentrasi silika > 1000 ppm menyebabkan permasalahan operasional sehingga meningkatkan biaya operasi. Upaya untuk mengatasi *bottleneck* operasional ini, penelitian ini mengusulkan pengembangan pelapisan fungsional nanokomposit hibrida berbasis matriks epoksi yang diperkuat dengan nanopartikel anorganik silikon dioksida (SiO<sub>2</sub>) dan titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>). Pelapis ini dirancang untuk memberikan stabilitas termokimia dan sifat hidrofobisitas yang baik guna menghambat nukleasi dan adhesi deposit silika pada permukaan logam.

Penelitian sintesis pelapis nanokomposit dilakukan melalui *functionalization* permukaan nanopartikel dan dispersi homogen dalam resin epoksi. Aplikasi lapisan pada substrat logam dioptimalkan menggunakan teknik *spray coating* dengan kontrol parameter operasional kerak. Komposisi nanofiller (SiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>) dalam matriks epoksi divariasikan secara sistematis mengikuti rancangan campuran dari *mixture design of experiment* untuk mengidentifikasi formula optimal. Karakterisasi performa mencakup evaluasi multidimensi mulai dari sifat mekanis, stabilitas termal, ketahanan kimia. Sifat permukaan dan analisis morfologi dari material pelapis juga dilakukan.

Berdasarkan karakterisasi eksperimental, pelapisan nanokomposit hibrid epoksi/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> terbukti efektif menekan deposisi silika melalui mekanisme sinergis antara sifat hidrofobik superior (kenaikan WCA 93,2% menjadi 143,47°) dan morfologi permukaan teroptimasi (Ra 10,152 nm). Formulasi optimal menunjukkan peningkatan signifikan properti mekanis dengan kekuatan adhesi 6,83 MPa dan kekerasan 82,17 Shore D, didukung stabilitas termal unggul (residu 50% berat pada TGA). Dari hasil pengujian yang dilakukan, *coating* ini mampu mengurangi laju *scaling silica* secara konsisten, sekaligus mempertahankan integritas struktural, sehingga menjanjikan aplikasi praktis untuk mitigasi deposisi pada sistem perpipaan geothermal.

Kata kunci: Nanocomposite coatings; epoxy; SiO<sub>2</sub>; TiO<sub>2</sub>; silica scaling

## ABSTRACT

*The main challenge in thermal energy extraction in geothermal power plant systems is the phenomenon of silica deposition (silica scaling) on piping system and heat exchangers, which leads to reduced thermal efficiency, corrosion, and operational disruptions. A case study at the Dieng Geothermal Power Plant demonstrates its critical impact, where silica concentrations exceeding 1000 ppm resulted in operational problem where finally increases the operational cost. To address this operational bottleneck, this study proposes the development of a functional hybrid nanocomposite coating based on a thermosetting epoxy matrix reinforced with inorganic SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> nanoparticles. This coating is designed to provide thermochemical stability and good hydrophobicity to inhibit the nucleation and adhesion of silica deposits on metal surfaces.*

*The synthesis of nanocomposite coatings was carried out through surface functionalization of nanoparticles and homogeneous dispersion in epoxy resin. The application of the coating on metal substrates was optimized using spray coating techniques with strict control of operational parameters. The composition of nanofillers (SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>) in the epoxy matrix was systematically varied following a mixture design of experiment to identify the optimal formula. Performance characterization included multidimensional evaluation of mechanical properties, thermal stability, chemical resistance, surface properties, and morphological analysis.*

*Based on experimental characterization, epoxy/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> hybrid nanocomposite coatings proved to effectively suppress silica deposition through a synergistic mechanism between superior hydrophobic properties (93.2% increase in WCA to 143.47°) and optimized surface morphology (Ra 10.152 nm). The optimized formulation showed significant improvement in mechanical properties with adhesion strength of 6.83 MPa and hardness of 82.17 Shore D, supported by superior thermal stability (50% residual by weight on TGA). Over all, the coating was able to consistently reduce silica scaling rates, while maintaining structural integrity, thus promising practical applications for deposition mitigation in geothermal piping systems.*

*Keywords: Nanocomposite coatings; epoxy; SiO<sub>2</sub>; TiO<sub>2</sub>; silica scaling*