

EFEKTIVITAS ZEOLIT ALAM-TiO₂/Fe₂O₃ DAN IRRADIASI ULTRAVIOLET DALAM PENURUNAN KONSENTRASI CAMPURAN METILEN BIRU DAN Cr(VI)

D. P. Darmawan, I N. Simpen*, dan I W. Sudiarta

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia

**Email: nengahsimpen@unud.ac.id*

Article Received on: 12th December 2024

Revised on: 15th July 2025

Accepted on: 27th July 2025

ABSTRAK

Industri tekstil merupakan salah satu penghasil limbah cair yang mengandung berbagai zat warna sintetik dan logam yang sulit terurai seperti halnya metilen biru dan Cr(VI), sehingga dapat mengganggu ekosistem perairan. Penurunan konsentrasi campuran metilen biru dan Cr(VI) menggunakan zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ dengan irradiasi ultraviolet dilakukan dalam penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi, waktu penyinaran, dan pH optimum terhadap penurunan konsentrasi campuran metilen biru dan Cr(VI) dengan zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃. Zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ yang disintesis dikarakterisasi luas permukaan spesifik secara BET, gugus fungsi dengan FTIR, dan jumlah situs aktif permukaan secara titrasi asam-basa. Karakteristik optimum diperoleh luas permukaan spesifik zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ (3:1) sebesar 16,902 m²/g, dan jumlah situs aktif sebesar 7,7171×19²⁰ situs/gram. Hasil analisis gugus fungsional zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ menunjukkan adanya puncak khas yang teridentifikasi untuk zeolit alam pada bilangan gelombang 3636,56 cm⁻¹; 1654,47 cm⁻¹; dan 1055,10 cm⁻¹, puncak spesifik TiO₂ pada 797,60 cm⁻¹ dan Fe₂O₃ pada 496,69 cm⁻¹. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi optimum diperoleh pada perbandingan konsentrasi 1:1, waktu irradiasi 10 menit, dan pH 8 dan 4. Efektivitas penurunan konsentrasi metilen biru dan Cr(VI) 50 ppm menggunakan irradiasi sinar ultraviolet yaitu sebesar 99,98% dan 99,60%. Zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ dikategorikan efektif dalam menurunkan konsentrasi campuran metilen biru dan Cr(VI).

Kata kunci: Cr(VI), metilen biru, irradiasi ultraviolet, zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃

ABSTRACT

Textiles are one of the producers of liquid waste that contains synthetic dyes and metals, such as methylene blue and Cr(VI), which are difficult to decompose and can disrupt aquatic ecosystems. This research investigated the reduction of a mixture of methylene blue and Cr(VI) using natural zeolite-TiO₂/Fe₂O₃ with ultraviolet irradiation. This research aimed to determine the optimum concentration, irradiation time, and pH for reducing the concentration of a mixture of methylene blue and Cr(VI) with natural zeolite-TiO₂/Fe₂O₃. The specific surface area of the synthesized natural zeolite-TiO₂/Fe₂O₃ was characterized by BET, the functional groups by FTIR, and the number of surface-active sites using acid-base titration. The optimum characteristics of the synthesized natural zeolite-TiO₂/Fe₂O₃(3:1) were the specific surface area of 16.902 m²/g, and the number of surface-active sites of 7.7171×1920 sites/gram. The results of the functional groups analysis showed that a typical peak was identified for natural zeolite at a wave number of 3636.56 cm⁻¹, 1654.47 cm⁻¹, and 1055.10 cm⁻¹, respectively, and the specific peaks of TiO₂ at 797.60 cm⁻¹ and Fe₂O₃ at 496.69 cm⁻¹. The research results showed that the optimum concentration was obtained at a concentration ratio of 1:1, irradiation time of 10 minutes, and pH of 8 and 4. The effectiveness of reducing the concentration of methylene blue and Cr(VI) of 50 ppm using ultraviolet irradiation was 99.98% and 99.60%, respectively. Natural zeolite-TiO₂/Fe₂O₃ was categorized as effective in reducing the concentration of a mixture of methylene blue and Cr(VI).

Keywords: Cr(VI), methylene blue, ultraviolet irradiation, natural zeolite-TiO₂/Fe₂O₃

PENDAHULUAN

Industri tekstil salah satu sektor yang mengalami pertumbuhan pesat di Indonesia. Namun, perkembangan ini juga membawa

tantangan serius berupa pencemaran lingkungan, terutama di ekosistem perairan. Limbah yang dihasilkan, yang sering kali diakibatkan oleh penggunaan bahan pewarna, termasuk dalam kategori limbah cair yang berwarna dan sulit

terurai secara biologis (Purnawan, 2011). Limbah cair berwarna dimungkinkan mengandung metilen biru dan/atau ion kromium heksavalen (Cr(VI)).

