



**SINTESIS LAPIS TIPIS SEMIKONDUKTOR ZnO-CdS/FTO DAN APLIKASINYA
SEBAGAI FOTODEGRADASI LIMBAH CAIR METHYL ORANGE**

Oleh

Helena Krey¹⁾, Abdul Haris²⁾, Didik Setiyo Widodo³⁾ & Khabibi Khabibi⁴⁾

^{1,2,3,4}Departemen Kimia Universitas Diponegoro. Jl Prof Sudarto, SH Tembalang Semarang
50275

Email: ¹helenakrey@live.undip.ac.id, ²a.haris@live.undip.ac.id, ³widodo.ds@live.undip.ac.id &
⁴khabibi@live.undip.ac.id

Abstrak

Fotokatalisis adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi limbah industri tekstil. Senyawa ZnO sering digunakan sebagai material fotokatalis, namun ZnO mempunyai *band gap* yang besar sehingga tidak dapat diaplikasikan pada daerah sinar tampak. Pelapisan CdS pada ZnO diharapkan dapat menurunkan *band gap* sehingga dapat diaplikasikan pada daerah sinar tampak. Tujuan penelitian ini adalah memperoleh material semikonduktor ZnO-CdS/FTO melalui metode elektrodeposisi dan *Chemical Bath Deposition* (CBD), serta mengaplikasikannya untuk mendegradasi zat warna *methyl orange* (MO). Metode sintesis yang digunakan dalam pelapisan semikonduktor ZnO-CdS pada FTO adalah elektrodeposisi arus tetap. FTO berperan sebagai elektroda kerja, Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding dan Pt sebagai elektroda lawan. Prekursor sintesis ZnO adalah larutan $Zn(CH_3COO)_2$ dan KNO_3 . Sintesis CdS dengan metode *Chemical Bath Deposition* (CBD) dilakukan pada suhu 60°C. Sampel dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM-EDX. Hasil karakterisasi difraksi sinar-X menunjukkan bahwa sampel mengandung ZnO dan CdS dengan ukuran rata-rata kristal CdS sebesar 42,27 nm dan ZnO sebesar 38,97 nm. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa kristal ZnO-CdS berbentuk menyerupai bintang dan EDX menunjukkan terdapat Zn, O, Cd dan S. Persen degradasi yang diperoleh melalui metode fotokatalisis dan metode fotoelektrokatalisis dengan sinar tungsten pada waktu 4 jam adalah 27,83 dan 31,76 %.

Kata Kunci: Semikonduktor , Fotokatalisis & Limbah Cair

PENDAHULUAN

Perluasan dan perkembangan industri tekstil telah menyebabkan masalah lingkungan yang serius, akibat pembuangan limbah dalam jumlah besar yang beracun di air [1]. Air limbah tekstil yang mengandung logam berat dan pewarna, tidak hanya merusak kualitas air, tapi juga berbahaya bagi flora dan fauna air. Logam berat dan zat warna dalam limbah tekstil beracun dan dapat menyebabkan mutasi gen apabila tubuh makhluk hidup terus menerus terpapar [2], maka diperlukan solusi untuk mengatasinya. Logam berat dapat ditangani salah satu dengan menggunakan metode adsorpsi [3,4] dan zat warna dengan metode fotokatalisis [5].

Efektivitas fotokatalisis zat warna ditentukan oleh semikonduktor. Semikonduktor logam-oksida seperti ZnO (*band gap* 3,37 eV)

dan TiO_2 (*band gap* 3,2 eV) dikenal sebagai salah satu material fotokatalis karena memiliki *band gap* yang sesuai, aktivitas fotokatalitik tinggi, dan stabilitas terhadap fotokorosi. Semikonduktor ZnO memiliki potensial aplikasi yang besar pada fotokatalisis, karena sifat fisiknya yang beragam dan pembuatannya yang mudah. ZnO memiliki *band gap* lebar 3,3 eV. Karena ZnO memilih *band gap* yang lebar maka ZnO dianggap tidak terlalu menguntungkan apabila digunakan sebagai fotokatalis sehingga diperlukan semikonduktor dengan *band gap* yang lebih sempit untuk meningkatkan efek fotokatalisis ZnO. Diantara semikonduktor dengan *band gap* sempit, CdS memiliki tepi pita valensi dan konduksi yang cocok dengan ZnO. Untuk meningkatkan kinerja fotokatalitik dan fotoelektrokimia dari ZnO di bawah radiasi



cahaya tampak, nanopartikel CdS digunakan untuk melapisi ZnO. Selain itu, CdS juga merupakan fotokatalis responsif terhadap cahaya tampak [5].

CdS adalah bahan semikonduktor dengan *band-gap* sebesar 2,43 eV atau 514,5 nm (dalam satuan panjang gelombang) [6]. Semikonduktor CdS adalah sensitizer yang paling cocok untuk ZnO, karena kisi CdS mirip dengan ZnO, memiliki *band gap* dalam cahaya tampak dan membentuk *heterostruktur* tipe-II dengan ZnO, yang memfasilitasi transfer muatan antar pita yang sangat cepat dari kedua senyawa ini. Transfer muatan dari satu semikonduktor ke yang lain menyebabkan pengurangan rekombinasi eksiton [7].

Untuk mendapatkan ZnO dapat dilakukan sintesis ZnO dengan berbagai metode seperti *hydrothermal process* [8], *chemical vapor deposition* [9], dan *reactive sputtering* [10]. Namun metode tersebut memiliki beberapa kelemahan seperti metode dan alat yang rumit, bahan yang mahal dan menghasilkan bahan toksik yang berbahaya. Dalam aplikasi fotokatalisis, penting untuk membentuk ZnO langsung pada substrat konduktif tanpa merusak mikrostruktur ZnO.

