

Pengaruh Surfaktan pada Sintesis Nikel(II) Oksida (NiO) dengan Metode Presipitasi untuk Penanganan Metilen Biru Secara Fotokatalisis

DIANI KUSUMANINGRUM¹, EKO PRABOWO HADISANTOSO¹, DAN TETY SUDIARTI^{1*}

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung,
Jl. A.H. Nasution No.105 A Cipadung Cibiru, Bandung Jawa Barat

*email korespondensi: diani4194@gmail.com

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci: NiO; surfaktan; fotokatalisis; metilen biru</p>	<p>Nikel(II) Oksida dengan rumus kimia NiO merupakan bentuk utama dari oksida Nikel yang diklasifikasikan sebagai oksida logam dasar. NiO nanopartikel dapat diaplikasikan di berbagai bidang, di antaranya untuk sensor gas, superkapasitor, bahan magnet, semikonduktor, katalis, katoda baterai, anoda sel bahan bakar oksida padat, dan obat-obatan. NiO dapat diaplikasikan sebagai semikonduktor fotokatalis dalam mendegradasi limbah pewarna organik, salah satunya Metilen Biru. Pada studi kali ini, telah dilakukan sintesis NiO melalui metode presipitasi menggunakan NiSO₄ sebagai prekursor dan NaOH sebagai agen pengendap. Sintesis NiO dilakukan dengan variasi: tanpa surfaktan (NiO-1), penambahan surfaktan PEG (NiO-2) dan surfaktan SDS (NiO-3), yang mana penambahan surfaktan dilakukan untuk memperkecil ukuran partikel. Padatan yang diperoleh dikalsinasi pada suhu 800°C selama 2 jam untuk menghasilkan NiO. Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa NiO memiliki fasa kubik dengan ukuran kristal Rata-rata NiO-1 adalah 26,6156 nm, NiO-2 adalah 24,1996 nm, dan NiO-3 adalah 20,8941 nm. Morfologi NiO dianalisis menggunakan SEM dan diperoleh bahwa ukuran partikel Rata-rata NiO-1 adalah 89,453 – 99,278 nm, NiO-2 adalah 44,060 – 66,046 nm dan NiO-3 adalah 60,695 – 88,867 nm. NiO-2 dan NiO-3 yang diberi penambahan surfaktan PEG dan SDS memiliki ukuran partikel Rata-rata yang lebih kecil. Pengaruh penambahan surfaktan juga terlihat pada hasil analisis BET di mana luas permukaan spesifik NiO-1 sebesar 15,582 m²/g lebih kecil dibanding NiO-2 yang sebesar 24,023 m²/g dan NiO-3 sebesar 19,286 m²/g. Untuk aplikasi penanganan Metilen Biru secara fotokatalisis, NiO-2 dan NiO-3 memiliki kinerja yang lebih baik sebagai fotokatalis dibandingkan NiO-1. Adapun kondisi optimum dari NiO dalam mendegradasi Metilen Biru adalah dengan massa 125 mg, waktu penyinaran selama 4 jam, dengan konsentrasi Metilen Biru 5 ppm dan sumber sinar dari sinar matahari.</p>
<p>Keywords: NiO; Surfactant; Photocatalysis; Methylene Blue</p>	<p><i>classified as base metal oxide. NiO nanoparticles can be applied in various fields, including for gas sensors, supercapacitors, magnetic materials, semiconductors, catalysts, battery cathodes, solid oxide fuel cell anodes, and medicine. NiO can be applied as a photocatalyst semiconductor in degrading organic dye waste, one of which is Methylene Blue. In this study, NiO synthesis was carried out through precipitation method using NiSO₄ as a precursor and NaOH as a precipitating agent. Synthesis of NiO was carried out with variations: without surfactant (NiO-1), addition of PEG surfactant (NiO-2) and SDS surfactant (NiO-3), in which the addition of surfactant was carried out to reduce particle size. The solid obtained was calcined at 800 °C for 2 hours to produce NiO. The results of characterization using XRD show that NiO has a cubic phase with the average crystal size of NiO-1 is 26.6156 nm, NiO-2 is 24.196 nm, and NiO-3 is 20.8941 nm. NiO morphology was analyzed using SEM and it was found that the average particle size of NiO-1 was 89.453 - 99.278 nm, NiO-2 was 44.060 - 66.046 nm and NiO-3 was 60.695 - 88.867 nm. NiO-2 and NiO-3 given the addition of PEG and SDS surfactants had smaller mean particle sizes. The effect of surfactant addition was also seen in the results of BET analysis where the specific surface area of NiO-1 was 15.582 m² / g smaller than NiO-2 which was 24.023 m² / g and NiO-3 was 19.286 m² / g. For the photocatalytic application of Methylene Blue, NiO-2 and NiO-3 have better performance as photocatalysts than NiO-1. The optimum conditions for NiO to degrade Methylene Blue are 125 mg mass, 4 hours irradiation time, 5 ppm Methylene Blue concentration and sunlight source.</i></p>

PENDAHULUAN

Nanomaterial telah menarik perhatian karena memiliki sifat mekanik, elektronik, magnet, termal, katalitik, dan sifat optik yang unik dan ternyata lebih baik dibandingkan bentuk material massal atau *bulk*-nya. Dalam beberapa tahun terakhir telah terjadi peningkatan minat dalam sintesis oksida logam nanopartikel, hal ini karena oksida logam berukuran nano memiliki luas permukaan yang besar yang menyebabkannya memiliki kelebihan sifat-sifat nanomaterial yang telah disebutkan. Di antara banyaknya oksida logam nanopartikel, salah satu yang menarik perhatian adalah NiO [1].

NiO adalah senyawa yang menarik perhatian karena memiliki banyak manfaat di berbagai bidang, di antaranya untuk sensor gas, superkapasitor, bahan magnet, semikonduktor, katalis, katoda baterai, anoda sel bahan bakar oksida padat, dan obat-obatan [2]. NiO dapat diaplikasikan sebagai semikonduktor fotokatalis dalam mendegradasi limbah pewarna organik. Di mana limbah pewarna organik bila dibiarkan dapat membahayakan baik lingkungan dan kesehatan hingga menyebabkan kanker [3]

Salah satu limbah pewarna organik yang membahayakan adalah Metilen Biru. Penggunaan Metilen Biru oleh industri khususnya industri tekstil banyak menghasilkan limbah yang tidak boleh langsung dibuang ke badan air. Metilen Biru yang dibuang akan terdegradasi adanya sinar matahari, namun hal ini akan sulit terjadi. Karena kadar warna pada Metilen Biru sangat tinggi dan sinar ultraviolet (UV) dari matahari yang sampai ke permukaan bumi relatif rendah sehingga akumulasi zat warna ke dasar perairan atau tanah lebih cepat daripada fotodegradasinya [4].

Ada berbagai metode yang telah dikembangkan untuk menyintesis senyawa NiO. Tentunya dari berbagai metode yang dikembangkan ini tak lain adalah untuk mencari metode yang ramah lingkungan, biaya murah dan mudah yang nantinya dapat diaplikasikan. [1].

Salah satu metode sintesis NiO nanopartikel yang sederhana dan biaya murah adalah presipitasi. Metode presipitasi menjadi metode yang menarik karena keuntungan dari prosesnya yang sederhana, biaya rendah, suhu reaksi rendah, dan hasil yang tinggi. Metode ini juga terbukti menjadi yang paling efektif untuk menyintesis NiO dari prekursorinya [5].

Sintesis NiO nanomaterial dibutuhkan hasil dengan struktur dan morfologi yang baik serta ukuran partikel yang sekecil mungkin. Surfaktan telah dibuktikan dapat berpengaruh pada sintesis nanomaterial karena mampu memperkecil ukuran partikel. Surfaktan dapat menurunkan ukuran partikel NiO hingga kurang dari 50 nm [6]. Dengan begini, surfaktan akan dapat meningkatkan luas permukaan NiO dan meningkatkan juga kualitasnya dalam aplikasi sebagai fotokatalis.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka pada penelitian ini akan dilakukan sintesis NiO nanopartikel melalui metode presipitasi dengan variasi penambahan surfaktan untuk aplikasi dalam penanganan Metilen Biru secara fotokatalisis.

