UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Studi Komparatif dan Optimalisasi Pelapisan Hybrid Nanocomposite Epoksi/PTFE/CNT terhadap Anti-Silica Scaling pada Aplikasi Perpipaan Panas Bumi
Yurian Ariandi Andrameda, Prof. Dr. Ir. Kusmono, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng. ; Dr. Ir. Khasani, ST, M.Eng, IPM., A
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Indonesia memiliki potensi energi panas bumi yang besar, tetapi pengembangannya terhambat oleh masalah *silica scaling* pada perpipaan, yang sangat parah di PLTP Geo Dipa Energi Dieng dengan laju penebalan mencapai 3,09 cm/tahun dan mengakibatkan penurunan kapasitas pembangkit dari 60 MW menjadi 42 MW. Untuk mengatasi keterbatasan pelapis epoksi konvensional, penelitian ini berfokus pada pengembangan dan optimasi pelapisan *hybrid nanocomposite* Epoksi/PTFE/CNT. Kombinasi *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) dan *Carbon Nanotubes* (CNT) dipilih karena berpotensi memberikan sifat unggul yang dibutuhkan untuk menahan lingkungan geotermal yang ekstrem.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium untuk mensintesis pelapisan *nanocomposite* pada substrat baja karbon melalui teknik *spray coating*. Komposisi pelapisan dioptimalkan menggunakan metode statistik RSM-CCD untuk meminimalkan laju *Silica Scaling* (SSR). Kinerja *anti-scaling* dievaluasi pada kondisi *supersaturasi* silika yang bervariasi, meniru simulasi PLTP Dieng. Karakterisasi material mencakup berbagai pengujian penting, seperti *Water Contact Angle* (WCA), kekuatan Adhesi (*Pull-Off*), sifat Termal (TGA-DSC), dan ketahanan Korosi (EIS), sementara morfologi endapan divalidasi dengan FESEM-EDX, XRD, dan FT-IR.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa formulasi optimal, Komposisi ANOVA (D) dengan 40% PTFE dan 0,678% CNT, berhasil meminimalkan SSR. Pelapisan ini sangat efektif, mencapai penurunan SSR tertinggi sebesar 65,08% dan tetap efektif dalam kondisi *supersaturasi* tinggi. Peningkatan efektivitas ini didukung oleh modifikasi material yang superior: WCA melonjak 78,0% (mencapai 139,238∘) yang menciptakan permukaan *ultra-low adhesion*, dan kekuatan adhesi mekanis meningkat 240,2% (mencapai 8,59 MPa). Selain itu, ketahanan korosi luar biasa (94,05%) dan stabilitas termal yang tinggi menjamin daya tahan jangka panjang pelapisan dalam lingkungan operasi panas bumi.

Kata Kunci : Silica Scaling, Geotermal, Nanocomposite, RSM-CCD, Anti-scaling

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Studi Komparatif dan Optimalisasi Pelapisan Hybrid Nanocomposite Epoksi/PTFE/CNT terhadap Anti-Silica Scaling pada Aplikasi Perpipaan Panas Bumi
Yurian Ariandi Andrameda, Prof. Dr. Ir. Kusmono, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng. ; Dr. Ir. Khasani, ST, M.Eng, IPM., A
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Indonesia possesses vast geothermal energy potential, yet its development is hampered by silica scaling issues in pipelines. This problem is particularly severe at the Geo Dipa Dieng Geothermal Power Plant, where the fouling rate reaches 3.09 cm/year, reducing the plant's capacity from 60 MW to 42 MW. To overcome the limitations of conventional epoxy coatings, this research focuses on the development and optimization of a hybrid nanocomposite Epoxy/PTFE/CNT coating. The combination of Polytetrafluoroethylene and Carbon Nanotubes was selected for its potential to deliver superior properties necessary to withstand the extreme geothermal environment and solve the scaling challenge.

The study employed laboratory experimental methods to synthesize the nanocomposite coating on carbon steel substrates using a spray coating technique. The coating's composition was optimized using the statistical RSM-CCD method to minimize the Silica Scaling Rate. The anti-scaling performance was evaluated under various silica supersaturation conditions, simulating the actual operational environment of the Dieng PLTP. Material characterization involved several crucial tests, including Water Contact Angle (WCA), Adhesion strength (Pull-Off), Thermal properties (TGA-DSC), and Corrosion resistance (EIS). Furthermore, the morphology was observed by FE-SEM-EDX, supported by XRD and FT-IR data.

The main results demonstrate that the optimal formulation, ANOVA Composition (D), featuring 40% PTFE and 0.678% CNT, successfully minimized the SSR. This optimal coating proved highly effective in scaling mitigation, achieving the highest SSR reduction of 65.08% and remaining effective under high supersaturation conditions. This increased effectiveness is supported by superior material modifications: the WCA surged by 78.0% (reaching 139.238∘), creating an ultra-low adhesion surface, while the mechanical adhesion strength increased by 240.2% (reaching 8.59 MPa). Additionally, the excellent corrosion resistance (94.05% reduction compared to bare steel) and high thermal stability guarantee the long-term durability of the coating in the geothermal operating environment.

Keywords: Silica Scaling, Geothermal, Nanocomposite, RSM-CCD, Anti-scaling