Banyak metode untuk membentuk CdS contohnya *Solvothermal synthesis* [11], *vacuum evaporation* [12], *sonochemical synthesized* [13], namun metode tersebut memiliki banyak kelemahan yaitu memerlukan suhu tinggi, mahal, proses yang rumit dan berbahaya.

Metode *Chemical Bath Deposition* (CBD) dikenal sebagai teknik pengendapan yang sederhana, tidak memerlukan suhu yang tinggi, tidak menghasilkan gas beracun dan juga murah. Metode CBD telah digunakan untuk mengendapkan semikonduktor lapis tipis CdS sejak tahun 1960 [14]. Bahan-bahan yang digunakan tidak perlu dalam jumlah yang besar dan mudah diperoleh, yaitu CdSO₄, NH₄OH, dan thiourea. Proses CBD dilakukan untuk membentuk lapis tipis CdS.

LANDASAN TEORI

Fotokatalisis

Fotokatalisis secara umum didefinisikan sebagai proses transformasi kimia dengan adanya katalis dan bantuan cahaya. Fotokatalis dalam reaksinya melibatkan pasangan elektron-*hole* (e⁻ dan h⁺) yang mampu melakukan transformasi kimia melalui proses reduksi dan oksidasi [15]. Salah satu aplikasi material fotokatalis adalah untuk penjernihan air. Material fotokatalis akan menghasilkan pasangan elektron di pita konduksi (e⁻) dan *hole* di pita valensi (h⁺). Kedua pembawa muatan tersebut akan mengalami reaksi reduksi oksidasi (redoks) dan menghasilkan spesies aktif reaktif seperti radikal hidroksil (•OH), radikal superoksida (•O²⁻). Keduanya akan bereaksi dengan sebagian besar senyawa organik yang berbahaya dan mengubahnya menjadi senyawa yang tidak berbahaya dan benar-benar termineralisasi menjadi CO₂ dan H₂O [16].

Fotokatalis merupakan kombinasi proses fotokimia dan katalis, yaitu proses transformasi kimia yang menggunakan foton sebagai sumber energi dan katalis sebagai pemercepat laju transformasi. Proses tersebut didasarkan pada kemampuan ganda suatu material semikonduktor (seperti TiO₂, ZnO, Fe₂O₃, CdS, ZnS) untuk menyerap foton dan melakukan reaksi transformasi pada antar muka material secara simultan [17].

Semikonduktor apabila dikenai sinar atau foton yang sesuai atau melebihi energi celah pita material fotokatalis maka elektron akan tereksitasi dari keadaan dasar atau *ground state* (pita valensi) ke tingkatan energi yang lebih tinggi atau *excited state* (pita konduksi) menghasilkan *hole* (h⁺) [15]. Dalam tahap ini energi celah pita atau *band gap energy* menunjukkan panjang gelombang dari sinar yang efektif terserap pada material fotokatalis. Setelah elektron dan *hole* terpisah, sebagian besar elektron dan *hole* ini akan berinteraksi kembali di permukaan atau *bulk* partikel atau yang disebut dengan efek rekombinasi.

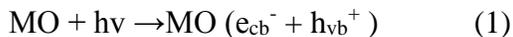
Mekanisme reduksi dan oksidasi (*redox mechanism*) melalui terbentuknya *hole* dan

<http://ejurnal.binawakya.or.id/index.php/MBI>

Open Journal Systems



elektron dimanfaatkan dalam proses degradasi substrat yang bersinggungan dengan permukaan fotokatalis. Elektron dalam hal ini akan berinteraksi dengan udara atau oksigen (O₂) menghasilkan radikal superoksida ($\bullet\text{O}^{2-}$), sedangkan *hole* dapat berinteraksi dengan molekul air (H₂O) membentuk radikal aktif hidroksil (OH \cdot) dan H₂O⁺ [18]. Radikal-radikal ini akan terus dapat dihasilkan selama material fotokatalis diinduksi oleh sinar atau foton dan akan menguraikan senyawa organik menjadi molekul-molekul kecil seperti CO₂, H₂O dan asam mineral [7]. Berikut merupakan persamaan *fundamental* dari reaksi fotokatalis :



dimana MO adalah Metal Oksida contohnya ZnO, elektron yang dihasilkan memicu terjadinya reaksi reduksi sehingga terbentuk anion superoksida ($\bullet\text{O}^{2-}$), molekul hidrogen peroksida (H₂O₂), radikal hidroksil (OH \cdot), anion hidrogen dioksida (HO₂⁻) dan radikal hidroperoksi (*HO₂)[16].

Fotoelektrokatalisis

Fotoelektrokatalisis adalah proses fotokatalisis dengan disertai penambahan potensial melalui material katalis, untuk menghasilkan “fotoreaktor bias”, yang dapat meminimalisasi rekombinasi elektron-*hole*. Pada proses fotoelektrokatalisis digunakan elektroda terpisah: Elektroda kerja yang dilapisi dengan katalis (sebagai fotoanoda) dan elektroda *counter* (sebagai katoda). Pemberian potensial positif yang melewati fotoanoda akan menarik elektron fotogenerasi ke arah katoda, kemudian hal ini akan meminimalisasi rekombinasi pasangan elektron-*hole* dalam katalis sehingga dapat meningkatkan kecepatan oksidasi senyawa organik pasangan elektron-*hole* dapat dihasilkan dalam semikonduktor melalui absorpsi cahaya dengan energi yang sesuai yaitu sama atau lebih besar dari *band-gap* energi semikonduktor [19].

