



## Sintesis Elektroda Lapis Tipis Sn-ZnO/FTO Secara Elektrodeposisi dan Aplikasi pada Degradasi Remazol Black B (RBB)

Dea Ayu Fardhani<sup>1</sup>, Abdul Haris<sup>1</sup>, Linda Suyati<sup>1</sup>, Didik Setiyo Widodo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Fisik, Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto S.H, Tembalang, Semarang 50275

\*Corresponding author: [widodo.ds@lecturer.undip.ac.id](mailto:widodo.ds@lecturer.undip.ac.id)

Received: 13 Mei / Accepted:

Available online: .....

### Abstract

Elektroda Lapis Tipis yang telah berhasil disintesis pada penelitian ini melalui elektrodeposisi menghasilkan ZnO terdoping Sn pada kaca FTO yang diharapkan dapat berfungsi sebagai fotokatalis. Prekursor yang digunakan merupakan larutan elektrolit yang dapat menghasilkan ZnO sebagai semikonduktor dan Sn sebagai doping logam yang dapat menurunkan *band gap* ZnO. Elektroda hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD) untuk mengetahui struktur dan ukuran kristal serta keberadaan senyawa secara kualitatif yang dibandingkan dengan literatur. Pada Aplikasi, •OH yang dihasilkan pada permukaan elektroda setelah penyinaran foton dapat mendegradasi zat warna RBB yang terdapat pada limbah tekstil secara fotokatalisis maupun fotoelektrokatalisis. Penurunan konsentrasi serta absorbansi RBB dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

**Kata Kunci:** elektrodeposisi, fotokatalis, remazol black B

### 1. Pendahuluan

Fotokatalis didefinisikan sebagai kombinasi proses fotokimia dan katalis, yaitu proses transformasi kimia yang menggunakan foton sebagai sumber energi dan katalis sebagai pemercepat laju transformasi. Dari sekian banyak jenis semikonduktor, hingga saat ini TiO<sub>2</sub> masih menjadi pilihan yang digunakan sebagai fotokatalis. Namun, penggunaan TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis memiliki kelemahan yaitu kurang efektif jika diaplikasikan di lingkungan. TiO<sub>2</sub> hanya aktif bekerja dibawah radiasi sinar UV karena energi celah pita TiO<sub>2</sub> yang relatif lebar. Hal ini yang menjadi kendala dalam penggunaan sinar matahari berbasis TiO<sub>2</sub> karena sinar UV yang masuk ke bumi hanya berkisar 4-5% sedangkan 45% adalah sinar tampak [1]. *Zinc oxide* (ZnO) merupakan senyawa anorganik dengan formula ZnO. Senyawa tersebut merupakan bahan semikonduktor dengan *band gap* 3,2 eV – 3,3 eV pada suhu kamar. ZnO juga memiliki transmisi optik yang tinggi serta mampu menghantarkan listrik.

Modifikasi ZnO dengan metode elektrodeposisi telah dikembangkan untuk memperlebar aktivitas ZnO di daerah sinar tampak dengan memperkecil *band gap* dari ZnO. Sintesis elektrokimia secara elektrodeposisi telah muncul sebagai alternatif simple untuk menghasilkan struktur nano semikonduktor maupun semikonduktor. Ini adalah metode dengan biaya efektif di mana menghasilkan

permukaan yang luas dan film yang tipis pada berbagai bentuk substrat, juga dapat diproduksi pada suhu yang lebih rendah. Metode elektrodeposisi hanya memerlukan seperangkat alat electroanalizer yang didukung alat gelas penelitian tanpa perlu menggunakan instrumen khusus lainnya. Bahan-bahan yang digunakan juga tidak perlu dalam jumlah yang besar dan mudah diperoleh, yaitu Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O dan SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O sebagai prekursor dan kaca Fluorine doped Tin Oxide (FTO) sebagai substrat kaca media pendeposisi elektroda lapis tipis Sn-ZnO.

Sejauh ini modifikasi ZnO dilakukan dengan doping menggunakan logam. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa doping menggunakan logam dapat menurunkan nilai E<sub>g</sub> dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik di daerah sinar tampak [2]. Penambahan Sn sebagai doping dapat menurunkan *band gap* ZnO. Semakin banyak doping yang diberikan maka *band gap* yang dihasilkan akan semakin rendah dan dapat berfungsi sebagai fotokatalis yang dapat diaplikasikan pada sinar tampak [3].