Salah satu metode yang efektif untuk mengatasi permasalahan limbah zat warna metilen biru dan tercemar oleh Cr(VI) adalah melalui proses adsorpsi. Metode ini dipilih karena mudah dioperasikan, memiliki efisiensi yang tinggi, serta biaya yang rendah. Selain itu, metode adsorpsi tidak menimbulkan dampak yang berbahaya (Fu *et al.*, 2016). Adsorpsi merupakan tahapan, dimana molekul-molekul yang dikenal sebagai adsorbat terikat pada permukaan zat lain yang disebut adsorben. Proses ini terjadi karena terdapat interaksi tarik menarik antara kedua zat tersebut. Salah satu terobosan dalam pengembangan adsorben adalah pemanfaatan sumber daya alam mineral yang memiliki keunggulan yaitu penjerapan tinggi, mudah diperoleh dan harga terjangkau, serta tersedia dalam jumlah yang melimpah salah satunya adalah zeolit alam (Lu *et al.*, 2016).

Zeolit alam adalah mineral yang melimpah dan memiliki potensi besar, namun pemanfaatannya masih belum optimal. Zeolit alam umumnya memiliki tingkat kristalinitas yang relatif cukup rendah, ukuran pori yang bervariasi secara signifikan, serta aktivitas adsorpsi dan/atau katalitik yang tidak terlalu tinggi dan di samping itu juga kandungan pengotor masih relatif tinggi. Meskipun demikian, zeolit alam memiliki keunggulan berupa luas permukaan dan keasaman permukaan yang dapat dimodifikasi dengan mudah (Lestari, 2010). Metode yang digunakan untuk memaksimalkan masa aktif pemanfaatan zeolit alam yaitu memodifikasi zeolit alam dengan senyawa TiO₂ (Saber *et al.*, 2011). Hal ini disebabkan oleh TiO₂ melimpah di alam, harganya terjangkau, dan tidak beracun serta memiliki energi gap yang relatif besar (3,2 eV) (Joshi dan Shirivastva, 2010). Selain itu, TiO₂ dikenal sebagai memiliki material yang memiliki stabilitas termal yang baik dan dapat digunakan berkali kali tanpa kehilangan aktivitas adsorpsi dan/atau katalitiknya (Fatimah *et al.*, 2009).

Selain TiO₂, besi (III) oksida (Fe₂O₃) merupakan salah satu senyawa oksidasi besi yang paling banyak ditemukan. Oksida besi Fe₂O₃ merupakan material semikonduktor konvensional yang pada umumnya berupa ion dioksida. Oksida besi Fe₂O₃ merupakan material fotokatalis yang dikategorikan aktif bersifat semikonduktor dengan memiliki *band gap* 2,2 eV yang lebih

rendah dari TiO₂. Material bersifat fotokatalis Fe₂O₃ apabila menerima energi yang melebihi ambang energi celah pita, elektron yang terdapat pada pita valensi akan berpindah ke pita konduksi (Batista *et al.*, 2010), sehingga berpotensi lebih menguatkan ketika digabungkan dengan TiO₂. Oleh karena itu, penggunaan Fe₂O₃ pada zeolit alam-TiO₂ untuk membentuk zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ bertujuan untuk mengoptimalkan kemampuan dalam penurunan konsentrasi campuran metilen biru dan Cr(VI), akibat situs aktif permukaan material bertambah. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk mengurangi pencemaran lingkungan terutama pada lingkungan perairan akibat limbah pewarna sintetis.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan yaitu zeolit alam, TiO₂, Fe₂O₃, metilen biru, K₂CrO₇, aquades, etanol, HCl, NaOH, H₂SO₄, indikator PP (*phenolphthalein*), aseton, dan C₁₃H₁₄N₄O (difenilkarbazida).

Peralatan

Alat yang digunakan terdiri dari berbagai alat laboratorium dari kaca, pipet volume, pH meter model ISTEK 720, corong, pipet ukur, filler, pipet tetes, aluminium foil, oven, tanur, ayakan 200 mesh, buret, klem dan statif, batang pengaduk, plastik hitam, timbangan analitik, pengaduk magnetik, kotak radiasi, lampu Philips TUV 15 W/G15 T8 dengan panjang gelombang 253,47 nm dipasang pada ketinggian 20 cm dari sampel, kertas saring Whatman No 41, Spektrofotometer UV-Vis 1800 Shimadzu, Centrifuge IEC HN-SII, dan Spektrofotometer *Fourier Transform Infra-Red* (FT-IR) Shimadzu IRPrestige-21.