Semikonduktor

Semikonduktor adalah suatu material dengan konduktivitas listrik antara konduktor dan isolator. Sifat elektronik semikonduktor ditandai oleh adanya pita valensi (*Valence Band*) dan pita konduksi (*Conduction Band*). Pita valensi

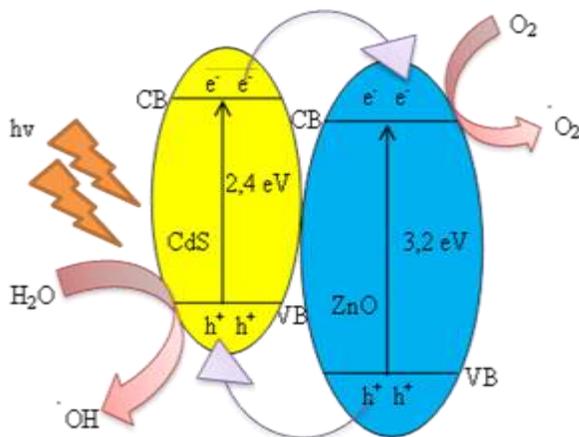
merupakan pita orbital molekul yang berikatan (*bonding*), sedangkan pita konduksi merupakan pita molekul yang tidak berikatan (*antibonding*) Celah energi yang memisahkan kedua pita tersebut disebut sebagai energi *gap* (E_g) atau *band gap* (Litter, 1999). Ketika sebuah energi foton lebih besar atau sama dengan energi *band gap* yang diserap oleh partikel semikonduktor, elektron dari pita valensi dipromosikan ke pita konduksi dengan generasi simultan dari lubang (*hole*) di pita valensi [18].

Berdasarkan dari pembawa muatannya, semikonduktor dapat digolongkan menjadi dua, yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik. Semikonduktor intrinsik adalah semikonduktor yang belum disisipi atom lain. Ketersediaan pembawa muatan pada semikonduktor ini berasal dari persenyawaan unsur-unsur secara langsung. Semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor yang partikel pembawa muatannya berasal dari unsur lain.

Diantara berbagai nanomaterial semikonduktor, logam-oksida seperti ZnO (3,37 eV) dan TiO₂ (3,2 eV) telah dipelajari sebagai fotokatalis karena memiliki *band gap* yang sesuai, aktivitas fotokatalitik tinggi, dan stabilitas terhadap fotokorosi. ZnO dikenal memiliki celah pita yang lebar, dan merugikan untuk penyerapan dan penggunaan rentang energi matahari yang berada pada daerah cahaya tampak. Untuk menggunakan cahaya tampak dan peningkatan efisiensi fotokatalitik dari semikonduktor metaloksida ini, perlu memasangkannya dengan fotosensitizer kisi yang cocok. Semikonduktor seperti CdS, CdSe, PbS, InP, Ag₂S, dan Bi₂S₃ yang menyerap cahaya di wilayah cahaya tampak, dapat berfungsi sebagai sensitizer, karena mereka mampu mentransfer elektron ke semikonduktor celah pita besar. Berikut adalah gambar dari *band-gap* ZnO-CdS [20]:



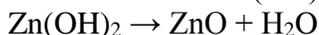
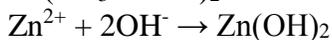
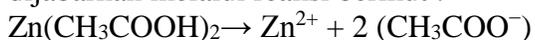
Gambar 1. Diagram band-gap ZnO- CdS heterojunction tipe-II



Semikonduktor ZnO

ZnO memiliki potensial aplikasi yang besar pada fotokatalisis, karena sifat fisiknya yang beragam dan pembuatannya yang mudah. ZnO adalah semikonduktor *direct-bandgap*, dan memiliki celah pita lebar 3,3 eV [5]. Untuk aplikasi fotoelektrokimia, penting untuk membentuk ZnO secara langsung pada substrat konduktif tanpa merusak mikro struktur dari ZnO. Di antara berbagai strategi sintesis, elektrodeposisi memiliki keuntungan yang lumayan banyak yaitu dapat dikontrol, sederhana, murah dan cocok untuk produksi berskala besar, serta dapat diterapkan dalam fabrikasi bahan film tipis pada substrat konduktif dengan permukaan bebas. Secara khusus, elektrodeposisi dapat menjadi salah satu metode yang paling efisien dalam mengendalikan pertumbuhan struktur nano semikonduktor [21].

Proses sintesis ZnO melalui metode elektrodeposisi dengan bahan yang digunakan adalah $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$. Larutan seng asetat akan membentuk ion-ion Zn^{2+} dan CH_3COO^- kemudian tahapan membentuk ZnO dapat dijabarkan melalui reaksi berikut :



Semikonduktor CdS

CdS adalah semikonduktor dengan nilai celah pita energi sekitar 2,4 eV dan koefisien penyerapan optik tinggi, memiliki aplikasi potensial di optoelektronik (dioda pemancar cahaya, laser, transistor), fotovoltaik atau perangkat fotosensitif. Di bidang fotokatalisis, CdS dapat bertindak sebagai fotosensitizer untuk ZnO, mampu mentransfer elektron ke semikonduktor dengan celah pita yang lebih besar [22].

Untuk meningkatkan kinerja fotokatalitik dan fotoelektrokimia dari ZnO di bawah cahaya tampak iradiasi, nanopartikel CdS digunakan untuk melapisi nanorods ZnO untuk membentuk ZnO-CdS, yang memberikan peningkatan fotokatalitik dan fotoelektrokimia di bawah cahaya tampak iradiasi [5]. Metode yang umum digunakan untuk mensintesis film tipis CdS adalah penguapan vakum, *sputtering*, semprotan pirolisis, dan *Chemical Bath Deposition* (CBD). Metode *Chemical Bath Deposition* (CBD) adalah teknik murah dan berskala untuk pengendapan Cd berkualitas tinggi [23].

METODE PENELITIAN

Semikonduktor ZnO-CdS/FTO disintesis dengan menggunakan metode elektrodeposisi dan *Chemical Bath Deposition*. Elektroda kerja kaca FTO dipotong pada ukuran 1x2 cm direndam menggunakan HNO_3 , aseton, akuades masing-masing selama 15 menit. Kemudian dikeringkan pada suhu ruang.