Pada prinsipnya, proses fotokatalitik berlangsung pertama-tama adalah ketika semikonduktor menyerap foton cahaya, elektron di pita valensi sangat terbuka untuk pita konduksi, dan dari pasangan tersebut menghasilkan elektron-lubang (e<sup>-</sup><sub>hv</sub>-h<sup>+</sup><sub>hv</sub>). Kemudian pasangan tersebut memisahkan diri dengan memindahkannya ke permukaan fotokatalis

Doi:

karena adanya medan listrik di permukaan. Lalu  $h^+_{hv}$  di permukaan dapat mengoksidasi air untuk membentuk radikal hidroksil atau langsung mengoksidasi polutan dalam air. Sementara itu,  $e^-_{hv}$  di permukaan dapat mengurangi gugus hidroksil permukaan, kemudian terikat untuk membentuk radikal hidroksil, atau bereaksi dengan molekul teradsorpsi oksigen untuk menimbulkan superoksida radikal, atau langsung mengurangi polutan dalam air untuk tingkat valensi yang lebih rendah [4].

Pada penelitian ini dilakukan sintesis elektroda lapis tipis Sn-ZnO /FTO menggunakan metode elektrodeposisi dua langkah dengan anoda batang karbon dan katoda kaca FTO. Karakterisasi lapis tipis yang telah disintesis diketahui keberadaan senyawa ZnO dan Sn secara kualitatif dan ukuran bulir kristal senyawa ZnO yaitu dengan menggunakan instrumen difraksi sinar-X.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Alat dan Bahan

**Alat-alat** yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Electroanalizer (GW Insek GOR-30600), Instrumen difraksi sinar-X (XRD) (Shimadzu 7000), Spektrofotometer UV-Vis (PG Instruments Limited Model T60U), Furnace (Naberthem), Hot plate dan stirrer (IKA C-MAG HS 7), Neraca analitik (Ohaus), Termometer, Alat gelas standar penelitian (Herma dan Pyrex), Multimeter (Krisbow), Kabel dan penjepit buaya, Lampu tungsten 15 watt (Philips), Lampu UV 15 watt (Philips).

**Bahan-bahan** yang digunakan adalah  $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  98,5% p.a (Merck),  $SnCl_2 \cdot 2H_2O$  99,98% p.a (Merck), Kaca FTO (Sigma Aldrich, surface resistivity  $\sim 7\Omega/sa$ ), Batang karbon, Logam Pt, NaOH 99 % p.a (Merck), HCl 32% p.a (Merck) Akuades, Aseton, pH universal (Merck)..

### 2.2. Prosedur Penelitian

#### 2.2.1 Preparasi Larutan Elektrolit dan Elektroda

Larutan dengan konsentrasi masing-masing 0,1 M dibuat dengan menimbang serbuk  $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  sebanyak 3,3840 gram dan  $SnCl_2 \cdot 4H_2O$  sebanyak 3,3854 gram lalu dilarutkan dengan sedikit aquades secara terpisah. Setelah itu, larutan  $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  dan  $SnCl_2 \cdot 2H_2O$  masing-masing diencerkan dengan akuades pada labu ukur 150 ml. Larutan  $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  ditambahkan larutan HCl 1M tiga tetes hingga pH 4 pada suhu  $\pm 70^\circ C$  dengan pengadukan 2,5 rpm selama dua jam dan suplai oksigen selama 45 menit sedangkan larutan  $SnCl_2 \cdot 2H_2O$  ditambahkan NaOH 1M 3 ml hingga pH 3 pada suhu ruang dengan pengadukan 2,5 rpm selama dua jam.

Kaca FTO sebagai katoda yang sudah dipotong berukuran 7x2 cm dicuci dengan akuades, lalu

direndam dalam aseton selama sepuluh menit kemudian dicuci kembali dengan akuades. Anoda karbon dilakukan pengamplasan kemudian dicuci dengan akuades. Penimbangan kaca FTO sebelum dilakukan elektrodeposisi.

#### 2.2.2 Penentuan Potensial Aplikasi

Pada proses ini digunakan kaca FTO sebagai katoda dan karbon sebagai anoda untuk mengukur potensial aplikasi pembentukan ZnO dan Sn dalam larutan prekursor yang dilakukan variasi potensial agar dihasilkan arus yang terbaca pada multimeter dan diplotkan ke grafik V vs I sehingga dapat ditentukan potensial tetap dengan lonjakan arus yang tajam.

#### 2.2.3 Elektrodeposisi Dua Langkah

Elektrodeposisi langkah pertama dilakukan menggunakan batang karbon sebagai anoda dan kaca FTO sebagai katoda dengan memberikan potensial aplikasi 2,6 V. Saat proses elektrodeposisi selama dua jam dilakukan pengadukan 2,5 rpm larutan  $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  untuk menjaga larutan tetap homogen selama proses elektrodeposisi. Selanjutnya, kaca FTO yang telah terdepositasi hingga menjadi ZnO dikalsinasi pada suhu  $450^\circ C$  selama satu jam, setelah itu dilakukan penimbangan.

