

## INTISARI

*Methylene blue* merupakan salah satu limbah tekstil yang sering menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Untuk menanggulangi hal tersebut, teknologi adsorpsi dikembangkan untuk mengolah limbah *methylene blue* tersebut. Salah satu teknologi adsorpsi untuk mengolah senyawa tersebut adalah silika nanopartikel. Silika nanopartikel memberikan berbagai keuntungan seperti mudah bereaksi, kestabilan fisik, dan kemampuan penyerapan *methylene blue* yang tinggi. Diantara banyak senyawa silika, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> merupakan senyawa yang layak digunakan karena kapasitas adsorpsi yang tinggi dan kemudahan regenerasi. Penelitian ini melakukan investigasi sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> nanopartikel dengan menggunakan metode *co-precipitation* sonikasi untuk digunakan sebagai adsorben *methylene blue*. Metode sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> melibatkan beberapa langkah: preparasi larutan silika dari limbah silika geotermal, sintesis nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dari pasir besi alami melalui metode *co-precipitation* sonikasi, dan modifikasi silika menggunakan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Adapun variasi penelitian yang digunakan adalah variasi perbandingan Fe:Si yaitu 1:1 dan 1:2, serta variasi waktu pengadukan yakni 2, 6, 18, 21, dan 24 jam. Produk yang dihasilkan, dianalisis menggunakan XRD, FTIR, PSA, SEM, BET, VSM, zeta potensial dan uji adsorpsi *methylene blue*. Terlihat dari spektrum FTIR pada peak 541-574 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya ikatan Si-O-Si. Hasil XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal yang didapat berkisar 14.36 – 28.79 nm. Pada hasil PSA, produk yang terbentuk memiliki ukuran 51.2—211.8 nm. Ditinjau dari analisis zeta potensial, didapat Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> yang paling stabil memiliki nilai muatan -49.1 mV. Luas permukaan yang terbentuk berkisar 10.357 – 52.410 m<sup>2</sup>/g. Adapun kekuatan magnet yang didapat berkisar 48.98 - 67.22 emu/g dengan jenis magnet adalah *soft-ferromagnetic*. Nilai A, E<sub>a</sub>, ΔH, dan ΔS pada proses adsorpsi secara berturut-turut adalah: 297303.621; 45174.129 J/mol; -76769.465 J/mol; dan -228.940 J/mol. Nilai ΔG pada suhu 303, 313, dan 323 K berturut-turut adalah -7400.484; -5111.078; -2821.673 J/mol. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan massa silika menghasilkan ukuran partikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> yang lebih besar dan memberikan kestabilan yang lebih tinggi dibandingkan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Uji adsorpsi *methylene blue* dapat dilakukan dengan kapasitas maksimum 20.99 mg/g adsorben dan proses adsorpsi mengikuti mekanisme Langmuir.

Kata kunci: adsorpsi, pasir besi, nanopartikel, dan silika

## *ABSTRACT*

Methylene blue is one of the textile wastes that often causes environmental pollution issues. To address this, adsorption technology has been developed to treat methylene blue waste. One adsorption technology for treating this compound involves silica nanoparticles. Silica nanoparticles offer various benefits, such as ease of reactivity, physical stability, and a high adsorption capacity for methylene blue. Among the many silica compounds, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> is a suitable choice due to its high adsorption capacity and ease of regeneration. This study investigates the synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> nanoparticles using the sonication co-precipitation method to be used as methylene blue adsorbents. The synthesis method for Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> involves several steps: preparing a silica solution from geothermal silica waste, synthesizing Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles from natural iron sand using the sonication co-precipitation method, and modifying silica with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. The study variations include Fe:Si ratios of 1:1 and 1:2 and stirring times of 2, 6, 18, 21, and 24 hours. The resulting product was analyzed using XRD, FTIR, PSA, SEM, BET, VSM, zeta potential, and methylene blue adsorption testing was conducted. The FTIR spectrum showed peaks at 541-574 cm<sup>-1</sup>, indicating the presence of Si-O-Si bonds. XRD results indicated crystal sizes ranging from 14.36 to 28.79 nm. PSA analysis showed particle sizes between 51.2 and 211.8 nm. Zeta potential analysis indicated that the most stable Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> had a charge value of -49.1 mV. The surface area ranged from 10.357 to 52.410 m<sup>2</sup>/g. The magnetic strength ranged from 48.98 to 67.22 emu/g, with a soft-ferromagnetic type. The values of A, E<sub>a</sub>, ΔH, and ΔS for the adsorption process were 297303.621, 45174.129 J/mol, -76769.465 J/mol, and -228.940 J/mol, respectively. ΔG values at temperatures of 303, 313, and 323 K were -7400.484, -5111.078, and -2821.673 J/mol, respectively. The study showed that increasing the silica mass results in larger Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> particle sizes and provides higher stability compared to Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> alone. The methylene blue adsorption test demonstrated a maximum capacity of 20.99 mg/g of adsorbent, and the adsorption process follows the Langmuir mechanism.

Keywords: adsorption, iron sand, nanoparticles, and silica