Larutan induk yang digunakan untuk sintesis ZnO diperlukan larutan 0,1M $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ dan 0,4M KNO_3 . Larutan KNO_3 dan larutan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ dicampurkan hingga homogen. Kemudian ditambah larutan NaOH 1 M tetes demi tetes hingga mencapai pH 8. Kemudian larutan dipanaskan hingga mencapai suhu 70°C, selama proses pemanasan 2 jam dilakukan pengadukan dengan kecepatan 250 rpm setelah itu dilakukan *bubbling* udara selama 20 menit kemudian dilakukan proses elektrodeposisi menggunakan potensiostat.

Proses elektrodeposisi dilakukan untuk melapisi FTO dengan ZnO. Proses

<http://ejurnal.binawakya.or.id/index.php/MBI>

Open Journal Systems



elektrodeposisi dilakukan dengan sistem 3 elektroda yaitu (Elektroda kerja pada FTO, *Elektroda Reference* pada Ag/AgCl dan *Counter electrode* pada Pt). Potensial aplikasi ditentukan dengan menggunakan *Linear Sweep Voltametry* (LSV) dengan pengaturan potensial 0 sampai -3,0 volt, ZnO dideposisi dengan galvanostat dalam waktu 1200 sekon. Setelah itu, kaca FTO yang telah terlapis dikeringkan pada suhu ruang dan dilakukan penimbangan.

Untuk melapisi ZnO/FTO dengan CdS dilakukan dengan metode CBD (*Chemical Bath Deposition*) dengan cara memanaskan akuades sebanyak 47,7 mL di dalam *water bath* hingga mencapai suhu 60°C, lalu dilakukan penambahan 0,723 gram CdSO₄ sehingga larutan memiliki konsentrasi 12,5 M, lalu dilakukan pemanasan hingga mencapai suhu 60°C, ketika suhu sudah mencapai 60°C dilakukan penambahan 27,3 mL NH₄OH 1M dan dilakukan pemanasan hingga suhu 60°C. Setelah mencapai suhu 60°C dilakukan penambahan 1,259 gram thiourea sehingga larutan memiliki konsentrasi akhir yaitu 0,22 M. Setelah larutan terbentuk dilakukan pencelupan FTO yang sudah terdeposit ZnO selama 7 menit, lalu dilakukan pembilasan dengan akuades dan dilakukan pengeringan dalam suhu ruang.

Karakterisasi Material

Karakterisasi dengan difraksi sinar X (PanAlytical) dilakukan untuk mengetahui secara kualitatif terbentuknya lapisan ZnO/CdS yang telah disintesis. Karakterisasi dengan SEM-EDX (*Phenom pro X desktop SEM with EDX*) dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi unsur dari terbentuknya lapisan ZnO-CdS yang telah disintesis.

Uji Fotodegradasi Limbah Cair MO

Proses fotokatalisis dilakukan di dalam reaktor dengan larutan MO 10 ppm sebanyak 15 mL. Pada masing-masing proses dilakukan dengan penyinaran sinar tungsten dengan variasi waktu 1, 2, 3 dan 4 jam kemudian dilakukan pengukuran absorbansi *methyl orange* dengan spektrofometer UV-Vis.

<http://ejurnal.binawakya.or.id/index.php/MBI>

Open Journal Systems

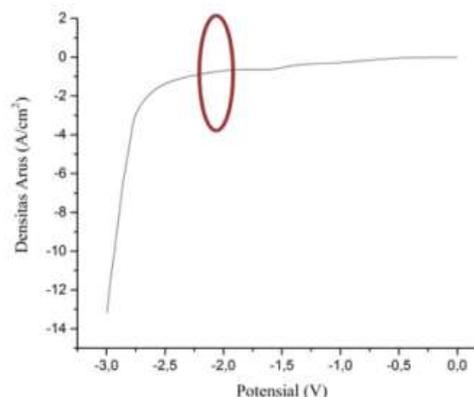
Proses fotoelektrokatalisis dilakukan di dalam reaktor dengan larutan MO 10 ppm sebanyak 15 mL, serta ditambahkan potensial eksternal sebesar +5 volt. Pada masing-masing proses dilakukan dengan penyinaran menggunakan sinar tungsten pada waktu 4 jam, kemudian dilakukan pengukuran absorbansi dengan spektrofometer UV-Vis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Elektrodeposisi

Pada proses elektrodeposisi ZnO tahap pertama yang dilakukan adalah menentukan arus minimum yang dapat digunakan untuk proses deposisi ZnO. Penentuan arus minimum dilakukan dengan *Linear Sweep Voltametry* (LSV) menggunakan alat potensiostat. Tahap LSV dilakukan dengan pemberian potensial pada rentang tertentu. Pada pengujian LSV didapatkan grafik LSV seperti tersajikan pada gambar 1.

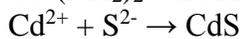
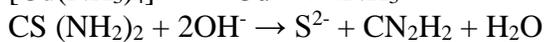
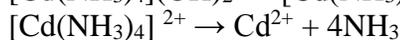
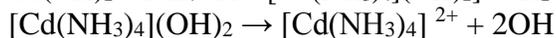
Gambar 2. Grafik *Linear Sweep Voltammetry* ZnO



Berdasarkan LSV arus yang diperoleh untuk mengendapkan ZnO pada kaca FTO adalah -5,1 mA.