Cara Kerja

Aktivasi Zeolit Alam

Zeolit alam sebanyak 100 g yang lolos ayakan 200 mesh ditambahkan aquades 1000 mL pada gelas Beaker dan dihomogenkan menggunakan pengaduk magnet selama 3 sampai 4 jam. Setelah itu disaring dan dipanaskan pada suhu 110°C. Tambahkan 1000 mL asam sulfat 2 M, kemudian diaduk selama 14 hingga 16 jam, selanjutnya cuci beberapa kali dan dikeringkan pada suhu 120°C, kemudian ayak kembali pada ayakan 200 mesh.

Sintesis Zeolit Alam-TiO₂/Fe₂O₃

Zeolit alam dan TiO₂ perbandingan 100:5 digabungkan dan ditanur pada temperatur 350°C selama 12 jam. Kemudian, zeolit alam-TiO₂ yang terbentuk diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Selanjutnya, zeolit alam-TiO₂ dicampur secara padat dengan Fe₂O₃ rasio 1:3, 1:1, dan 3:1, kemudian ditambahkan 10 mL etanol dan dihomogenkan, lalu ditanur kembali pada temperatur 400°C, selama 1 jam.

Karakterisasi Situs Asam-Basa Permukaan

Untuk menentukan situs basa 0,5 g sampel zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ sebanyak 10,0 mL HCl 0,5 M ditambahkan pada Erlenmeyer 250 mL dan diaduk selama 15 menit menggunakan pengaduk magnet. Setelah itu 3 sampai 4 tetes indikator PP ditambahkan dan dilakukan titrasi dengan NaOH 0,5 M hingga dari tidak berwarna menjadi merah muda. Untuk menghitung situs basa zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ menggunakan Persamaan 1.

$$K_{\text{basa}} = \frac{(\text{mmol HCl awal} - \text{mmol HCl bebas})}{\text{Massa komposit}} \quad (1)$$

Selanjutnya, untuk membuktikan situs asam ditambahkan sebanyak 0,5 g zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ ke Erlenmeyer 250 mL, setelah itu ditambahkan 10,0 mL NaOH dan 3 sampai 4 tetes indikator PP. Titrasi dengan HCl 0,5 M hingga terjadi perubahan dari merah muda menjadi tidak berwarna. Untuk menghitung situs asam zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ digunakan Persamaan 2.

$$K_{\text{asam}} = \frac{(\text{mmol NaOH awal} - \text{mmol NaOH bebas})}{\text{Massa komposit}} \quad (2)$$

Penentuan Konsentrasi Optimum

Lima gelas Beaker berukuran 250 mL ditambahkan 100 mL campuran metilen biru dan Cr(VI) dan 0,5 g zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ pada variasi konsentrasi yaitu 1:0; 1:1; 1:3; 3:1; dan 0:1, pada konsentrasi 50 ppm. Lima gelas Beaker diiradiasi selama 2 jam dan diaduk menggunakan magnetik stirrer kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 3500 rpm selama 10 menit. Filtrat diuji absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 664,0 nm dan 542,0 nm. Nilai konsentrasi campuran metilen biru dan Cr(VI) dimasukkan ke dalam persamaan 3.

$$(\% \text{Penurunan konsentrasi}) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\% \quad (3)$$

Penentuan Waktu Penyinaran Optimum

Tujuh gelas Beaker berukuran 250 mL diisi dengan larutan campuran metilen biru dan Cr(VI) 100 mL dengan konsentrasi optimum yang telah didapat dan 0,5 g zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃. Tujuh gelas Beaker dimasukkan ke dalam kotak iradiasi dengan variasi penyinaran selama 5, 10, 20, 40, 80, 100, dan 120 sambil diaduk dengan magnetik stirrer. Filtrat disentrifugasi dikecepatan 3500 rpm dengan waktu 10 menit. Filtrat diukur absorbansi pada panjang gelombang 664,0 nm dan 542,0 nm dengan spektrofotometer UV-vis. Nilai waktu dari campuran metilen biru dan Cr(VI) dimasukkan ke dalam Persamaan (3).