Elektrodeposisi tahap kedua dilakukan menggunakan karbon sebagai anoda dan ZnO/FTO sebagai katoda dengan memberikan potensial aplikasi 3,0 V dielektrolisis selama dua jam dan pengadukan 2,5 rpm pada larutan  $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ . Selanjutnya ZnO yang terlekat pada kaca FTO dan terdoping oleh Sn dikalsinasi pada suhu  $200^\circ C$  selama satu jam, lalu dilakukan penimbangan.

#### 2.2.4 Karakterisasi dengan XRD

Karakterisasi dengan difraksi sinar-X dilakukan untuk mengetahui secara kualitatif keberadaan Sn-ZnO dan ukuran bulir kristal senyawa ZnO yang telah disintesis. Karakterisasi dengan difraksi sinar-X dilakukan pada sampel elektroda lapis tipis yang telah disintesis.

#### 2.2.5 Aplikasi sel surya

Setelah dilakukan sintesis elektroda lapis tipis Sn-ZnO/FTO yang bersifat semikonduktor, dilakukan uji untuk mengetahui perannya sebagai fotokatalis dengan merangkai seperangkat reaktor secara fotokatalisis dan fotoelektrokatalisis dengan larutan sampel RBB 7,5 ppm sebanyak 25 mL. Pada masing-masing proses dilakukan dengan penyinaran menggunakan sinar UV-C dan sinar tungsten dengan variasi waktu 0 jam, 2 jam, 4 jam,

Doi:

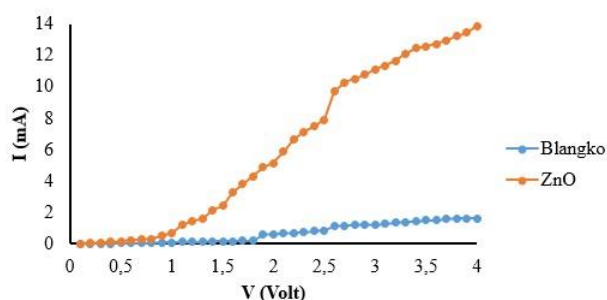
6 jam dan 8 jam kemudian dilakukan pengukuran absorbansi RBB dengan spektrofometer UV-Vis.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Penentuan Potensial Aplikasi

Tujuan dilakukan penentuan potensial aplikasi adalah untuk menentukan potensial eksternal minimal yang harus diberikan kepada sel elektrolisis untuk mengakibatkan proses elektrolisis berjalan secara kontinu.

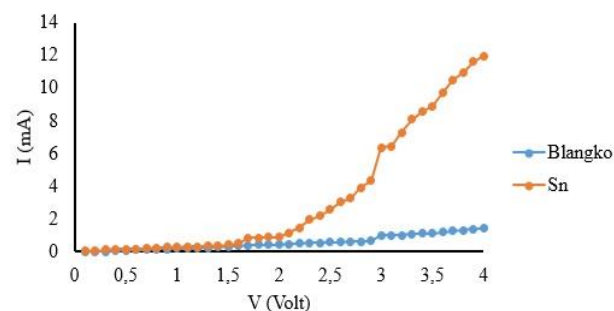
Berdasarkan grafik pada **Gambar 1** menunjukkan bahwa pada potensial tersebut ZnO sudah mulai terbentuk. Hal tersebut membuktikan bahwa pada potensial 0,8 V dalam larutan sampel pengendapan ZnO mulai terjadi proses reduksi yang terjadi pada katoda, sedangkan pada potensial 2,6 V terjadi kenaikan arus yang cukup tinggi pada larutan zink nitrat sebesar 1,82 mA yang menandakan pada potensial tersebut adalah yang paling optimum untuk mengendapkan ZnO pada katoda.



**Gambar 1.** Kurva penentuan potensial aplikasi ZnO

Proses elektrodposisi tahap pertama dilakukan pada potensial kerja tetap sebesar 2,6 V yang bertujuan untuk memperoleh ZnO yang lebih optimal. Jika potensial yang diberikan terlampaui tinggi maka zat yang akan dominan terdposisi atau terbentuk adalah seng, bukan sebagai oksida logam. Oleh karena itu, elektrodposisi dilakukan pada potensial tetap agar menjaga produk yang terbentuk adalah oksida logamnya [5].

Berdasarkan grafik pada **Gambar 2** menunjukkan bahwa dalam larutan  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  pada potensial 1,7 V menghasilkan arus yang mulai meningkat sebesar 0,35 mA. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada potensial tersebut Sn sudah mulai terbentuk. Hal tersebut membuktikan bahwa pada potensial 1,8 V dalam larutan sampel pengendapan Sn mulai terjadi proses reduksi yang terjadi pada katoda, sedangkan pada potensial 3,0 V terjadi kenaikan arus yang cukup tinggi pada larutan  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  sebesar 2,0 mA yang menandakan pada potensial tersebut adalah yang paling optimum untuk mengendapkan Sn pada katoda.