Deposisi CdS pada FTO terlapis ZnO

Proses deposisi CdS pada kaca FTO yang sudah terlapis dengan ZnO dilakukan dengan metode *Chemical Bath Deposition* (CBD). Proses deposisi CdS menggunakan CdSO₄ sebagai sumber Cd²⁺ dan thiourea sebagai sumber S²⁻. hasil yang diperoleh adalah seperti gambar 3. Reaksi yang terjadi adalah [24] :

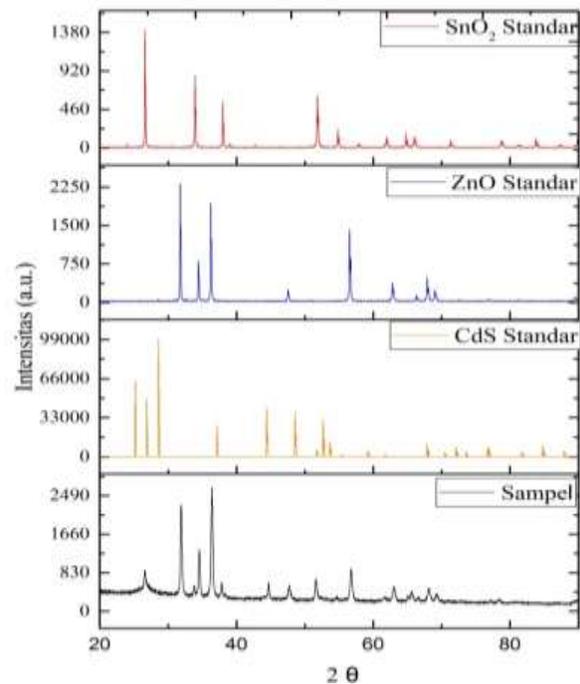


Gambar 3. CdS terdepositasi pada ZnO/FTO



Karakterisasi dengan difraksi sinar-X dilakukan untuk mengetahui secara keberadaan secara kualitatif ZnO dan CdS dalam elektroda hasil sintesis. Proses analisis dengan sinar X terhadap hasil sintesis dilakukan pada rentang sudut difraksi (2θ) $20,00^\circ - 90,00^\circ$ dengan radiasi Cu $K\alpha_1$ ($\lambda = 1,54098 \text{ \AA}$), tegangan 400 kV dan arus 300 mA. Hasil difraksi sinar-X pada sampel dapat dilihat pada gambar 4 dibandingkan dengan nilai *d spacing* dalam spektra dengan puncak standar dari CdS dibandingkan dengan RRUFF ID R070017 dengan nama mineral untuk CdS adalah *greenockite*, ZnO dibandingkan dengan RRUFF ID R050419 dengan nama mineral *zincite*, dan SnO_2 dibandingkan dengan RRUFF ID R040017 dengan nama mineral *cassiterite*.

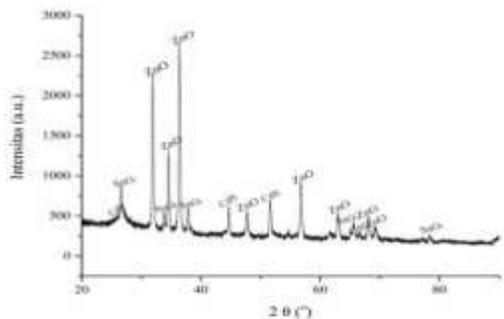
Gambar 4. Difraktogram sampel SnO_2 standar, ZnO standar, CdS standar dan sampel



Pada difraktogram sampel hasil sintesis pada 2θ sebesar $26,54^\circ$; $44,66^\circ$ dan $51,54^\circ$ peak ini hampir berimpit dengan standar CdS pada 2θ $26,88^\circ$; $44,40^\circ$ dan $51,73^\circ$ dengan selisih berturut-turut $0,34$; $0,26$; $0,19$. Pada nilai 2θ $31,902^\circ$; $36,4^\circ$; $34,51^\circ$ hampir berimpit dengan *peak* standar ZnO pada 2θ pada $31,78^\circ$; $34,4^\circ$; $36,26^\circ$ dengan selisih $0,13$; $0,11$ dan $0,14$ menunjukkan bahwa ZnO terdapat pada elektroda lapis tipis hasil sintesis. Pada nilai 2θ $26,83^\circ$; $33,8^\circ$; $51,54^\circ$ hampir berimpit dengan *peak* standar SnO_2 pada 2θ pada $26,64^\circ$; $33,87^\circ$; $51,812^\circ$ dengan selisih $0,19$; $0,07$ dan $0,272$ menunjukkan bahwa SnO_2 terdapat pada elektroda lapis tipis hasil sintesis. Gambar 5, menunjukkan bahwa terdapat keberadaan senyawa ZnO-CdS pada elektroda hasil sintesis.



Gambar 5. Difraktogram sampel ZnO-CdS/FTO



Ukuran rata-rata kristal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Debye-Scherrer*. Perubahan kristalinitas dapat dibuktikan dengan nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) dari puncak difraksi sinar-X. Nilai tersebut digunakan untuk menghitung ukuran bulir kristal dari CdS. Tabel 1 menunjukkan nilai FWHM dan ukuran bulir kristal dari sampel ZnO-CdS/FTO, semakin rendah nilai FWHM maka semakin meningkat kristalinitas dan ukuran bulir kristalnya. Hal ini sesuai dengan persamaan *Debye-Scherrer* bahwa FWHM dan ukuran bulir kristal berbanding terbalik. Kualitas kristal yang baik ditandai dengan nilai FWHM yang kecil dan ukuran bulir yang cukup besar. Semakin besar nilai FWHM menandakan bahwa kisi kristal semakin tidak homogen dan susunan kristalnya tidak teratur. Ukuran rata-rata bulir kristal CdS sebesar 42,27 nm sedangkan rata-rata bulir kristal ZnO sebesar 38,97 nm.