EKSPERIMEN

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh NiO nanopartikel dari prekursor NiSO₄ melalui metode presipitasi. NiO yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan Brunauer-Emmett-Teller (BET). Kemudian NiO diaplikasikan sebagai semikonduktor fotokatalis untuk penurunan intensitas zat warna Metilen Biru.

Material

Bahan-bahan yang diperlukan untuk penelitian ini di antaranya, Nikel(II) Sulfat (NiSO₄) teknis, Natrium Hidroksida (NaOH) p.a, Barium Klorida (BaCl₂) p.a, Polietilen Glikol (PEG 6000) p.a, *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) komersil, Metilen Biru, Akuades, dan kertas saring.

Instrumentasi

Instrumentasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa dan struktur kristal dari NiO hasil sintesis, *Scanning Electron Microscope* (SEM) JEOL JSM 6360 LA untuk mengetahui morfologi permukaan kristal NiO, Brunauer-Emmett-Teller (BET) dengan alat *Specific Surface Area and Pore Analyzer* Nova 2200e untuk mengetahui luas permukaan spesifik NiO, dan Spektrofotometer UV-Vis Cary 60 Agilent Technologies untuk mengukur konsentrasi zat

warna Metilen biru setelah dilakukan proses fotokatalisis.

Prosedur

Penelitian ini akan dilakukan dalam tiga tahap, tahap pertama sintesis NiO nanopartikel melalui metode presipitasi, tahap kedua karakterisasi NiO nanopartikel dan tahap ketiga aplikasi NiO untuk penurunan intensitas zat warna Metilen Biru secara fotokatalisis.

Sintesis NiO Nanopartikel

Sintesis NiO dilakukan sebanyak 3 variasi, NiO-1 tanpa penambahan surfaktan, NiO-2 dengan penambahan surfaktan PEG, dan NiO-3 dengan penambahan surfaktan SDS. Untuk sintesis NiO-1, sebanyak 250 mL larutan NaOH 1,2 M dimasukkan ke dalam buret 50 mL lalu ditambahkan ke dalam 250 mL larutan NiSO₄ 0,536 M tetes demi tetes hingga habis sambil dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 1000 rpm di suhu ruang.

Untuk sintesis NiO-2, sebanyak 4 g surfaktan PEG ditambahkan ke dalam 250 mL larutan NaOH 1,2 M kemudian dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 1000 rpm di suhu ruang. Kemudian sebanyak 250 mL larutan NiSO₄ 0,536 M dimasukkan ke dalam buret 50 mL lalu ditambahkan tetes demi tetes hingga habis ke dalam 250 mL larutan NaOH 1,2 M yang telah ditambahkan 4 g surfaktan PEG. Prosedur yang sama dilakukan juga untuk NiO-3 dengan penambahan surfaktan SDS.

Endapan Ni(OH)₂ yang terbentuk dipisahkan dan dicuci sampai bebas sulfat dan filtratnya memiliki pH di sekitar netral. Kandungan pengotor Sulfat pada filtrat diuji dengan menambahkan larutan BaCl₂ pada filtrat sampai tidak terbentuk lagi endapan putih. Kemudian padatan Ni(OH)₂ yang sudah bersih dikeringkan di dalam oven pada suhu 70°C selama 24 jam. Padatan yang sudah kering lalu dikalsinasi dengan suhu 800°C selama 2 jam.

Karakterisasi NiO Nanopartikel

Struktur kristal NiO nanopartikel hasil sintesis dengan 3 variasi dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, dipelajari morfologinya menggunakan *Scanning Electron*

Microscope (SEM), dan diukur luas permukaan spesifiknya menggunakan teori Brunauer-Emmett-Teller (BET).

Aplikasi Fotokatalis NiO untuk Penurunan Intensitas Zat Warna Metilen Biru

NiO hasil sintesis kemudian diaplikasikan sebagai fotokatalis untuk penurunan intensitas zat warna Metilen Biru. Adapun untuk mengetahui kinerjanya, dilakukan pengujian pada variasi massa NiO, variasi waktu penyinaran, variasi konsentrasi Metilen Biru, dan variasi sumber sinar.

Pembuatan Kurva Kalibrasi Metilen Biru

Sebanyak 0,1 g Metilen Biru ditimbang lalu dilarutkan dalam labu takar 100 mL untuk membuat larutan induk 1000 ppm. Larutan induk 1000 ppm diencerkan untuk membuat larutan baku 100 ppm. Kemudian larutan baku 100 ppm diencerkan untuk membuat larutan baku 10 ppm. Dari larutan baku 10 ppm dibuat deret standar 1, 2, 3, 4 dan 5 ppm dalam labu takar 25 mL. Metilen Biru 3 ppm diukur untuk menentukan panjang gelombang maksimum (λ_{max}) menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan pada rentang 400-800 nm. Panjang gelombang maksimum tersebut digunakan untuk mengukur absorbansi deret standar.

Penurunan Intensitas Zat Warna Variasi Massa NiO

NiO nanopartikel hasil sintesis masing-masing variasi ditimbang sebanyak 25, 50, 75, 100, dan 125 mg kemudian masing-masing dimasukkan ke dalam botol vial dan ditambahkan 10 mL Metilen Biru 10 ppm, kemudian disinari dengan sinar tampak selama 180 menit. Residu NiO dipisahkan dari filtrat dengan sentrifugasi. Setelah itu dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang maksimumnya dengan Spektrofotometer UV-Vis. Percobaan dilakukan secara duplo.

Penurunan Intensitas Zat Warna Variasi Waktu Penyinaran

NiO nanopartikel hasil sintesis masing-masing ditimbang sebanyak massa yang paling

optimal dalam fotodegradasi intensitas zat warna pada percobaan sebelumnya lalu dimasukkan ke dalam botol vial sebanyak 5 buah dan ditambahkan 10 mL Metilen Biru 10 ppm. Kemudian sampel disinari dengan sinar tampak dengan waktu 120, 150, 180, 210, dan 240 menit. Residu NiO dipisahkan dari filtrat dengan sentrifugasi. Setelah itu masing-masing filtrat dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang maksimumnya dengan Spektrofotometer UV-Vis. Percobaan dilakukan secara duplo.

Penurunan Intensitas Zat Warna Variasi Konsentrasi Metilen Biru

NiO nanopartikel hasil sintesis masing-masing ditimbang sebanyak massa yang paling optimal dalam fotodegradasi intensitas zat warna pada percobaan sebelumnya lalu dimasukkan ke dalam botol vial dan ditambahkan 10 mL Metilen Biru dengan variasi konsentrasi 5, 10, 15, 20 dan 25 ppm. Kemudian disinari dengan sinar tampak selama waktu yang paling optimum pada percobaan sebelumnya. Residu NiO dipisahkan dari filtrat dengan sentrifugasi. Setelah itu masing-masing filtrat dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang maksimumnya dengan Spektrofotometer UV-Vis. Percobaan dilakukan secara duplo.

Penurunan Intensitas Zat Warna Variasi Sumber Sinar

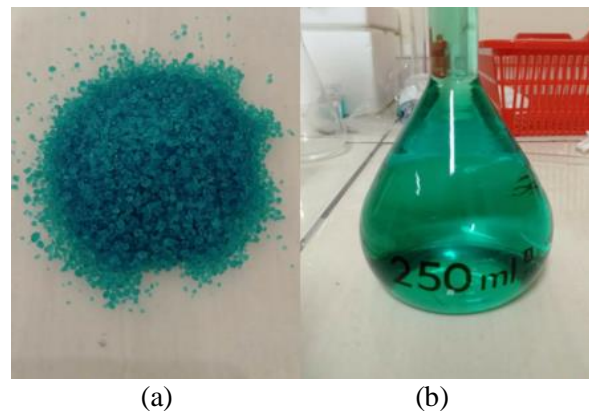
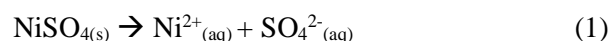
NiO nanopartikel hasil sintesis ditimbang sebanyak massa yang paling optimal dalam mendegradasi intensitas zat warna pada percobaan sebelumnya lalu dimasukkan ke dalam botol vial dan ditambahkan 10 mL Metilen Biru 10 ppm sebanyak 4 buah. Kemudian sampel disinari dengan sinar matahari, sinar tampak, sinar UV dan tanpa disinari dengan lama waktu yang paling optimal pada percobaan sebelumnya. Residu NiO dipisahkan dari filtrat dengan sentrifugasi. Setelah itu masing-masing filtrat dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang maksimumnya dengan Spektrofotometer UV-Vis. Percobaan dilakukan secara duplo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, sumber Nikel yang digunakan sebagai prekursor adalah NiSO₄.