**Gambar 2.** Kurva penentuan potensial aplikasi Sn

Proses elektrodposisi tahap kedua dilakukan pada potensial kerja tetap sebesar 3,0 V yang bertujuan untuk memperoleh Sn yang berfungsi sebagai doping. Jika potensial yang diberikan lebih rendah, maka zat yang akan dominan terdposisi atau terbentuk adalah  $\text{SnO}$  atau  $\text{SnO}_2$ , bukan sebagai logam.

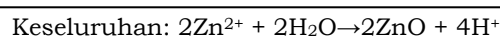
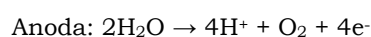
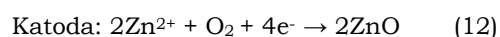
#### 3.2. Elektrodposisi dua langkah

Proses elektrodposisi yang dilakukan untuk mendapatkan elektroda lapis tipis bersifat semikonduktor Sn-ZnO/FTO dilakukan dalam dua langkah. Proses deposisi dilakukan secara terpisah dengan perlakuan yang berbeda dan material yang berbeda pula. Dimana kaca FTO berfungsi sebagai katoda atau elektroda kerja sedangkan batang karbon berfungsi sebagai anoda. Dipilih batang karbon karena bersifat inert agar tidak ikut bereaksi dan tidak memberikan reaksi samping. Proses elektrodposisi dilakukan secara bertahap. Awalnya mengendapkan ZnO pada kaca FTO, kemudian mengendapkan Sn sebagai doping pada kaca FTO yang sudah terlapisi oleh ZnO.

Saat mengendapkan ZnO pada kaca FTO, terlebih dahulu larutan  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0,1 M diasamkan menggunakan HCl hingga pH larutan mencapai empat dan pemanasan dengan suhu sebesar  $70^\circ\text{C}$  agar saat elektrodposisi berlangsung ZnO terbentuk secara optimal. Pemanasan ini dilakukan selama dua jam dan dilakukan pengadukan dengan kecepatan 2,5 rpm agar terjadi proses dehidrasi pada saat terbentuknya  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  dan menjaga larutan agar tetap homogen.

Dilakukan suplai oksigen bertujuan untuk memperkaya oksigen terlarut pada larutan sehingga ion-ion hidroksida yang dihasilkan akan semakin banyak reduksi oksigen saat kaca FTO berperan sebagai anoda dalam proses pembentukan  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ , setelah itu dilakukan proses pengeringan pada suhu yang cukup tinggi untuk menghilangkan  $\text{H}_2\text{O}$  agar membentuk senyawa utama berupa ZnO yaitu dengan cara di kalsinasi pada suhu  $450^\circ\text{C}$  selama satu jam.

Reaksi yang terjadi saat proses elektrodposisi tahap pertama pada ZnO adalah sebagai berikut :



Doi:

Dalam proses ini, diperoleh ZnO yang telah terdeposisi pada kaca dengan warna putih keabuan. ZnO yang telah di kalsinasi ini terlekat sempurna pada kaca FTO dan selanjutnya dilakukan penimbangan. Dari hasil penimbangan didapatkan endapan ZnO yang telah terdeposisi sebagai oksida logam sebanyak 0,1295 gram dan efisiensi 25,98% dengan rerata arus sebesar 164,191 mA.



**Gambar 2.** Hasil sintesis elektroda ZnO secara elektrodeposisi

Proses elektrodeposisi tahap kedua adalah mengendapkan Sn pada kaca FTO yang telah terlapisi oleh ZnO. Saat mengendapkan Sn, terlebih dahulu larutan  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,1 M dibasakan menggunakan NaOH hingga pH mencapai tiga pada suhu kamar agar saat elektrodeposisi berlangsung Sn terbentuk secara optimal [6]. Perlakuan ini dilakukan selama dua jam dan dilakukan pengadukan dengan kecepatan 2,5 rpm untuk menjaga agar larutan tetap homogen.

Suhu ruang yang diterapkan saat elektrodeposisi Sn pada kaca FTO yang telah terlapisi oleh ZnO ini merupakan temperatur yang optimal pada proses pembentukan Sn. Jika temperatur yang digunakan pada suhu yang lebih tinggi, maka proses terbentuknya Sn akan sulit terjadi. Namun, jika temperatur yang digunakan adalah temperatur kamar yang berkisar sekitar  $\pm 30^\circ\text{C}$  maka Sn akan terbentuk. Hal ini disebabkan karena pada temperatur yang lebih tinggi akan terjadi proses dehidrasi sehingga yang kemungkinan akan terbentuk adalah oksida logam dari Sn seperti SnO dan  $\text{SnO}_2$  [6].