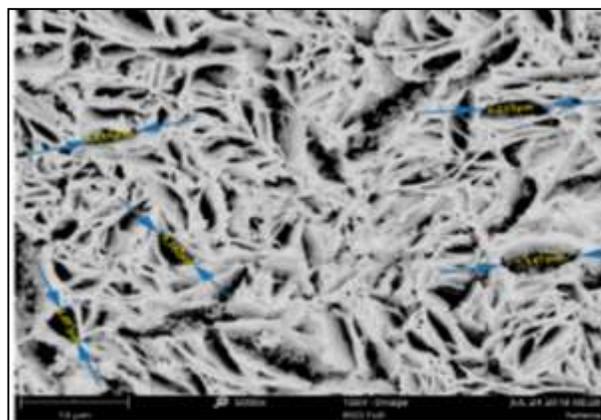
Tabel 1. Nilai FWHM dan ukuran bulir kristal ZnO-CdS

Logam Oksida	2θ(°)	θ(°)	D(nm)	FWHM
CdS	26,54	13,27	42,51	0,2005
	44,66	22,33	53,67	0,1671
	51,54	25,77	30,62	0,3008
ZnO	31,91	15,96	32,27	0,2674
	34,51	17,26	51,99	0,1671
	36,4	18,2	32,67	0,2674

Morfologi Material Semikonduktor ZnO/CdS

Karakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dari material nano komposit ZnO-CdS. Sedangkan analisis EDX untuk mengetahui komposisi unsur penyusun dari material ZnO-CdS secara kuantitatif. Komposisi umum dari sampel dapat digambarkan sebagai kombinasi ZnO, CdS. Hasil SEM disajikan pada gambar 6, sedangkan hasil analisis EDX disajikan pada tabel 2.

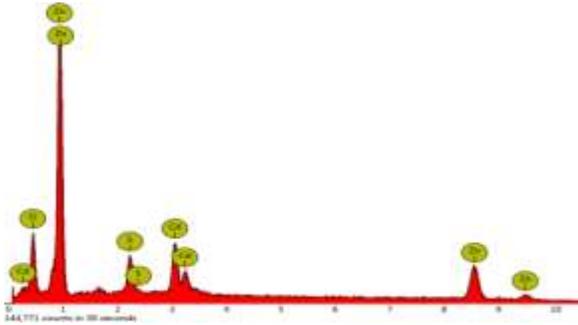
Gambar 6. Citra morfologi lapisan tipis ZnO-CdS/FTO



Analisis SEM sesuai Gambar 6 menunjukkan bahwa morfologi permukaan ZnO-CdS berbentuk bintang, bentuk bintang muncul karena keselarasan hirarkis CdS dan ZnO [25]. Pada gambar tersebut terlihat bahwa ZnO-CdS memiliki pertumbuhan secara vertikal, dengan sebaran (*coverage*) yang baik di atas substrat dengan diameter yang bervariasi yaitu 4,49 μm; 4,17 μm; 5,16 μm; 6,23 μm; 7,15 μm. Analisis komposisi atom menggunakan EDX pada lapisan tipis semikonduktor ZnO-CdS yang terbentuk bertujuan untuk mengetahui atom-atom penyusun lapisan.



Gambar 7. Hasil uji komposisi lapisan tipis ZnO/CdS



Gambar 7 menunjukkan hasil uji komposisi dengan teknik EDX dari lapisan tipis hasil deposisi, dimana sumbu X merupakan energi dispersif dan sumbu Y adalah intensitas pencacahan atom-atom penyusunnya. Komposisi dari masing-masing unsur yang terdapat pada semikonduktor dapat diketahui melalui analisis EDX, berikut adalah hasil komposisi sampel.

Tabel 2. Hasil analisis EDX dari ZnO-CdS

No.	Unsur	Massa Relatif (%)
1	Zinc (Zn)	51.6
2	Cadmium (Cd)	22,57
3	Oksigen (O)	21.5
4	Sulfur (S)	4.2
	Jumlah	100

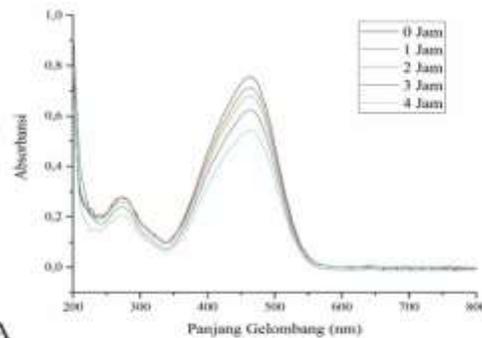
Berdasarkan tabel 2 dapat diketahui bahwa hasil analisis EDX pada semikonduktor ZnO-CdS/FTO menunjukkan bahwa unsur yang paling dominan pada semikonduktor ZnO-CdS/FTO adalah unsur Zn, yaitu sebesar 51,6 % dan O sebanyak 21,5 % lalu unsur Cd sebanyak 22,7 % dan unsur S sebanyak 4,2 %. Hasil dari EDX menunjukkan bahwa terbentuk ZnO-CdS pada substrat kaca FTO.

Aplikasi Fotokatalis Material ZnO-CdS/FTO

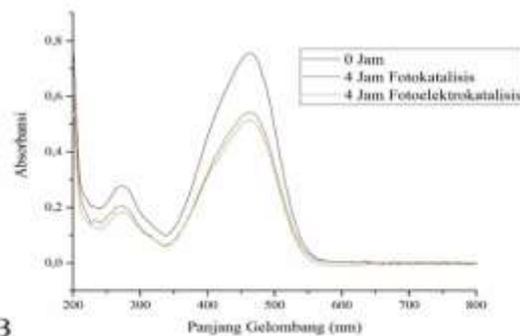
Sebelum dilakukan analisis maka dicari panjang gelombang maksimum MO dengan menggunakan UV-Vis pada 400-800 nm dan diperoleh panjang gelombang maksimum MO adalah 463 nm. Pada saat ZnO-CdS ditambahkan ke larutan MO, warna pada larutan MO yang berwarna kuning akan berubah menjadi tidak berwarna secara bertahap.