Penggunaan NiSO₄ sebagai prekursor adalah karena apabila dibandingkan dengan prekursor lain seperti NiCl₂ dan Ni(NO₃)₂, ketersediaannya lebih banyak dan lebih tidak berbahaya. NiCl₂ bila dilarutkan akan menghasilkan ion Cl⁻ yang dapat teroksidasi menjadi Cl₂ yang berbahaya. Sementara Ni(NO₃)₂ karena mengandung senyawa Nitrat akan menghasilkan residu Nitrogen yang berbahaya, selain itu senyawa Nitrat bersifat higroskopis yang perlu penanganan khusus dalam penyimpanannya. Adapun berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, diketahui bahwa NiO hasil dari prekursor NiSO₄ memiliki kemampuan fotokatalitik yang lebih baik dibandingkan prekursor NiCl₂ dan Ni(NO₃)₂.

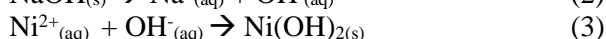
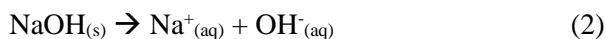
NiSO₄ ditimbang sebanyak 20,7210 g kemudian dilarutkan dengan Akuades hingga 250 mL untuk memperoleh Ni²⁺ dalam larutan NiSO₄ 0,536 M. Padatan NiSO₄ berwarna hijau kebiruan dan larutan yang dihasilkan pun berwarna hijau seperti pada **Gambar 1**, di mana NiSO₄ mengalami ionisasi saat dilarutkan dengan persamaan sebagai berikut:



Gambar 1. (a) Padatan NiSO₄ dan (b) Larutan NiSO₄.

Kemudian larutan NiSO₄ 0,536 M direaksikan dengan pengendap yaitu larutan NaOH 1,2 M. Untuk sintesis NiO-1, tanpa penambahan surfaktan, maka NiSO₄ langsung direaksikan dengan NaOH. Larutan NiSO₄ 0,536 M dalam gelas kimia diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 1000 rpm sambil ditambahkan tetes demi tetes larutan NaOH 1,2 M. Tujuan penambahan tetes demi tetes dan pengadukan adalah agar menghindari terjadinya aglomerasi atau penggumpalan saat pengendapan Ni(OH)₂, sementara pengadukan 1000

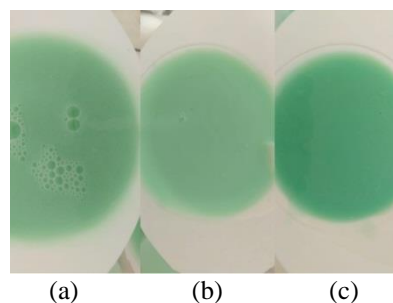
rpm bertujuan untuk memperkecil ukuran partikel, karena bila pada pengadukan di bawah 1000 rpm, partikel akan terbentuk lebih besar. Saat direaksikan, larutan perlahan berubah menjadi hijau muda yang semakin keruh, menandakan terbentuknya Ni(OH)_2 . Pada tahap ini, terjadi reaksi pengendapan antara Ni^{2+} dari larutan NiSO_4 dengan OH^- dari larutan NaOH membentuk Ni(OH)_2 sebagai berikut:



Untuk sintesis NiO-2 dan NiO-3 dilakukan dengan penambahan surfaktan PEG dan SDS. Tujuan penambahan surfaktan ini adalah untuk memperkecil ukuran partikel dan memperbesar luas permukaan NiO, sehingga nantinya akan meningkatkan kinerjanya dalam menurunkan intensitas zat warna Metilen Biru secara fotokatalisis. PEG dan SDS dapat membentuk misel atau molekul surfaktan yang kemudian berperan dalam pengurangan ukuran partikel melalui stabilisasi partikel dengan membentuk lapisan tipis di sekitar permukaan yang baru terbentuk. PEG dan SDS bekerja sebagai pengarah struktur dan pertumbuhan kristal, mengurangi tegangan permukaan dan menstabilkan nanopartikel logam

Sintesis NiO-2 dilakukan menggunakan penambahan surfaktan PEG. Sebanyak 4 g surfaktan PEG 6000 dimasukkan ke dalam larutan NaOH 1,2 M kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 1000 rpm. Sambil diaduk, larutan NiSO_4 ditambahkan ke dalamnya tetes demi tetes untuk membentuk endapan Ni(OH)_2 . Penambahan surfaktan PEG pada larutan NaOH dilakukan di awal agar dapat bekerja untuk memperkecil ukuran partikel Ni(OH)_2 yang langsung terbentuk ketika ditambahkan larutan NiSO_4 .

Untuk sintesis NiO-3 menggunakan penambahan surfaktan SDS dilakukan dengan prosedur yang sama. Pada sintesis NiO-3, sebanyak 4 g surfaktan SDS ditambahkan ke dalam larutan NaOH 1,2 M kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 1000 rpm lalu ditambahkan larutan NiSO_4 0,536 M tetes demi tetes. Endapan Ni(OH)_2 mulai terbentuk ditandai dengan warna campuran yang menjadi hijau muda, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



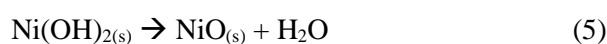
Gambar 2. Endapan Ni(OH)_2 (a) NiO-1, (b) NiO-2, dan (c) NiO-3.

Setelah semua NiSO_4 habis direaksikan, larutan campuran kemudian disaring menggunakan kertas saring. Endapan Ni(OH)_2 dari NiO-1, NiO-2 dan NiO-3 diperoleh berwarna hijau muda. Kemudian endapan Ni(OH)_2 dicuci dengan Akuades sampai hilang kadar Sulfat dan sampai dicapai pH netral. Kandungan pengotor Sulfat pada residu diuji dengan menambahkan larutan BaCl_2 pada filtrat sampai tidak terbentuk lagi endapan putih. Adapun reaksi saat pengujian bebas Sulfat adalah sebagai berikut:



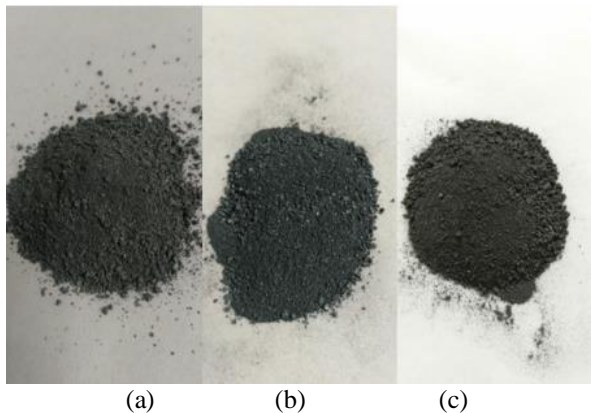
Setelah dicuci, Ni(OH)_2 dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 24 jam sebelum dikalsinasi. Tujuan pengeringan ini adalah untuk menghilangkan kadar air yang masih tersisa dan mencegah terjadinya penyusutan volume secara drastis bila Ni(OH)_2 langsung dikalsinasi. Adapun setelah dikeringkan, terjadi penyusutan massa karena tadinya Ni(OH)_2 masih mengandung air.

Selanjutnya Ni(OH)_2 dikalsinasi pada suhu pada suhu 800°C selama 2 jam untuk memperoleh NiO. Suhu ini merupakan suhu yang cukup optimum untuk membentuk NiO. Apabila pada suhu yang lebih rendah dan waktu yang lebih sebentar, NiO belum terbentuk sempurna. Sementara pada suhu yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama akan membuat ukuran partikel NiO menjadi lebih besar. Pada proses kalsinasi ini surfaktan dan pengotor lain akan hilang dan terjadi reaksi pembentukan NiO dari Ni(OH)_2 yang melepaskan H_2O sebagai berikut:



NiO nanopartikel (1) hingga 3 diperoleh dari hasil kalsinasi berupa padatan berwarna abu seperti pada **Gambar 3**. Warna ini sesuai dengan

literatur di mana NiO memiliki rentang warna dari hijau, abu hingga hitam. NiO hasil sintesis kemudian dilakukan karakterisasi dan aplikasi sebagai fotokatalis dalam mengurangi intensitas zat warna Metilen Biru.