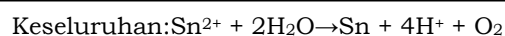
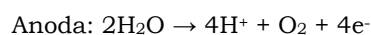
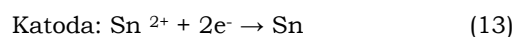
Setelah proses elektrodeposisi selesai, dilakukan proses pengeringan pada suhu yang cukup tinggi agar membentuk senyawa utama berupa Sn yaitu dengan cara di kalsinasi pada suhu  $200^\circ\text{C}$  selama satu jam [7].

Tujuan mengendapkannya Sn pada tahap kedua elektrodeposisi ini adalah agar Sn dapat berfungsi menjadi doping logam yang akan menyebabkan timbulnya pita energi baru yang terbentuk antara pita valensi dan pita konduksi sehingga dapat menurunkan *band gap* ( $E_g$ ). Jika celah pita semakin kecil, maka energi yang dibutuhkan untuk terjadinya eksitasi elektron juga semakin kecil. Dengan demikian fotokatalis tersebut dapat digunakan untuk menyerap sinar

tampak seperti sinar tungsten yang memiliki panjang gelombang antara 340-850 nm.

Doping adalah ketika atom hetero-valent dimasukkan ke dalam tanpa mempengaruhi struktur kristal untuk menambah atau mengurangi kepadatan elektron dalam pita konduksi. Pada dasarnya, bahan-bahan ini memiliki komposisi yang sama dan komponen struktural ke permukaan kristalnya. Namun, jika doping logam yang digunakan adalah pada skala yang sangat kecil (0,01%) misalnya, maka akan memodifikasi sifat elektronik pada material tersebut [8].

Reaksi yang terjadi saat proses mengendapkan Sn adalah sebagai berikut:



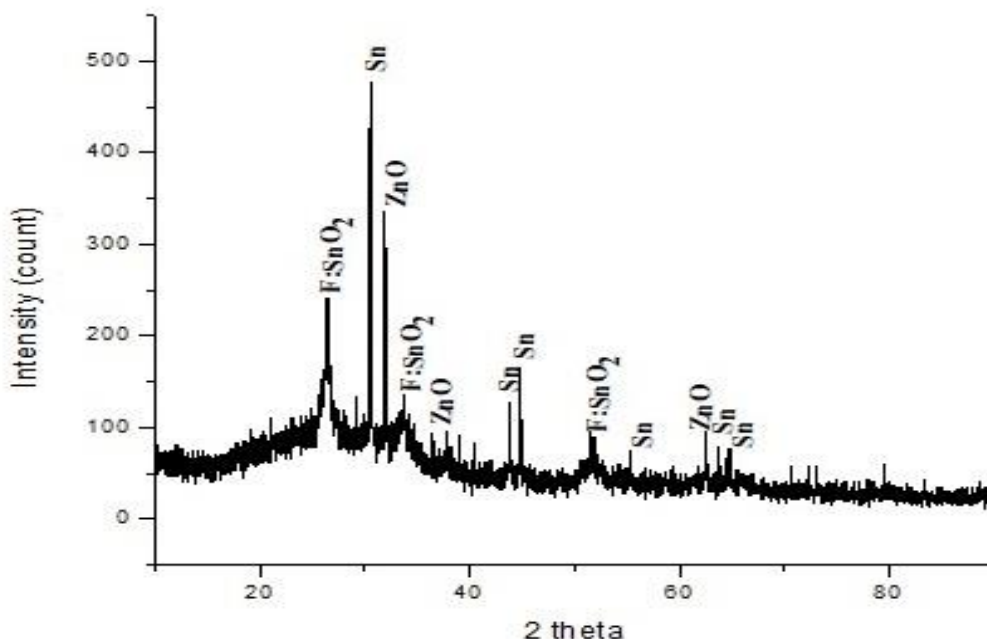
Dalam proses ini, kaca FTO yang telah terdeposisi oleh ZnO digunakan sebagai katoda dan batang karbon digunakan sebagai anoda. Hasil elektroda lapis tipis yang diperoleh berupa Sn-ZnO/FTO yang bersifat semikonduktor dan telah terdeposisi pada kaca FTO dengan warna putih tulang. ZnO yang telah di kalsinasi ini terlekat sempurna pada kaca FTO dan selanjutnya dilakukan penimbangan. Dari hasil penimbangan didapatkan endapan Sn yang telah terdeposisi pada kaca FTO yang telah terlapisi oleh ZnO sebagai logam sebanyak 0,2221 gram dan efisiensi 25,20% dengan rerata arus sebesar 175,40 mA



**Gambar 3.** Hasil sintesis elektroda Sn secara elektrodeposisi

### 3.3. Karakterisasi dengan XRD

Karakterisasi sampel dengan difraksi sinar-X dilakukan untuk mengetahui secara kualitatif keberadaan ZnO dan Sn dalam elektroda kerja lapis tipis yang telah terdeposisi pada kaca FTO. Analisis dengan instrument difraksi sinar-X (Shimadzu 7000) terhadap sampel dilakukan dengan rentang sudut difraksi ( $2\theta$ )  $10,00^\circ$ –  $90,00^\circ$  dengan radiasi  $\text{CuK}\alpha 1$  ( $\lambda=1,54060 \text{ \AA}$ ). Tegangan yang diberikaan saat proses karakterisasi adalah sebesar 30 kV dengan arus sebesar 30 mA.