Berdasarkan hasil, ZnO-CdS mampu mendegradasi larutan MO 10 ppm. Penurunan absorbansi larutan MO dapat dilihat dari gambar 8:

Gambar 8. Hasil scanning larutan methyl orange dengan penyinaran sinar tungsten dengan metode A. fotokatalisis dan B. Fotoelektrokatalisis



A



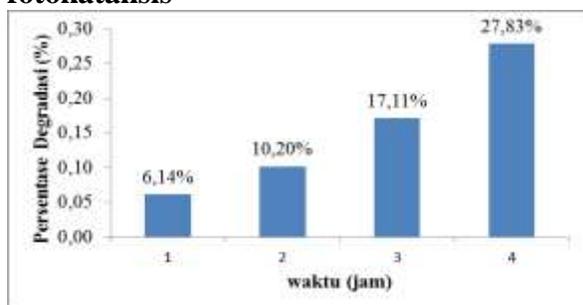
B

Berdasarkan hasil scanning larutan methyl orange dapat diketahui bahwa semakin lama waktu degradasi yang berlangsung maka konsentrasi larutan akan semakin berkurang karena semakin lama proses degradasi maka akan makin banyak MO yang terdegradasi. Lama penyinaran pada proses fotodegradasi menggambarkan lama interaksi fotokatalis dengan sinar untuk menghasilkan radikal $\bullet\text{OH}$ dan kontak antara radikal $\bullet\text{OH}$ dengan substrat MO dalam proses degradasi. Uji fotoelektrokatalisis dilakukan dengan penambahan potensial inisiasi sebesar +0,5 volt. Gambar 8 menunjukkan bahwa material fotokatalis ZnO/CdS dapat menghasilkan degradasi yang lebih tinggi dengan metode fotoelektrokatalisis dibandingkan dengan

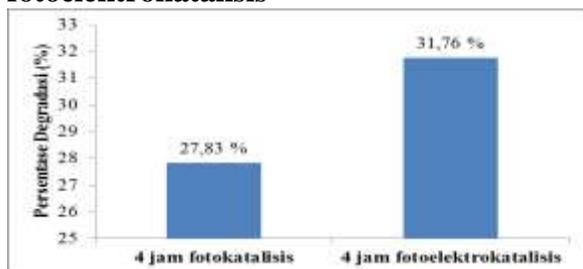


fotokatalisis. Metode fotoelektrokatalisis terbukti lebih baik mengindikasikan bahwa rekombinasi pasangan elektron-hole dapat dikurangi, sehingga keberadaan radikal yang bertanggung jawab untuk memecah ikatan kimia molekul akan lebih banyak tersedia dalam larutan, dan cukup untuk memecah ikatan kromofor (N=N) MO sehingga menurunkan konsentrasi larutan lebih banyak. Pada proses fotokatalisis tidak banyak terjadi perubahan warna karena kurangnya konsentrasi radikal bebas dalam larutan.

Gambar 9. Degradasi MO melalui fotokatalisis



Gambar 10. Perbandingan degradasi MO menggunakan fotokatalisis dan fotoelektrokatalisis



Gambar 10 adalah perbandingan persentase degradasi dengan menggunakan metode fotokatalisis dan fotoelektrokatalisis pada waktu 4 jam dengan penyinaran sinar tungsten, hasil persentase degradasi *methyl orange* pada waktu 4 jam dengan menggunakan metode fotokatalisis adalah 27,83 % sedangkan dengan metode fotoelektrokatalisis adalah 31,76 %.

PENUTUP

Kesimpulan

Elektroda lapis tipis ZnO-CdS/FTO telah berhasil disintesis dengan metode elektrodeposisi dengan arus aplikasi sebesar -5,1 mA dan dengan metode *Chemical Bath Deposition* (CBD). Bentuk kristal menyerupai bintang dan ukuran rata-rata bulir kristal CdS sebesar 42,27 nm dan ZnO sebesar 38,97 nm. Persentase degradasi yang diperoleh dengan penyinaran sinar tungsten melalui metode fotokatalisis pada waktu 94 jam adalah 27,83 % dan dengan metode fotoelektrokatalisis pada waktu 4 jam adalah 31,76 %.

Saran

Perlu dieksplorasi lebih lanjut tentang pengaruh konsentrasi terhadap efektivitasnya untuk mendegradasi zat warna.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khan, R., Hassan, M. S., Cho, H.-S., Polyakov, A. Y., Khil, M.-S. dan Lee, I.-H., 2014, Facile Low-Temperature Synthesis of ZnO Nanopyramid and Its Application to Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Dye under UV Irradiation. *Materials Letters* 133: 224-227.
- [2] Mohammadi, N., Khani, H., Gupta, V. K., Amereh, E. dan Agarwal, S., 2011, Adsorption Process of Methyl Orange Dye onto Mesoporous Carbon Material—Kinetic and Thermodynamic Studies. *Journal of colloid and interface science* 362(2): 457-462.
- [3] Khamidah, I.N., Djunaedi, M.C., dan Khabibi, 2011, [Pemanfaatan Kitosan Termomodifikasi Asam Askorbat Sebagai Adsorben Ion Logam Kobalt \(II\) dan Nikel \(II\)](#), *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 14 (1): 21-25
- [4] Djunaedi M.C., dan Khabibi K., 2010, [Sintesis Asam Eugenoksi Asetat \(EOA\) dari Eugenol untuk Ekstraktan Logam Berat dan Recovery Krom dari Limbah Elektroplating](#), *Jurnal Kimia, Sains dan Aplikasi*, 13 (1): 12-17
- [5] Li, C., Ahmed, T., Ma, M., Edvinsson, T. dan Zhu, J., 2013, A Facile Approach to ZnO/Cds Nanoarrays and Their