Penentuan pH Optimum

Delapan gelas Beaker berukuran 250 mL diisi dengan 100 mL larutan campuran metilen biru dan Cr(VI) dengan konsentrasi dan waktu optimum yang telah diperoleh dan ditambahkan 0,5 g zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ dengan variasi pH 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 dengan ditambahkan HCl 0,5 M atau NaOH 0,5 M larutan tersebut diaduk hingga homogen. Setelah itu, larutan dimasukkan ke dalam kotak iradiasi dan diiradiasi sambil terus diaduk menggunakan stirrer. Filtrat disentrifugasi dengan kecepatan 3500 rpm dengan waktu 10 menit. Filtrat diukur absorbansi pada panjang gelombang 664,0 nm dan 542,0 nm dengan spektrofotometer UV-vis. Nilai pH dari campuran metilen biru dan Cr(VI) dimasukkan pada Persamaan (3).

Efektivitas Penurunan Konsentrasi pada Kondisi Optimum

Dua buah gelas Beaker berukuran 250 mL dibalut plastik hitam, kemudian ditambahkan campuran metilen biru dan Cr(VI) 100 mL, kemudian ditambahkan zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ dengan konsentrasi dan pH optimum kemudian dimasukkan ke dalam kotak dengan waktu optimum sambil diaduk dengan magnetik stirrer. Satu gelas Beaker yang tersisa diperlakukan dengan cara yang sama tetapi tanpa iradiasi. Nilai kondisi optimum selanjutnya dimasukkan ke dalam Persamaan (3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas Permukaan Spesifik

Luas permukaan spesifik adalah rasio antara luas permukaan dengan volume atau berat suatu material. Ukuran partikel dapat memberikan pengaruh terhadap nilai luas permukaan spesifik yang signifikan (Sarah *et al.*, 2017). Hasil pengukuran luas permukaan zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ dilakukan metode BET menggunakan alat SAA disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Luas Permukaan Spesifik Zeolit Alam-TiO₂/Fe₂O₃

Komposit	Luas permukaan (m ² /g)
1 : 0	19,893
1 : 1	8,248
1 : 3	7,940
3 : 1	16,902

Berdasarkan data dalam Tabel 1, luas permukaan spesifik zeolite alam-TiO₂/Fe₂O₃ tertinggi pada perbandingan (3:1) yaitu 16,902 m²/g. Luas permukaan spesifik menurun secara signifikan, ketika dilakukan penambahan Fe₂O₃. Luas permukaan yang tinggi akan diduga dapat meningkatkan kemampuan untuk mengadsorpsi campuran metilen biru dan Cr(VI) semakin tinggi.

Asam-Basa Permukaan

Keasaman dan kebasaan permukaan material mengacu pada jumlah situs aktif asam atau basa Bronsted serta Lewis yang ada di permukaan tersebut. Nilai ini menyatakan dalam satuan milimol asam atau basa per gram material adsorben dan/atau katalis (Oktapiani *et al.*, 2021). Hasil penentuan asam-basa permukaan serta jumlah situs aktif disajikan pada Tabel 2.

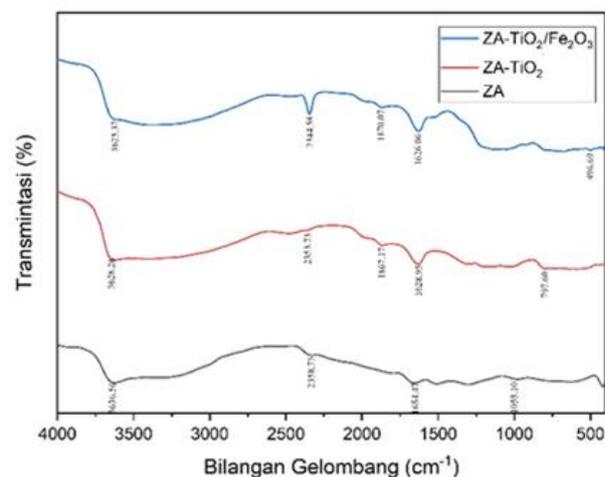
Hasil penentuan keasaman-kebasaan permukaan zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ (Tabel 2), meunjukkan bahwa situs asam-basa tertinggi terdapat pada zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ (3:1) dengan keasaman permukaan 1,2819±0,0291 mmol/g dan jumlah situs aktif basa sebanyak 7,7171×10²⁰ situs/gram. Peningkatan jumlah situs aktif akan mampu untuk membantu proses adsorpsi dan/atau proses katalitik. Semakin tinggi kemampuan adsorpsi zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ terhadap cam-puran metilen biru dan Cr(VI) maka dapat pula memperbesar peluang menurunnya konsentrasi campuran metilen biru dan Cr(VI) serta meningkatkan kapasitas adsorpsi dan/atau kemampuan katalitiknya.