**Gambar 4.** Difraktogram elektroda lapis tipis Sn-ZnO/FTO

Hasil karakterisasi difraksi sinar-X pada sampel diberikan pada **Gambar 5** dengan kurva yang diberikan adalah  $2\theta$  vs Intensitas dari sampel Sn dan ZnO yang telah terbentuk sebagai elektroda kerja lapis tipis. Analisis terbentuknya puncak-puncak kristalin yang muncul dalam spektra

adalah dengan membandingkan intensitas hasil sintesis dan intensitas standar berdasarkan literatur yang didapatkan dari JCPDS (*The Joint Committee on Powder Diffraction Standard*).

**Tabel 1.** Perbandingan data JCPDS ZnO Sn dan SnO<sub>2</sub> hasil sintesis dengan literatur

Senyawa	Intensitas		$2\theta$		FWHM	D (ukuran bulir, nm)
	Sintesis	Literatur	Sintesis	Literatur		
ZnO	336	569	31,9572	31,737	0,14344	302,23
	80	999	36,5225	36,215	0,0066	
	86	265	62,4722	62,777	0,0116	
Sn	478	999	30,5787	30,628	-	-
	128	339	43,8126	43,864		
	166	623	44,8421	44,894		
	66	149	55,3135	55,326		
	68	86	63,7381	63,77		
	68	164	64,5389	64,571		

Berdasarkan **Tabel 1** bahwa selisih intensitas dari hasil sintesis dengan literatur berdasarkan JCPDS dalam pembentukan senyawa ZnO dan Sn cukup tinggi. Namun selisih dari masing-masing peak adalah sangat rendah atau bisa dikatakan hampir berhimpitan. Hal ini menandakan bahwa senyawa ZnO dan Sn memang sudah terbentuk walaupun rata-rata ukuran bulir kristal yang didapatkan relatif tinggi. Senyawa F-SnO<sub>2</sub> atau FTO juga terdapat tiga peak pada hasil sintesis.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus *Debye-Scherrer* pada persamaan (3) ukuran masing-masing bulir kristal dari hasil

rata-rata pada pembentukan senyawa ZnO adalah sebesar 302,2297 nm. Berdasarkan rumus tersebut bahwa FWHM (*Full Width at Half Maximum*) dengan ukuran bulir Kristal berbanding terbalik, menandakan bahwa semakin kecil nilai FWHM maka ukuran bulir akan semakin besar.

### 3.4 Aplikasi fotokatalis

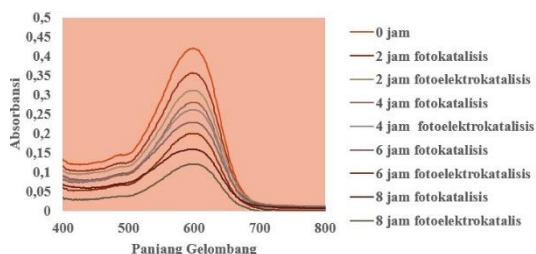
Dalam percobaan ini, untuk mengetahui persentase degradasi dari penurunan absorbansi pada tiap-tiap sampel menggunakan variasi

## Doi:

waktu yaitu dengan rentang waktu 2 jam, 4 jam, 6 jam dan 8 jam dengan konsentrasi larutan sampel sebesar 7,5 ppm dengan volume sebanyak 25 ml dan pengadukan berkecepatan 2,5 rpm. Sebelum dilakukan analisis, larutan sampel terlebih dahulu dicari panjang gelombang maksimumnya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada daerah panjang gelombang 400-800 nm.

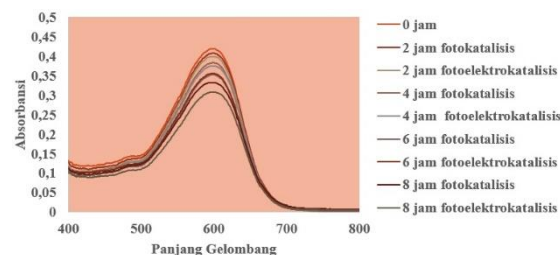
Berdasarkan **Gambar 6** senyawa RBB memiliki panjang gelombang maksimum 600 nm. Percobaan dengan metode fotokatalisis dan fotoelektrokatalisis menggunakan elektroda lapis tipis Sn-ZnO/FTO secara efektif dapat menurunkan konsentrasi RBB. Selain itu, ZnO yang terdoping oleh Sn memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi dari pada ZnO murni. Semakin tinggi konsentrasi Sn, maka aktivitas fotokatalitiknya juga akan semakin bagus [9].