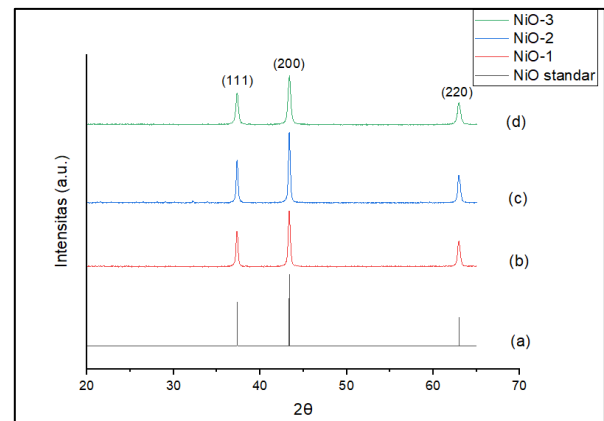


Gambar 3. NiO (a) NiO-1, (b) NiO-2 dan (c) NiO-3 setelah dikalsinasi pada suhu 800°C.

Massa akhir NiO yang diperoleh dari hasil sintesis adalah, NiO-1 sebanyak 5,7180 gram, NiO-2 sebanyak 6,3823 gram, dan NiO-3 sebanyak 5,9899 gram. Bila dibandingkan dengan perhitungan massa akhir NiO secara teoritis, jumlah ini berbeda karena NiO yang ditargetkan adalah 10 gram. Sehingga rendemen yang diperoleh NiO-1 adalah 57,18%, NiO-2 adalah 63,82% dan NiO-3 adalah 59,90%. Nilai rendemen yang tidak mencapai target ini kemungkinan karena pengendapan Ni(OH)₂ yang belum maksimal. Berdasarkan hasil perhitungan, NaOH hanya berlebih sedikit dibandingkan NiSO₄ yang merupakan pereaksi pembatas. Sehingga kurangnya penambahan NaOH sebagai pengendap dapat menjadi faktor sedikitnya terbentuk NiO.

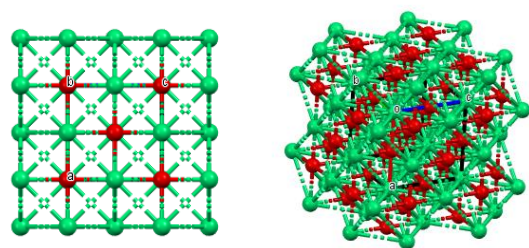
Karakterisasi NiO Nanopartikel

Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk memastikan bahwa fasa kristal hasil sintesis merupakan NiO dan untuk menentukan ukuran kristal NiO. Analisis ini dilakukan menggunakan instrument XRD dengan X-Ray tube berupa Cu (1,54060 Å). Pengolahan data hasil analisis XRD untuk memastikan fasa NiO yang terbentuk dilakukan menggunakan aplikasi Match dengan mendeteksi puncak-puncak intensitas NiO yang terbentuk dan membandingkannya dengan database pada *Crystallography Open Database* (COD).



Gambar 4. Pola Difraksi (a) Difraktogram standar NiO (b) NiO-1, (c) NiO-2, dan (d) NiO-3.

Difraktogram dari hasil analisis XRD dari NiO yang diperoleh melalui aplikasi *Origin* menunjukkan pola difraksi berupa puncak-puncak khas NiO yang terdeteksi pada rentang 2θ pada pengukuran XRD yaitu 20-65° yang sama dengan pola difraksi standar NiO ditunjukkan pada **Gambar 4**. Dapat terlihat bahwa puncak-puncak difraksi menunjukkan intensitas NiO cukup tinggi dan hampir sama dengan standarnya, intensitas NiO yang tinggi ini menandakan kemurnian NiO yang tinggi karena kristal NiO berhasil terbentuk dengan baik. NiO yang terbentuk memiliki fasa kristal kubik dengan grup ruang Fm-3m yaitu kubus berpusat muka yang ditunjukkan pada **Gambar 5**, di mana atom Ni ditunjukkan oleh warna hijau dan atom O oleh warna merah.



Gambar 5. Struktur Kristal NiO hasil sintesis.

Adapun dari hasil analisis XRD ini dapat ditentukan ukuran kristal Rata-rata NiO menggunakan aplikasi *Origin* dengan menghitung FWHM (*Full Width at Half Maximum*). Perhitungan ukuran kristal NiO dapat ditentukan dengan persamaan Debye Scherrer sebagai berikut.

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (6)$$

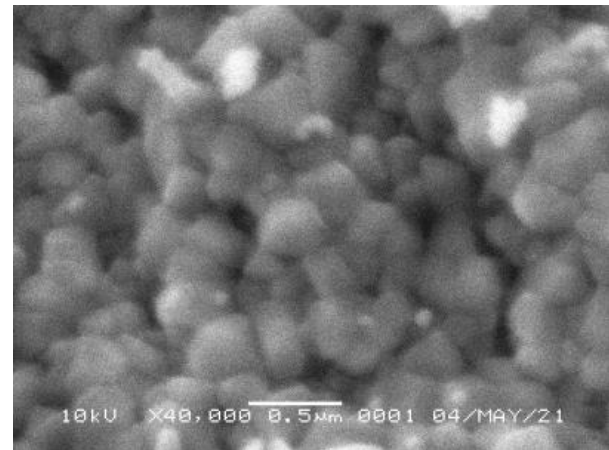
Hasil perhitungan diperoleh bahwa, ukuran kristal rata-rata NiO-1 adalah 26,6156 nm, NiO-2 adalah 24,1996 nm, dan NiO-3 adalah 20,8941 nm. Sementara untuk kristalinitas NiO dari hasil perhitungan diperoleh NiO-1 sebesar 94,59%, NiO-2 95,82% dan NiO-3 96,16%. Nilai kristalinitas yang tinggi ini menandakan kristal NiO terbentuk dengan baik. NiO dengan penambahan surfaktan memiliki ukuran kristal lebih kecil dan nilai kristalinitas yang lebih besar. Hal ini menandakan penambahan surfaktan dapat memperkecil ukuran kristal dan memaksimalkan pembentukan kristal sehingga nilai kristalinitas tinggi. Data ukuran kristal dan kristalinitas terdapat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Ukuran kristal rata-rata dan kristalinitas NiO hasil sintesis.

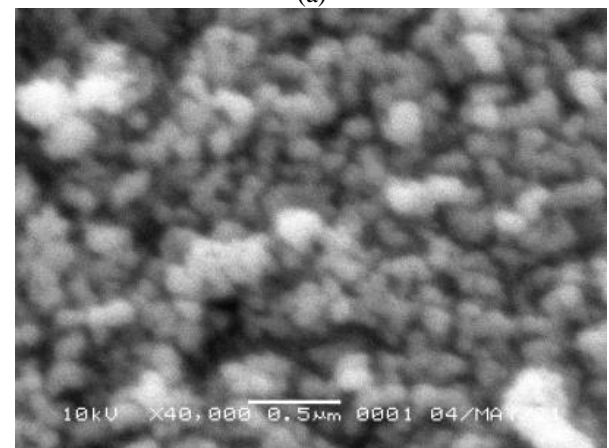
	Ukuran Kristal Rata-rata (nm)	Kristalinitas
NiO-1	26,6156	94,59%
NiO-2	24,1996	95,82%
NiO-3	20,8941	96,16%

Karakterisasi SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi dan ukuran partikel Rata-rata NiO yang telah disintesis. Pada hasil karakterisasi SEM ini, akan terlihat pengaruh penambahan surfaktan PEG dan SDS dalam memperkecil ukuran partikel NiO. Pengambilan gambar ini dilakukan dengan pembesaran sebesar 40.000x. Morfologi NiO-1, NiO-2 dan NiO-3 dapat dilihat pada **Gambar 6**.