Tabel 2. Nilai Keasamaan Permukaan dan Jumlah Situs Aktif

Sampel	Keasamaan Permukaan (mmol/gram)	Jumlah Situs Aktif Asam (situs/gram)
Zeolit alam – TiO ₂	1,0995±0,0500	6,6190×10 ²⁰
Zeolit alam-TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ (1:1)	0,7513±0,0500	4,5225×10 ²⁰
Zeolit alam-TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ (1:3)	0,6186±0,0291	3,7239×10 ²⁰
Zeolit alam-TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ (3:1)	1,2819±0,0291	7.7171×10 ²⁰

Gugus Fungsi

Spektrofotometer *Infra-Red* digunakan untuk menentukan gugus fungsi dari zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃. Hasil analisis disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektra FTIR

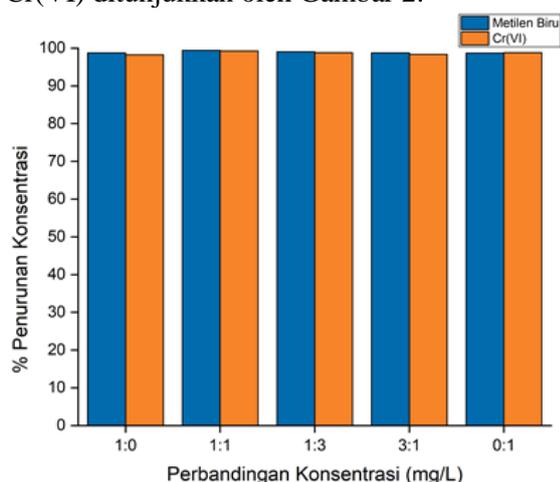
- (a). zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ 1:0
- (b). zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ 1:1
- (c). zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ 1:3
- (d). zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ 3:1

Spektra FTIR menunjukkan bilangan gelombang sekitar 3600 cm⁻¹ merupakan -OH regang (*stretching*) yang dapat mengalami pergeseran akibat perlakuan panas (Setiyawan *et*

al., 2020). Puncak khas zeolite alam terdeteksi pada daerah 3636,56 cm⁻¹; 1654,47 cm⁻¹; dan 1055,10 cm⁻¹. Puncak serapan khas TiO₂ juga muncul pada bilangan gelombang 797 cm⁻¹ ini memperlihatkan adanya ikatan vibrasi Ti-O yang merupakan karakteristik dari TiO₂ (Kongsong *et al.*, 2014). Bilangan gelombang 496,69 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi pada ikatan Fe-O, yang terdapat pada bilangan gelombang antara 400-500 cm⁻¹ (Uddin *et al.*, 2007).

Konsentrasi Optimum Efektivitas Penurunan Konsentrasi

Konsentrasi optimum merujuk pada tingkat tertinggi larutan yang diperlukan untuk mencapai persentase maksimal penurunan konsentrasi campuran metilen biru dan Cr(VI). Konsentrasi zeolit-alam-TiO₂/Fe₂O₃ optimum untuk penurunan konsentrasi campuran metilen biru dan Cr(VI) ditunjukkan oleh Gambar 2.



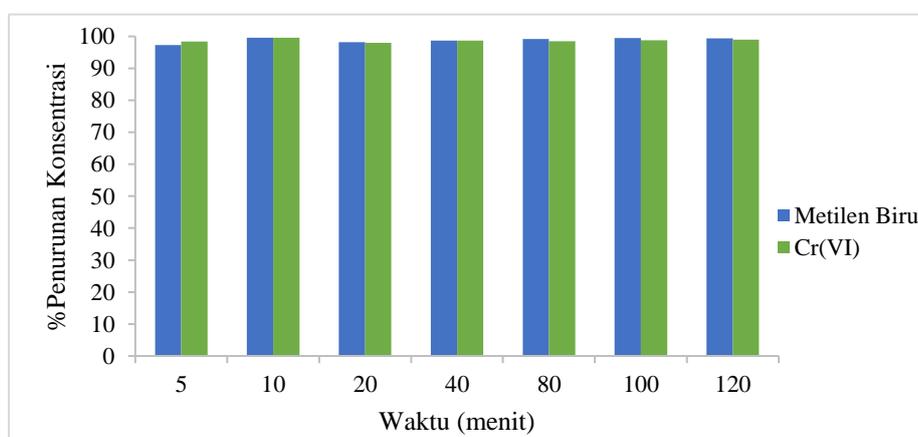
Gambar 2. Kurva hubungan konsentrasi dengan persentase (%) penurunan konsentrasi