Pada **Gambar 7** adalah grafik yang menunjukkan perbandingan antara metode secara fotokatalisis dan fotoelektrokatalisis pada penyinaran tungsten. Hasil menunjukkan bahwa penurunan absorbansi secara fotoelektrokatalisis lebih besar daripada secara fotokatalisis. Saat aplikasi pada metode fotoelektrokatalisis ditambahkan potensial bias sebesar 0,5 V. Absorbansi awal adalah sebesar 0,420. Penurunan absorbansi berturut-turut dari 2 jam, 4 jam, 6 jam dan 8 jam dihasilkan 0,311, 0,261, 0,199 dan 0,120 secara fotokatalisis sedangkan secara fotoelektrokatalisis dihasilkan 0,356, 0,280, 0,124 dan 0,159.



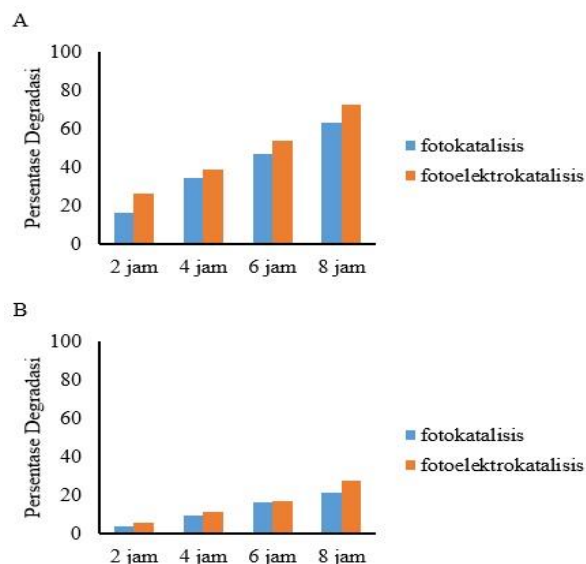
**Gambar 6.** Hasil scanning RBB pada penyinaran oleh sinar tungsten secara fotokatalisis dan fotoelektrokatalisis

Pada **Gambar 8** hasil menunjukkan bahwa penurunan absorbansi secara fotoelektrokatalisis lebih besar daripada secara fotokatalisis. Pada metode fotoelektrokatalisis, saat aplikasi ditambahkan potensial bias sebesar 0,5 V. Absorbansi awal adalah sebesar 0,420. Penurunan absorbansi berturut-turut dari 2 jam, 4 jam, 6 jam dan 8 jam dihasilkan 0,408, 0,384, 0,353 dan 0,333 secara fotokatalisis sedangkan secara fotoelektrokatalisis dihasilkan 0,400, 0,376, 0,350 dan 0,309.



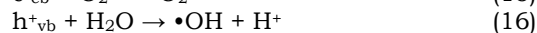
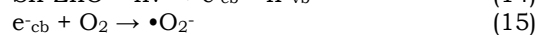
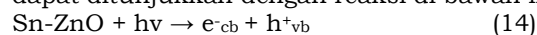
**Gambar 7.** Hasil scanning RBB pada penyinaran oleh sinar UV-C secara fotokatalisis dan fotoelektrokatalisis

Walaupun pada penyinaran oleh sinar tungsten dan UV-C secara fotoelektrokatalisis lebih baik daripada secara fotokatalisis, namun penurunan absorbansinya lebih tinggi oleh sinar tungsten daripada menggunakan sinar UV-C. Persentase degradasi RBB dengan bantuan sinar tungsten dan UV-C pada penggunaan lapis tipis Sn-ZnO/FTO secara fotokatalisis dan fotoelektrokatalisis dengan variasi waktu ditunjukkan pada **Gambar 8**.