- Photocatalytic and Photoelectrochemical Properties. *Applied Catalysis B: Environmental* 138: 175-183.
- [6] Wei, S., Shao, Z., Lu, X., Liu, Y., Cao, L. dan He, Y., 2009, Photocatalytic Degradation of Methyl Orange over Ito/Cds/Zno Interface Composite Films. *Journal of Environmental Sciences* 21(7): 991-996.
- [7] Velanganni, S., Pravinraj, S., Immanuel, P. dan Thiruneelakandan, R., 2018, Nanostructure Cds/Zno Heterojunction Configuration for Photocatalytic Degradation of Methylene Blue. *Physica B: Condensed Matter* 534: 56-62.
- [8] Xie, Y. P., Yang, Y., Wang, G. dan Liu, G., 2017, Oxygen Vacancies Promoted Interfacial Charge Carrier Transfer of Cds/Zno Heterostructure for Photocatalytic Hydrogen Generation. *Journal of colloid and interface science* 503: 198-204.
- [9] CHANG, P.-C., FAN, Z., WANG, D., TSENG, W.-Y., CHIOU, W.-A., HONG, J. DAN LU, J. G., 2004, ZNO NANOWIRES SYNTHESIZED BY VAPOR TRAPPING CVD METHOD. *CHEMISTRY OF MATERIALS* 16(24): 5133-5137.
- [10] Minami, T., Nanto, H. dan Takata, S., 1984, Highly Conductive and Transparent Aluminum Doped Zinc Oxide Thin Films Prepared by Rf Magnetron Sputtering. *Japanese Journal of Applied Physics* 23(5A): L280.
- [11] Jang, J. S., Joshi, U. A. dan Lee, J. S., 2007, Solvothermal Synthesis of Cds Nanowires for Photocatalytic Hydrogen and Electricity Production. *The Journal of Physical Chemistry C* 111(35): 13280-13287.
- [12] SENTHIL, K., MANGALARAJ, D., DAN NARAYANDASS, S. K., 2001, STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES OF CDS THIN FILMS. *APPLIED SURFACE SCIENCE* 169: 476-479.
- [13] Singh, V., Singh, R., Thompson, G., Jayaraman, V., Sanagapalli, S. dan Rangari, V., 2004, Characteristics of Nanocrystalline Cds Films Fabricated by Sonochemical, Microwave and Solution Growth Methods for Solar Cell Applications. *Solar energy materials and solar cells* 81(3): 293-303.
- [14] Khallaf, H., Oladeji, I. O., Chai, G. dan Chow, L., 2008, Characterization of Cds Thin Films Grown by Chemical Bath Deposition Using Four Different Cadmium Sources. *Thin Solid Films* 516(21): 7306-7312.
- [15] CHEN, J.-J., WU, J. C., WU, P. C. DAN TSAI, D. P., 2010, PLASMONIC PHOTOCATALYST FOR H₂ EVOLUTION IN PHOTOCATALYTIC WATER SPLITTING. *THE JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY C* 115(1): 210-216.
- [16] Sutanto, H. dan Wibowo, S., 2015, Semikonduktor Fotokatalis Titania Dan Seng Oksida:(Sintesis, Deposisi, Dan Aplikasi).
- [17] Yang, J., Yan, H., Zong, X., Wen, F., Liu, M. dan Li, C., 2013, Roles of Cocatalysts in Semiconductor-Based Photocatalytic Hydrogen Production. *Phil. Trans. R. Soc. A* 371(1996): 20110430.
- [18] LITTER, M. I., 1999, HETEROGENEOUS PHOTOCATALYSIS: TRANSITION METAL IONS IN PHOTOCATALYTIC SYSTEMS. *APPLIED CATALYSIS B: ENVIRONMENTAL* 23(2-3): 89-114.
- [19] Zanoni, M. V. B., Sene, J. J. dan Anderson, M. A., 2003, Photoelectrocatalytic Degradation of Remazol Brilliant Orange 3r on Titanium Dioxide Thin-Film Electrodes. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: chemistry* 157(1): 55-63.
- [20] Khanchandani, S., Kundu, S., Patra, A. dan Ganguli, A. K., 2012, Shell Thickness Dependent Photocatalytic Properties of Zno/Cds Core-Shell Nanorods. *The Journal of Physical Chemistry C* 116 (44): 23653-23662.
- [21] TAK, Y., HONG, S. J., LEE, J. S. DAN YONG, K., 2009, SOLUTION-BASED SYNTHESIS OF A CDS NANOPARTICLE/ZNO NANOWIRE HETEROSTRUCTURE ARRAY.



-
- CRYSTAL GROWTH AND DESIGN 9(6):
2627-2632.
- [22] FAGERIA, P., GANGOPADHYAY, S.
DAN PANDE, S., 2014, SYNTHESIS OF
ZNO/AU AND ZNO/AG
NANOPARTICLES AND THEIR
PHOTOCATALYTIC APPLICATION
USING UV AND VISIBLE LIGHT. RSC
ADVANCES 4(48): 24962-24972.
- [23] H., Oladeji, I. O., Chai, G. dan Chow, L.,
2008, Characterization of Cds Thin Films
Grown by Chemical Bath Deposition Using
Four Different Cadmium Sources. *Thin
Solid Films* 516(21): 7306-7312.
- [24] Pentia, E., Pintilie, L., Pintilie, I. dan Botila,
T., 2000, The Influence of Cadmium Salt
Anion on the Growth Mechanism and on the
Physical Properties of Cds Thin Films.
*Journal of Optoelectronics and Advanced
Materials* 2(5): 593-601.
- [25] Barpuzary, D. dan Qureshi, M., 2013,
Enhanced Photovoltaic Performance of
Semiconductor-Sensitized Zno-Cds
Coupled with Graphene Oxide as a Novel
Photoactive Material. *ACS applied materials
& interfaces* 5(22): 11673-11682