Hasil optimasi konsentrasi menunjukkan bahwa penurunan persentase konsentrasi dapat disebabkan oleh kejenuhan zeolit-alam-TiO₂/Fe₂O₃ (3:1) yang digunakan sebagai adsorben pada proses pengadsorpsi larutan campuran metilen biru dan Cr(VI) pada perbandingan 1:3; 3:1; dan 0:1. Berdasarkan data hasil optimasi konsentrasi, perbandingan 1:1 dengan konsentrasi 50 mg/L dengan penurunan konsentrasi yaitu 99,42% dan 99,26 dipilih sebagai konsentrasi optimum karena persentase penurunan konsentrasi larutan campuran metilen biru dan Cr(VI) tertinggi dan relatif konstan.

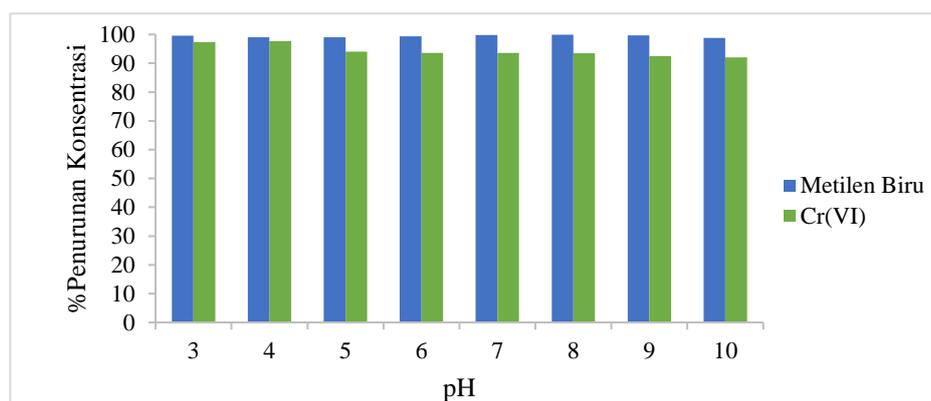
Waktu Penyinaran Optimum Efektivitas Penurunan Konsentrasi

Waktu merupakan salah satu faktor krusial dalam proses adsorpsi. Penentuan pengaruh waktu kontak bertujuan untuk mengidentifikasi waktu optimum untuk penyerapan campuran metilen biru dan Cr(VI) zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃. Hasil disajikan pada Gambar 3.

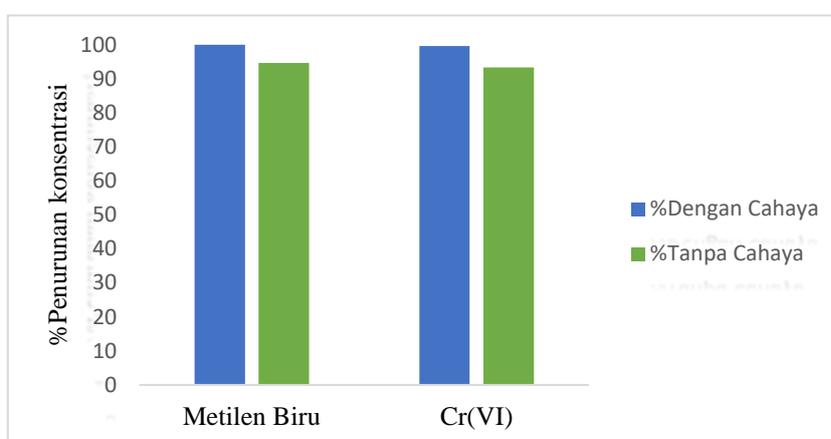
Berdasarkan Gambar 3, menunjukkan bahwa waktu kontak optimum penyerapan campuran metilen biru dan Cr(VI) yaitu 10 menit sebesar 99,61% dan 99,60%. Hal ini kemungkinan disebabkan akibat kemampuan zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ dalam mengadsorpsi campuran metilen biru dan Cr(VI) telah mencapai titik optimum. Dalam menentukan waktu kontak optimum, penting untuk diperhatikan bahwa semakin lama durasi adsorpsi, efek kestabilan listrik dapat terhalangi. Hal ini menyebabkan kapasitas adsorpsi cenderung menurun setelah waktu kontak optimum tercapai (Pauzan *et al.*, 2019).