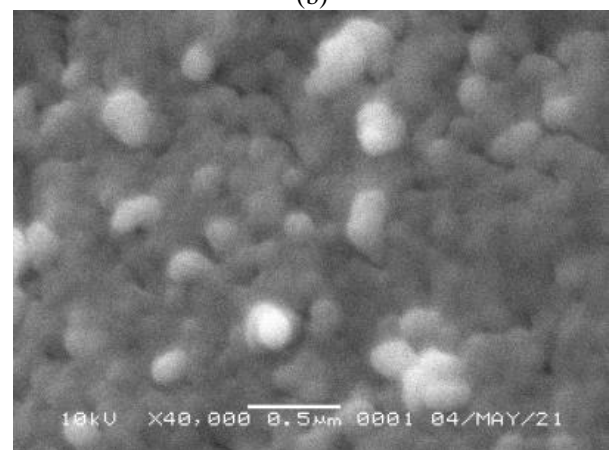
Adapun dari hasil karakterisasi SEM dapat ditentukan ukuran partikel NiO Rata-rata dan polidispersitas atau parameter yang menyatakan distribusi ukuran partikel dari sistem nanopartikel. Dari data ukuran partikel, diperoleh hasil dari perhitungan disajikan pada **Tabel 2**. Adapun data ukuran partikel NiO memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan ukuran kristalnya, hal ini karena partikel merupakan kumpulan dari beberapa kristal NiO. Distribusi ukuran partikel NiO juga disajikan dalam bentuk histogram pada **Gambar 7** yang diperoleh dari pengolahan data oleh aplikasi *Origin*.



(a)



(b)

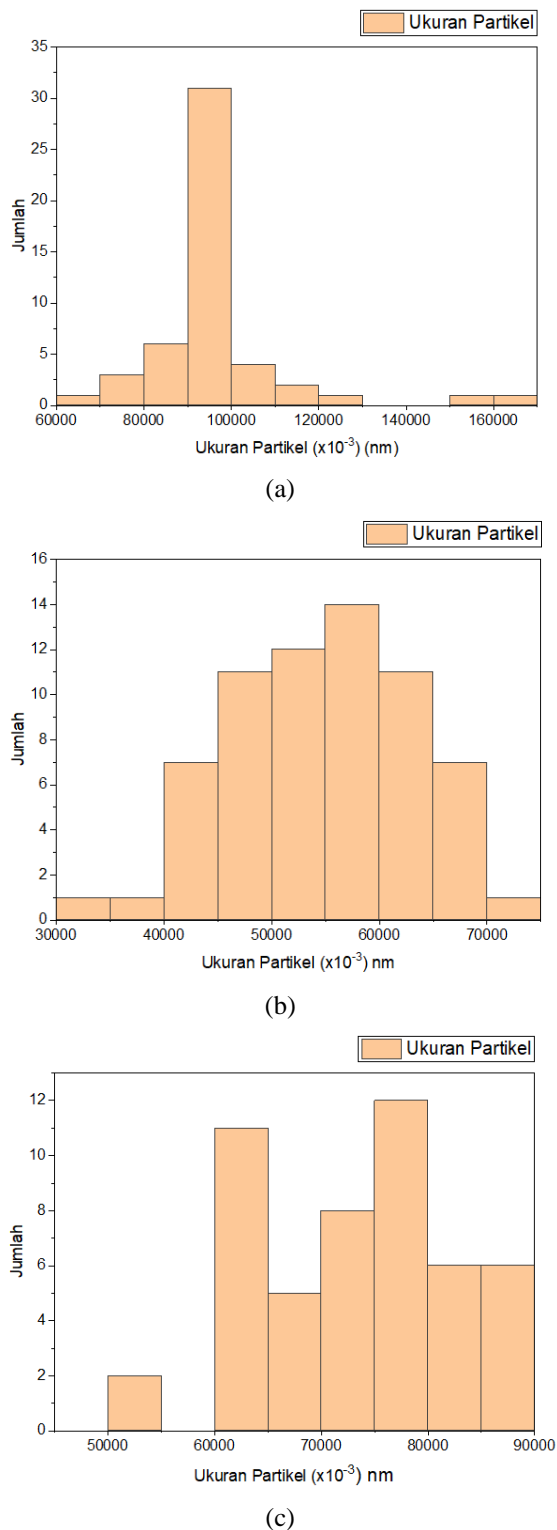


(c)

Gambar 6. Gambar (a) NiO-1, (b) NiO-2, dan (c) NiO-3 hasil analisis SEM.

Tabel 2. Ukuran partikel rata-rata dan polidispersitas NiO hasil sintesis.

	Ukuran Partikel Rata-rata (nm)	Polidispersitas
NiO-1	89,453 – 99,278	5,21%
NiO-2	44,060 – 66,046	19,97%
NiO-3	60,695 – 88,867	18,84%



Gambar 7. Histogram Persebaran Ukuran Partikel (a) NiO-1, (b) NiO-2, dan (c) NiO-3.

Berdasarkan data di atas, dapat terlihat bahwa surfaktan memberikan pengaruh dalam memperkecil ukuran partikel NiO. NiO hasil

sintesis merupakan nanopartikel di mana NiO-1 yang disintesis tanpa penambahan surfaktan memiliki ukuran partikel rata-rata yang paling besar, yaitu 89,453 – 99,278 nm. Sementara NiO-2 dan NiO-3 yang disintesis dengan penambahan surfaktan PEG dan SDS memiliki ukuran partikel rata-rata lebih kecil yaitu masing-masing 44,060 – 66,046 nm dan 60,695 – 88,867 nm, sama dengan ukuran kristalnya yang juga lebih kecil. Sama halnya pada polidispersitas, NiO-2 dan NiO-3 memiliki nilai polidispersitas lebih tinggi karena surfaktan memberi pengaruh pada pendistribusian ukuran partikel NiO, yang menandakan pendistribusian ukuran partikel lebih merata. Hal ini karena surfaktan berperan melalui stabilisasi partikel dengan membentuk lapisan tipis di sekitar permukaan NiO yang baru terbentuk.

Karakterisasi BET dilakukan untuk menganalisis *Specific Surface Area* atau luas permukaan spesifik dari NiO hasil sintesis. Selain luas permukaan, metode BET ini juga dapat mengetahui ukuran pori dari NiO hasil sintesis. Dari hasil analisis BET, diperoleh nilai luas permukaan spesifik dan ukuran pori NiO yang ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Data Luas Permukaan Spesifik dan Ukuran Pori NiO.

	Luas Permukaan Spesifik (m ² /g)	Ukuran Pori cm ³ /g
NiO-1	15,582	0,2160
NiO-2	24,023	0,3084
NiO-3	19,286	0,2184

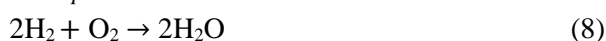
Berdasarkan data hasil analisis BET, dapat terlihat bahwa surfaktan memberikan pengaruh dalam memperbesar luas permukaan dan ukuran pori NiO. NiO-1 yang disintesis tanpa penambahan surfaktan memiliki luas permukaan yang paling kecil, yaitu 15,582 m²/g, sementara NiO-2 dan NiO-3 memiliki luas permukaan lebih besar yaitu masing-masing 24,023 m²/g dan 19,286 m²/g. Hasil ini sesuai dengan ukuran partikel NiO-2 dan NiO-3 yang lebih kecil dari NiO-1, sehingga luas permukaannya lebih besar. Adapun ukuran pori NiO-1 lebih kecil dibandingkan ukuran pori NiO-2 dan NiO-3 yang disintesis dengan penambahan surfaktan. Besarnya luas permukaan dan ukuran pori dari NiO-2 dan NiO-3 dibandingkan NiO-1 menunjukkan pengaruh dari penambahan surfaktan yang nantinya akan meningkatkan kinerjanya sebagai

fotokatalis karena interaksinya dengan juga Metilen Biru akan lebih besar.

Penggunaan Rumus ataupun Persamaan

Jika menggunakan rumus atau persamaan, silahkan gunakan menu equation. Kemudian diberikan urutan nomor persamaan atau rumus di dalam tanda kurung tutup.

$$E = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K (\delta_{pk}^o)^2 \quad (7)$$



Aplikasi Fotokatalis NiO Untuk Penurunan Intensitas Zat Warna Metilen Biru

Pada penelitian ini, senyawa yang akan didegradasi adalah zat warna Metilen Biru. Penurunan intensitas zat warna atau dekolorisasi Metilen Biru dilakukan menggunakan NiO-1, NiO-2 dan NiO-3 dengan bantuan sinar tampak, mekanisme ini yaitu fotodegradasi. Untuk mengetahui perbedaan aktivitas fotokatalis dari masing-masing NiO hasil sintesis, maka dilakukan pengujian dengan variasi di antaranya; variasi massa NiO, variasi waktu penyinaran, variasi konsentrasi Metilen Biru dan variasi sumber sinar. Perhitungan nilai dekolorisasi Metilen Biru menggunakan persamaan berikut.