**Gambar 8.** Presentase degradasi RBB dengan sumber foton sinar tungsten (A) dan sinar UV-C secara fotokatalisis dan fotoelektrokatalisis (B)

Mekanisme yang terjadi saat proses fotokatalisis sedang berlangsung adalah, ketika dihasilkan radikal  $\bullet\text{OH}$  yang bersifat sebagai oksidator kuat dapat mendegradasi RBB selama penyinaran. Dapat dijelaskan prinsip fotokatalisis adalah adanya eksitasi (loncatan) elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada logam semikonduktor jika dikenai suatu energi foton. Loncatan elektron ini menyebabkan timbulnya *hole* (lubang elektron) yang dapat berinteraksi dengan pelarut (air) membentuk radikal  $\bullet\text{OH}$ . Radikal bersifat aktif dan dapat berlanjut untuk menguraikan senyawa organik contohnya RBB. Proses pembentukan radikal  $\bullet\text{OH}$  dan elektron dapat ditunjukkan dengan reaksi di bawah ini:



## Doi:

Pemberian potensial bias (eksternal) sebesar 0,5 V pada proses fotoelektrokatalisis memperlihatkan hasil yang lebih baik dibandingkan proses fotokatalisis dimana pada jam kedua, konsentrasi RBB dapat terdegradasi lebih besar oleh sinar tungsten walapun oleh sinar UV-C konsentrasi selama 2 jam hanya dihasilkan sebesar 5,7259 %. Pada akhir jam kedelapan, degradasi dengan metode ini memberikan hasil yang sangat memuaskan dengan persentase degradasi sebesar 72,5367% oleh sinar tungsten dan sebesar

27,4394% oleh sinar UV-C. Pada gambar IV.9 dapat dilihat bahwa grafik persentase degradasi fotoelektrokatalisis lebih curam dibandingkan secara fotokatalisis.

Selain itu, penurunan persen degradasi lebih tinggi oleh sinar tungsten dibanding oleh sinar UV-C karena peran fotokatalis dan sumber energi foton sangat besar dalam proses fotokatalisis dan fotoelektrokatalisis sehingga dapat menghasilkan radikal  $\bullet\text{OH}$  yang melimpah, yang berfungsi untuk mengoksidasi senyawa RBB [10].

Karakterisasi menggunakan Difraksi Sinar-X menunjukkan adanya senyawa ZnO dan Sn yang terdepositasi pada media FTO. Pada saat aplikasi hasil yang didapatkan adalah bahwa dengan menggunakan metode fotoelektrokatalisis dan menggunakan sumber energi foton dari sinar tungsten menghasilkan persentase degradasi lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan fotokatalisis dengan sumber energi foton sinar UV-C.

#### 4. Kesimpulan

Lapisan Semikonduktor Sn-ZnO /FTO sebagai elektroda kerja lapis tipis telah berhasil disintesis secara elektrodeposisi dua langkah yang diawali oleh deposisi ZnO dengan potensial tetap sebesar 2,6 V dan efisiensi 25,98% dilanjutkan tahap kedua adalah mengendapkan Sn dengan potensial tetap 3,0 V dan efisiensi 25,20%.

#### Daftar Pustaka

1. Segne, T.A., S.R. Tirukkovalluri, and S. Challapalli, *Studies on characterization and photocatalytic activities of visible light sensitive TiO<sub>2</sub> nano catalysts co-doped with magnesium and copper*. International Research Journal of Pure and Applied Chemistry, 2011. **1**(3): p. 84.
2. Colmenares, J.C., et al., *Synthesis, characterization and photocatalytic activity of different metal-doped titania systems*. Applied Catalysis A: General, 2006. **306**: p. 120-127.
3. Zegadi, C., et al., *Influence of Sn low doping on the morphological, structural and optical properties of ZnO films deposited by sol gel dip-coating*. Advances in Materials Physics and Chemistry, 2014. **4**(5): p. 93-104.
4. Li, S., et al., *Influence of MnO<sub>2</sub> on the photocatalytic activity of P-25 TiO<sub>2</sub> in the degradation of methyl orange*. Science in China Series B: Chemistry, 2008. **51**(2): p. 179-185.
5. Elias, J., R. Tena-Zaera, and C. Lévy-Clément, *Electrochemical deposition of ZnO nanowire arrays with tailored dimensions*. Journal of Electroanalytical Chemistry, 2008. **621**(2): p. 171-177.
6. Subramanian, B., et al., *Electrodeposition of Sn, Se, SnSe and the material properties of SnSe films*. Thin Solid Films, 1999. **357**(2): p. 119-124.
7. Ganjiani, Z., F. Jamali-Sheini, and R. Yousefi, *Electrochemical synthesis and physical properties of Sn-doped CdO nanostructures*. Superlattices and Microstructures, 2016. **100**: p. 988-996.
8. Cummings, C.Y., *Electrodeposition and Characterisation of Semiconductor Materials*. 2012, University of Bath.
9. Wu, C., et al., *Synthesis of Sn-doped ZnO nanorods and their photocatalytic properties*. Materials Research Bulletin, 2011. **46**(7): p. 1107-1112.
10. Prasetya, N.B.A., A. Haris, and G. Gunawan, *Pengaruh ion logam Cd (II) dan pH larutan terhadap efektivitas fotodegradasi zat warna remazol black B menggunakan katalis TiO<sub>2</sub>*. Molekul, 2012. **7**(2): p. 143-152.