Gambar 3. Kurva hubungan waktu penyinaran dengan persentase penurunan konsentrasi



Gambar 4 Kurva hubungan pH dengan persentase (%) penurunan konsentrasi



Gambar 5 Persentase efektivitas penurunan konsentrasi pada kondisi optimum

pH Optimum Efektivitas Penurunan Konsentrasi

Nilai pH optimum merupakan kondisi pH larutan yang digunakan untuk menentukan pH optimum terhadap penurunan metilen biru dan Cr(VI) kondisi pH larutan yang digunakan untuk menentukan pH optimum terhadap penurunan metilen biru dan Cr(VI) oleh zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃. Hubungan antara nilai pH dengan persentase penurunan konsentrasi ditunjukkan pada Gambar 4.

Campuran metilen biru dan Cr(VI) lebih mudah terserap pada pH 8 dan pH 4. Proses adsorpsi menunjukkan bahwa metilen biru teradsorpsi dalam suasana basa, sementara ion Cr(VI) lebih efisien teradsorpsi dalam suasana asam. Dalam kondisi asam, permukaan TiO₂ memiliki muatan positif, sedangkan di lingkungan basa, muatan permukaan TiO₂ menjadi negatif. Metilen biru yang bermuatan positif akan mudah teradsorpsi pada permukaan Fe³⁺ yang bermuatan positif, adsorpsi meningkat karena adanya interaksi elektostatik antara metilen biru dan

partikel Fe³⁺ (Yunani *et al.*, 2018). Selain itu, kapasitas penyerapan ion Cr(VI) mencapai efisiensi maksimum pada pH 4, Hal ini disebabkan oleh kehadiran ion Cr(VI) dalam bentuk anion di lingkungan asam, yang memungkinkan ion tersebut membentuk berbagai spesies, seperti CrO₄²⁻, HCrO₄⁻ atau Cr₂O₇²⁻ bergantung pada pH konsentrasi medium dan total Cr(VI) (Ren *et al.*, 2019). Berdasarkan uraian tersebut, pH 8 dan 4 menjadi pH kerja optimum untuk penyerapan campuran larutan metilen biru dan Cr(VI) oleh zeolit alam- TiO₂/Fe₂O₃ (3:1) dengan persentase penurunan konsentrasi sebesar 99,86% dan 97,64%.

Efektivitas Penurunan Konsentrasi pada Kondisi Optimum

Penurunan konsentrasi larutan campuran metilen biru dan Cr(VI) 1:1 (50 mg/L) dengan zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ (3:1) pada kondisi optimum, dengan irradiasi sinar ultraviolet maupun tanpa irradiasi sinar ultraviolet. Kondisi optimum yang dimaksud adalah untuk setiap 100

mL larutan campuran metilen biru dan Cr(VI) 1:1 dengan konsentrasi 50 mg/L diirradiasi selama 10 menit pada pH 8 dan pH 6. Hasil efektivitas penurunan konsentrasi pada kondisi optimum ditampilkan pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan bahwa persentase penurunan konsentrasi oleh zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ dengan cahaya didapatkan persentase 99,98% dan 99,60% dan tanpa sinar iradiasi didapatkan persentase 94,60% dan 93,35%. Persentase yang diperoleh menunjukkan bahwa selisih nilai persentase yang diperoleh relatif kecil. Penurunan konsentrasi metilen biru disebabkan oleh ukuran pori-pori zeolit yang efektif saat menyerap polutan. Molekul-molekul polar yang terdapat pada zeolit memiliki interaksi yang lebih kuat dibandingkan dengan molekul non-polar, seperti senyawa organik. Oleh karena itu, zeolit lebih condong untuk mengadsorpsi molekul non-polar (Slamet *et al.*, 2010). Dengan adanya TiO₂ dan lampu UV membuktikan ketika TiO₂ mendapatkan sinar dari lampu UV reaksi terjadi yang menyebabkan loncatan elektron dari pita valensi, proses ini berinteraksi dengan H₂O dan menghasilkan radikal hidroksil, yang berfungsi sebagai penurunan zat warna metilen biru (Islammiyati *et al.*, 2022). Penurunan kadar ion Cr(VI) terjadi karena struktur zeolit yang memiliki rongga menyebabkan kation atau molekul yang berukuran sama atau lebih kecil dari rongga tersebut dapat masuk dan terperangkap di dalamnya. TiO₂ dan Fe₂O₃ memiliki peranan, hal ini kemungkinan dikarenakan adanya pembentukan •OH radikal dalam jumlah yang sangat besar atau dihilangkannya polutan dalam medium.