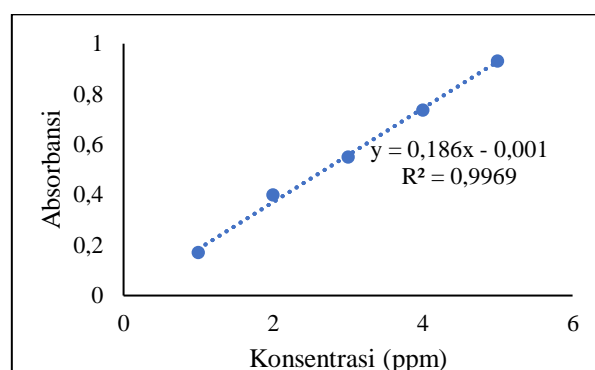
$$\% \text{Dekolorisasi} = \frac{\text{kons awal Metilen Biru} - \text{kons akhir Metilen Biru}}{\text{konsentrasi awal Metilen Biru}} \times 100\% \quad (9)$$

Pembuatan Kurva Kalibrasi Metilen Biru

Pertama-tama, larutan Metilen Biru ditentukan panjang gelombang maksimumnya terlebih dahulu. Pengukuran ini dilakukan karena pada panjang gelombang maksimum tingkat kepekaan pembacaan intensitas larutan akan maksimal sehingga nilai absorbansi larutan yang diperoleh pun akan maksimal. Sebelum dilakukan pengukuran, dilakukan pembuatan kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi dibuat dengan menghubungkan nilai absorbansi yang dihasilkan oleh larutan deret standar. Pada penentuan ini, konsentrasi larutan standar metilen biru yang digunakan yaitu 1, 2, 3, 4, dan 5 ppm. Deret konsentrasi larutan dinyatakan sebagai nilai sumbu x, sedangkan nilai

absorbansi dinyatakan sebagai nilai sumbu y. Persamaan regresi yang diperoleh pada pengukuran larutan standar yaitu $y = 0,186x - 0,001$ dengan nilai (koefisien korelasi) $R^2 = 0,9969$. Nilai koefisien korelasi ini mendekati 1 sesuai dengan garis linear yang ideal. Kurva kalibrasi ditunjukkan pada **Gambar 8**.

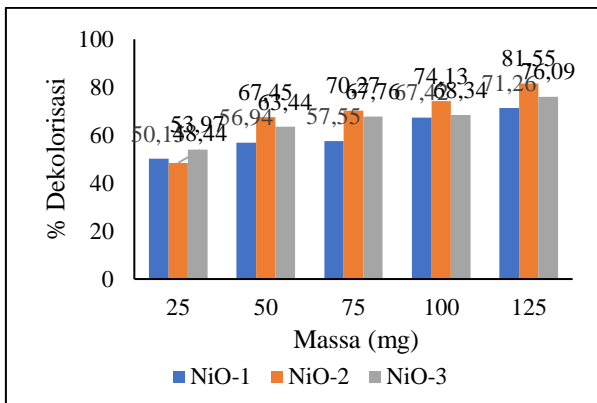
Sebelum mengukur absorbansi sampel, dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum. Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan Metilen Biru 3 ppm sebagai standar tengah yang diukur pada rentang 400-800 nm. Hasil pengukuran penentuan panjang gelombang menunjukkan nilai absorbansi maksimum pada panjang gelombang 665 nm.



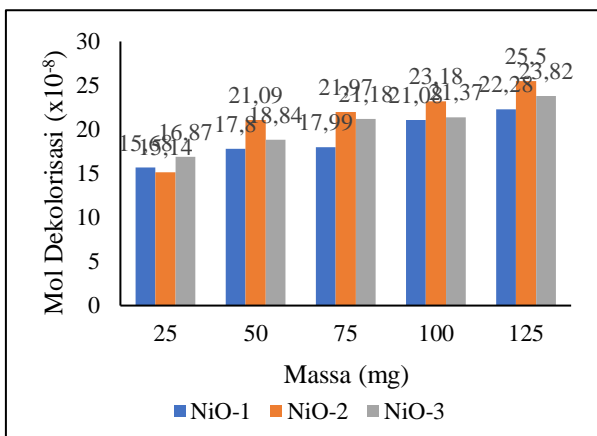
Gambar 8. Kurva Kalibrasi Larutan Deret Standar Metilen Biru.

Penurunan Intensitas Zat Warna Variasi Massa NiO

Penentuan yang pertama yaitu menentukan massa NiO-1, NiO-2 dan NiO-3 yang paling optimum untuk menurunkan intensitas zat warna Metilen Biru. Variasi massa yang digunakan yaitu 25, 50, 75, 100, dan 125 mg terhadap 10 mL larutan Metilen Biru 10 ppm selama waktu penyinaran 180 menit. **Gambar 9** menunjukkan grafik pengaruh variasi massa NiO-1, NiO-2, dan NiO-3 terhadap % dekolorisasi Metilen Biru dan **Gambar 10** terhadap mol dekolorisasi Metilen Biru. Berdasarkan kedua grafik secara umum, dapat terlihat bahwa pada setiap variasi NiO, massa yang paling baik untuk menurunkan intensitas zat warna adalah 125 mg. Pola grafik menunjukkan semakin tinggi % dekolorisasi dan mol dekolorisasi seiring bertambahnya massa NiO, hal ini menunjukkan semakin banyak jumlah NiO yang digunakan, maka semakin baik pula kemampuan fotokatalisnya.



Gambar 9. Grafik pengaruh variasi massa NiO terhadap % dekolorisasi metilen biru.



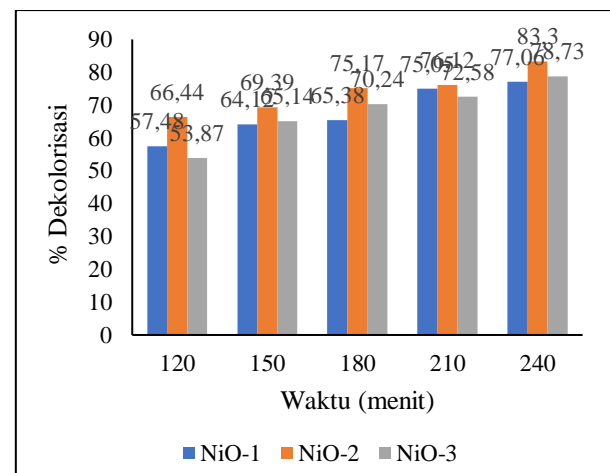
Gambar 10. Grafik pengaruh variasi massa NiO terhadap mol dekolorisasi metilen biru.

Dari nilai hasil dekolorisasi, terlihat bahwa pada variasi massa, penambahan surfaktan memiliki peran dalam meningkatkan nilai dekolorisasi, yang berarti meningkatkan kemampuan fotokatalis NiO. Dengan massa optimum yang sama yaitu pada 125 mg, NiO-2 dan NiO-3 yang diberi penambahan surfaktan PEG dan SDS lebih baik dalam menurunkan intensitas zat warna dibandingkan NiO-1 yang tanpa surfaktan. Pada massa optimum, NiO-1 menurunkan intensitas zat warna Metilen Biru 10 ppm sebanyak 71,26% atau $2,228 \times 10^{-7}$ mol. Sementara NiO-2 menurunkan intensitas zat warna sebanyak 81,55% atau $2,55 \times 10^{-7}$ mol dan NiO-3 sebanyak 76,09% atau $2,382 \times 10^{-7}$ mol.

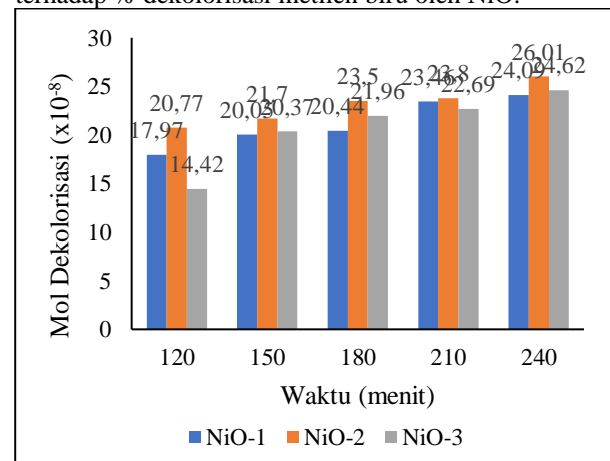
Penurunan Intensitas Zat Warna Variasi Waktu Penyinaran

Penentuan yang kedua yaitu menentukan waktu penyinaran yang paling optimum bagi NiO-1, NiO-2 dan NiO-3 untuk menurunkan intensitas

zat warna Metilen Biru. Massa NiO yang digunakan adalah massa yang paling optimum yaitu 125 mg, terhadap 10 mL larutan Metilen Biru 10 ppm dengan variasi waktu penyinaran 120, 150, 180, 210 dan 240 menit. **Gambar 11** menunjukkan grafik pengaruh variasi waktu penyinaran terhadap % dekolorisasi Metilen Biru dan **Gambar 12** terhadap mol dekolorisasi Metilen Biru oleh NiO-1, NiO-2, dan NiO-3. Berdasarkan kedua grafik secara umum, dapat terlihat bahwa pada setiap variasi NiO, waktu yang paling baik untuk menurunkan intensitas zat warna adalah 240 menit. Pola grafik menunjukkan semakin tinggi % dekolorisasi dan mol dekolorisasi seiring bertambahnya waktu penyinaran, hal ini menunjukkan semakin lama waktu penyinaran, maka semakin maksimal proses fotokatalisisnya.



Gambar 11. Grafik pengaruh variasi waktu penyinaran terhadap % dekolorisasi metilen biru oleh NiO.

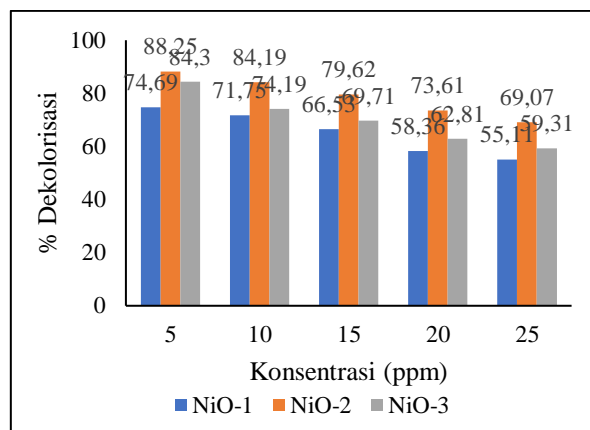


Gambar 12. Grafik pengaruh variasi waktu penyinaran terhadap mol dekolorisasi metilen biru oleh NiO.

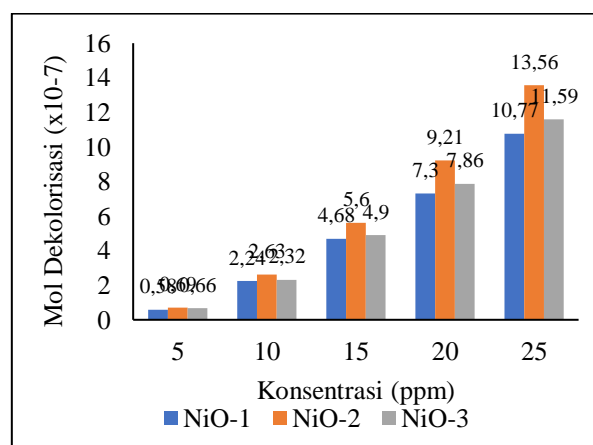
Dari nilai hasil dekolorisasi, terlihat bahwa pada variasi waktu juga penambahan surfaktan memiliki peran dalam meningkatkan nilai dekolorisasi, yang berarti meningkatkan kemampuan fotokatalis NiO. Dengan waktu optimum yang sama yaitu 240 menit, NiO-2 dan NiO-3 yang diberi penambahan surfaktan PEG dan SDS lebih baik dalam menurunkan intensitas zat warna dibandingkan NiO-1 yang tanpa surfaktan. Pada waktu optimum, NiO-1 menurunkan intensitas zat warna Metilen Biru 10 ppm sebanyak 77,06% atau $2,41 \times 10^{-7}$ mol. Sementara NiO-2 menurunkan intensitas zat warna sebanyak 83,30% atau $2,601 \times 10^{-7}$ mol dan NiO-3 sebanyak 78,73% atau $2,462 \times 10^{-7}$ mol.

Penurunan Intensitas Zat Warna Variasi Konsentrasi Metilen Biru

Penentuan yang ketiga yaitu menentukan konsentrasi Metilen Biru yang paling optimum untuk diturunkan intensitas zat warnanya oleh NiO-1, NiO-2 dan NiO-3. Massa NiO yang digunakan adalah massa yang paling optimum yaitu 125 mg terhadap 10 mL larutan Metilen Biru dengan variasi konsentrasi 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm dengan waktu penyinaran yang paling optimum juga yaitu 240 menit. **Gambar 13** menunjukkan grafik pengaruh variasi konsentrasi Metilen Biru terhadap % dekolorisasi Metilen Biru dan **Gambar 14** terhadap mol dekolorisasi Metilen Biru oleh NiO-1, NiO-2, dan NiO-3. Berdasarkan kedua grafik secara umum, dapat terlihat bahwa pada setiap variasi NiO, konsentrasi Metilen Biru yang paling baik untuk penurunan intensitas zat warna adalah 5 ppm. Pola grafik % dekolorisasi menunjukkan semakin rendahnya % dekolorisasi seiring bertambahnya konsentrasi Metilen Biru, hal ini menunjukkan semakin kecil konsentrasi Metilen Biru, maka semakin baik pula NiO dalam menurunkan intensitas zat warnanya. Namun pada grafik mol dekolorisasi menunjukkan pola sebaliknya, di mana semakin besar konsentrasi, semakin besar pula mol dekolorisasinya. Hal ini karena semakin besar konsentrasi maka semakin banyak jumlah molnya, sehingga semakin banyak pula mol yang terdekolorisasi.



Gambar- 13. Grafik pengaruh variasi konsentrasi metilen biru terhadap % dekolorisasi metilen biru oleh NiO.



Gambar 14. Grafik Pengaruh Variasi Konsentrasi Metilen Biru terhadap Mol Dekolorisasi Metilen Biru oleh NiO.

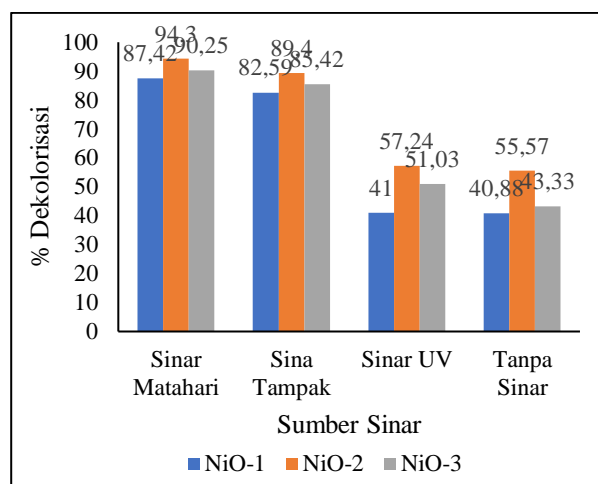
Dari nilai hasil dekolorisasi, terlihat bahwa pada variasi konsentrasi juga penambahan surfaktan memiliki peran dalam meningkatkan nilai dekolorisasi, yang berarti meningkatkan kemampuan fotokatalis NiO. Dengan konsentrasi optimum yang sama yaitu 5 ppm, NiO-2 dan NiO-3 yang diberi penambahan surfaktan PEG dan SDS lebih baik dalam menurunkan intensitas zat warna dibandingkan NiO-1 yang tanpa surfaktan. Pada konsentrasi optimum yaitu 5 ppm, NiO-1 menurunkan intensitas zat warna Metilen Biru sebanyak 74,69% atau $5,839 \times 10^{-8}$ mol. Sementara NiO-2 menurunkan intensitas zat warna sebanyak 88,25% atau $6,898 \times 10^{-8}$ mol dan NiO-3 sebanyak 84,30% atau $6,59 \times 10^{-8}$ mol.