SIMPULAN

Konsentrasi optimum penurunan konsentrasi campuran metilen biru dan Cr(VI) oleh zeolit alam-TiO₂/Fe₂O₃ (3:1) terjadi pada perbandingan konsentrasi 1:1 dengan persentase penurunan konsentrasi metilen biru dan Cr(VI) sebesar 99,26% dan 99,42%, untuk waktu iradiasi optimum terjadi pada menit ke-10 sebesar 99,60% dan 99,61%, dan pH optimum terjadi pada pH 8 dan pH 4 dengan persentase penurunan konsentrasi sebesar 99,86% dan 97,64%. Persentase penurunan konsentrasi campuran metilen biru dan Cr(VI) pada kondisi optimum sebesar 99,98% dan 99,60%.

DAFTAR PUSTAKA

- Batista, A.P. L., Carvalho, H. W., Luz, G. H. P., Martins, P. F. Q., Goncalves, M., and Oliveira, L. C. A. O. 2010. Preparation of CuO/SiO₂ and Photocatalytic Activity by Degradation of Methylene Blue. *Environ Chem Lett.* 8: 63-67.
- Fatimah, I., Sugiharto, E., Wijaya, K., Tahir, I., dan Kamalia. 2009. Titan Dioksida Terdispersi pada Zeolit Alam (TiO₂/Zeolit) dan Aplikasinya untuk Fotodegradasi Congo Red. *Indonesian Journal of Chemistry.* 6(1):38-42.
- Fu, J., Xin, Q., Wu, X., Chen, Z., Yan, Y., Liu, S., Wang, M. and Xu, Q. 2016. Selective adsorption and separation of organic dyes from aqueous solution on polydopamine microspheres. *J. Colloid Interface Science.* 461: 292-304.
- Islammiyati, A., Azwar, A., dan Asri, A. 2022. Studi Pengaruh Penyinaran Lampu Ultraviolet pada Kinerja Fotodegradasi Metilen Biru Berfotokatalis TiO₂. *Jurnal Prisma Fisika.* 10(3): 430-435.
- Joshi, K.M. and Shirivastva, V. S. 2010. Removal of Hazardious Textile dyes From Aqueous Solution by Using Commercial Activated Carbon with TiO₂ and ZnO as Photocatalyst. *International Journal of Chem Tech Research.* 2:427-435.
- Kongsong, P., Sikong, L., Niyomwas, S. dan Rachpech, V. Photocatalytic Antibacterial Performance of Glass Fibers Thin Film Coated with N-Doped SnO₂/TiO₂. *The Scientific World Journal.* 1-9.
- Lestari, D.Y. 2010. *Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. Prosiding Seminar Nasional Kimia.* Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Lu, X., Wang, F., Li, X., Shih, K., and Zeng, E.Y. 2016. Adsorption and thermal stabilization of Pb²⁺ and Cu²⁺ by zeolite. *Industrial and Engineering Chemistry Research.* 55(32): 8767-8773.
- Oktapiani, N.K.A., Simpen, IN., dan Negara, IM.S. 2021. Fotodegradasi Rhodamin B Oleh Katalis Zeolit Alam-TiO₂/ZnO Dan Irradiasi Sinar Tampak. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry).* 15(1):94-100.
- Pauzan, M.A.B., Puteh, M.H., Yuzir, A., Othman, M.H.D., Wahab, R.A., and Abideen, M.Z. 2019. Optimizing ammonia removal from landfill leachate using natural and synthetic

- zeolite through statically designed experiment. *Arabian J. for Science and Engineering*. 45:3657-3669.
- Purnawan. C., Patiha., A.A, and Qodri. 2011. Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow Fg Dengan Fotokatalis Komposit TiO₂/SiO₂. *Jurnal Ekosains*. III (1):17-23.
- Saber, A., Rasul, M. G., Matens, W. N., Brown, R., and Hashib M. A. 2011. Advances in Heterogeneous Photocatalytic Degradation of Phenols and Dyes in Wastewater: A Review. *Water, Air, & Soil Pollution*. 215 (1): 3-29.
- Sarah, S., Nuraidah, S., dan Feranie, S. 2017. Hubungan Rentang Ukuran Butir Terhadap Besaran Batuan. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2017*. 6: 89-94.
- Slamet., Ellyana, M., dan Bismo, S. 2008. Modifikasi zeolit alam Lampung dengan Fotokatalis TiO₂ melalui Metode Sol Gel dan Aplikasinya untuk Penyisihan Fenol. *Jurnal Teknologi*. 22(1): 59-68.