Penurunan Intensitas Zat Warna Variasi Sumber Sinar

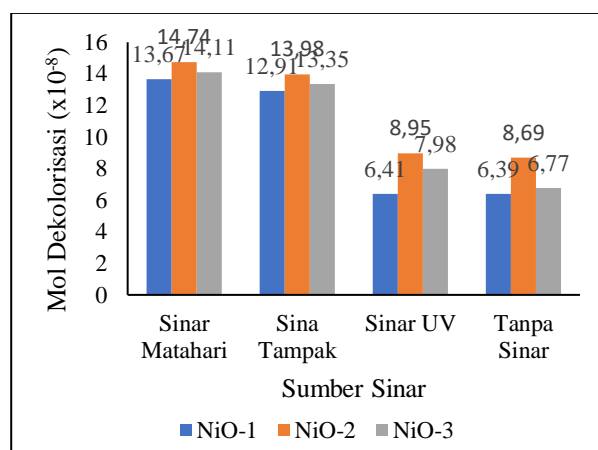
Penentuan yang keempat yaitu menentukan sumber sinar yang paling optimum bagi NiO-1, NiO-2 dan NiO-3 untuk menurunkan intensitas zat warna Metilen Biru. Massa NiO yang digunakan adalah massa yang paling optimum yaitu 125 mg terhadap 10 mL larutan Metilen Biru 5 ppm dengan waktu penyinaran yang paling optimum juga yaitu 240 menit. Variasi sumber sinar yang digunakan yaitu sinar matahari, sinar tampak, sinar UV dan tanpa disinari atau pada tempat gelap.

Gambar 15 menunjukkan grafik pengaruh variasi sumber sinar terhadap % dekolorasi Metilen Biru dan **Gambar 16** terhadap mol dekolorasi Metilen Biru oleh NiO-1, NiO-2, dan NiO-3. Berdasarkan kedua grafik secara umum, dapat terlihat bahwa pada setiap variasi NiO, sumber sinar yang paling baik untuk penurunan intensitas zat warna adalah sinar matahari. Dapat terlihat bahwa sinar matahari memiliki energi yang paling besar dari infra merah dibandingkan sinar tampak dan sinar UV, karena memiliki panjang gelombang yang paling kecil. Sehingga energi yang diberikan sinar matahari adalah energi yang paling besar untuk proses fotokatalisis NiO terhadap Metilen Biru dibandingkan sumber sinar tampak dan sinar UV. Sementara pada tempat gelap, NiO tidak menerima bantuan energi foton namun masih menunjukkan terjadinya dekolorasi, kemungkinan hal ini karena masih terdapat sinar yang lolos saat proses terjadi.

Dari nilai hasil dekolorasi, terlihat bahwa pada variasi sumber sinar juga penambahan surfaktan memiliki peran dalam meningkatkan nilai dekolorasi, yang mana meningkatkan kemampuan fotokatalis NiO. Dengan sumber sinar paling baik yaitu sinar matahari, NiO-2 dan NiO-3 yang diberi penambahan surfaktan PEG dan SDS lebih baik dalam menurunkan intensitas zat warna dibandingkan NiO-1 yang tanpa surfaktan. Pada sinar matahari, NiO-1 menurunkan intensitas zat warna Metilen Biru 5 ppm sebanyak 87,42% atau $1,367 \times 10^{-7}$ mol. Sementara NiO-2 menurunkan intensitas zat warna sebanyak 94,30% atau $1,474 \times 10^{-7}$ mol dan NiO-3 sebanyak 90,25% atau $1,411 \times 10^{-7}$ mol. Dapat disimpulkan bahwa kondisi ini adalah yang paling optimum untuk NiO dari variasi-variasi sebelumnya, karena nilai dekolorasi yang paling besar.



Gambar 15. Grafik pengaruh variasi sumber sinar terhadap % dekolorasi metilen biru oleh NiO.



Gambar 16. Grafik pengaruh variasi sumber sinar terhadap mol dekolorasi metilen biru oleh NiO.

SIMPULAN

NiO nanopartikel berhasil disintesis dari prekursor NiSO₄ dengan metode presipitasi menggunakan NaOH sebagai agen pengendap dan dengan variasi tanpa penambahan surfaktan (NiO-1), penambahan surfaktan PEG (NiO-2), dan surfaktan SDS (NiO-3). Rendemen yang diperoleh NiO-1 adalah 57,18%, NiO-2 adalah 63,82% dan NiO-3 adalah 59,90%. Terbentuknya NiO ditandai dengan hasil difraktogram XRD yang menunjukkan terbentuknya puncak-puncak khas intensitas NiO dengan fasa kristal kubik dan grup ruang Fm-3m.

Pengaruh penambahan surfaktan pada struktur dan morfologi NiO dapat terlihat dari hasil analisis XRD, SEM dan BET. Hasil dari XRD menunjukkan ukuran kristal rata-rata NiO-1 adalah 26,6156 nm, NiO-2 adalah 24,1996 nm,

dan NiO-3 adalah 20,8941 nm, dengan persen kristalinitas NiO-1 94,59%, NiO-2 95,82% dan NiO-3 96,16%. NiO-2 dan NiO-3 memiliki ukuran kristal lebih kecil dengan kristalinitas lebih tinggi dibanding NiO-1. Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa NiO-2 dan NiO-3 memiliki ukuran partikel rata-rata lebih kecil yaitu masing-masing 44,060 – 66,046 nm dan 60,695 – 88,867 nm dengan polidispersitas 19,97% dan 18,84%. Sedangkan ukuran partikel rata-rata NiO-1 sebesar 89,453 – 99,278 nm dengan polidispersitas 5,21%. Pengaruh surfaktan pada hasil analisis BET terlihat di mana NiO-2 dan NiO-3 memiliki luas permukaan lebih besar yaitu masing-masing 24,023 m²/g dan 19,286 m²/g dibandingkan NiO-1 yaitu sebesar 15,582 m²/g.

Penambahan surfaktan memberi pengaruh pada kinerja fotokatalitik NiO. Secara keseluruhan, NiO-1, NiO-2 dan NiO-3 paling optimum dalam menurunkan intensitas zat warna Metilen Biru adalah pada massa 125 mg, waktu penyinaran 240 menit, konsentrasi Metilen Biru 5 ppm dan sumber sinar dari sinar matahari. NiO-2 dan NiO-3 memiliki kinerja fotokatalitik yang lebih baik pada setiap kondisi, dibandingkan NiO-1. Pada kondisi paling optimum, NiO-2 dapat mendekolorisasi Metilen Biru sebesar 94,30% dan NiO-3 sebesar 90,25%. Sementara NiO-1 mendekolorisasi Metilen Biru sebesar 87,42%. Dari hasil ini, terlihat bahwa penambahan surfaktan PEG dan SDS dapat meningkatkan kinerja fotokatalitik NiO dengan memperkecil ukuran partikel dan memperbesar luas permukaannya

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang membantu penulis dalam

menyelesaikan penelitian ini, khususnya kepada Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung.

REFERENSI

- [1] Y. Bahari Molla Mahaleh, S. K. Sadrnezhaad, And D. Hosseini, "NiO Nanoparticles Synthesis By Chemical Precipitation And Effect Of Applied Surfactant On Distribution Of Particle Size," *Journal Of Nanomaterials*, Vol. 2008, P. 4, 2008.
- [2] Mohammad Assefi, Samane Maroufi, Mohannad Mayyas, Veena Sahajwalla, "Recycling Of Ni-Cd Batteries By Selective Isolation And Hydrothermal Synthesis Of Porous NiO Nanocuboid," *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 6, No. 4, Pp. 4671-4675, 2018.
- [3] G. Jayakumar, A. Albert Irudayaraj, A. Dhayal Ra, "Photocatalytic Degradation Of Methylene Blue By Nickel Oxide Nanoparticles," *Materials Today: Proceedings*, Vol. 4, No. 11, Pp. 11690-11695, 2017.
- [4] Dian Windy Dwiasi, Tien Setyaningtyas, Kapti Riyani, "Penurunan Kadar Metilen Biru Dalam Limbah Batik Sokaraja Menggunakan Sistem Fe₂O₃-H₂O₂-UV," *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*, Vol. 13, Pp. 78 - 86, 2018.
- [5] Ida Nursanti, Zaenul Muhlisin, Heri Sutanto Dan Iis Nurhasanah, "Struktur Nanokristal CeO₂ Yang Disintesis Menggunakan Metode Presipitasi Dengan Variasi Lama Waktu Kalsinasi," *Berkala Fisika*, Vol. 14, Pp. 115 - 122, 2011.