

Co(II)-TiO₂/Ti Thin Film as Antibacterial Photocatalysts *Escherichia Coli* Under Visible Light Illumination

(Lapisan Tipis Co(II)-TiO₂/Ti Sebagai Fotokatalis Antibakteri *Escherichia Coli*
dengan Bantuan Sinar Tampak)

Anthoni Batahan Aritonang^{*}, Nuri Rozaqina, Harlia

Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura

Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak, 78124, Kalimantan Barat, Indonesia

ABSTRACT

A thin layer of TiO₂ doped with Cobalt (II) immobilized on the surface of a titanium foil (Co(II)-TiO₂/Ti) has been synthesized from a titanium foil (Ti) as a TiO₂ precursor as well as a thin layer matrix and CoCl₂.6H₂O as a source of Co(II) on variations of 0.5%, 1% and 2%. Synthesis was carried out by anodizing method using ethylene glycol electrolyte solution with the addition of NH₄F and followed by calcination treatment at 450°C for 3 hours. The obtained Co(II)-TiO₂/Ti thin films were characterized using Fourier-transform infrared (FT-IR) spectroscopy, Diffuse Reflectance UV-Vis (DRSUV-Vis) and X-ray diffraction (XRD) methods. Doping Co(II) variations of 0.5%, 1.0% dan 2.0% in the TiO₂ structure causes a shift in the vibrational absorption peak of Ti-O (460.99 cm⁻¹) towards a smaller wave number of 459.06 cm⁻¹ respectively ; 453.27 cm⁻¹ and 451.34 cm⁻¹. This is supported by the results of the DRUV-Vis analysis using the tauc plot method, which shows a decrease in the band gap energy of TiO₂ (3.24 eV) to 2.57 eV, 2.47 eV and 2.28 eV. Based on XRD analysis, it is known that the Co(II)-TiO₂/Ti photocatalyst has anatase phase with a crystal size of 15-17 nm. The photocatalytic activity of Co(II)-TiO₂/Ti under visible light illumination was evaluated for inhibition of *Escherichia coli* bacterial growth. Co(II)-TiO₂/Ti photocatalyst at 2.0% Co(II) concentration had the best inhibition (43.2%) compared to 0.5% and 1.0% Co(II) concentrations, respectively 18% inhibition and 27%.

Lapisan tipis TiO₂ terdoping kation Cobalt (II) diimobilisasi pada permukaan foil titanium (Co(II)-TiO₂/Ti) telah disintesis dari foil titanium (Ti) sebagai prekursor TiO₂ sekaligus matrik lapisan tipis dan CoCl₂.6H₂O sebagai sumber Co (II) pada variasi 0,5%, 1,0% dan 2,0%. Sintesis dilakukan dengan metode anodisasi menggunakan larutan elektrolit etilen glikol dengan penambahan NH₄F dan diikuti perlakuan kalsinasi pada suhu 450°C selama 3 jam. Lapisan tipis Co(II)-TiO₂/Ti yang didapatkan dikarakterisasi menggunakan metode spektroskopi *Fourier-transform infrared* (FT-IR), *Diffuse Reflectance* UV-Vis (DRSUV-Vis) dan difraksi sinar-X (XRD). Doping Co(II) variasi 0,5%, 1,0% dan 2,0% pada struktur TiO₂ menyebabkan pergeseran puncak serapan vibrasi Ti-O (460,99 cm⁻¹) ke arah bilangan gelombang lebih kecil berturut-turut 459,06 cm⁻¹; 453,27 cm⁻¹ dan 451,34 cm⁻¹. Hal ini didukung hasil analisa DRSUV-Vis menggunakan metode Tauc Plot dimana penurunan energi celah pita TiO₂ (3,24 eV) menjadi 2,57 eV, 2,47 eV dan 2,28 eV. Berdasarkan analisa XRD diketahui bahwa fotokatalis Co(II)-TiO₂/Ti memiliki fasa anatase dengan ukuran kristal 15-17 nm. Aktivitas fotokatalisis Co(II)-TiO₂/Ti dibawah iluminasi sinar tampak dievaluasi untuk penghambatan pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*. Fotokatalis Co(II)-TiO₂/Ti pada konsentrasi Co(II) 2% memiliki daya hambat yang paling baik (43,2%) dibandingkan dengan konsentrasi Co(II) 0,5% dan 1% masing-masing daya hambat 18% dan 27%.

Keywords: Co(II)-TiO₂/Ti, Anodization, Photocatalyst, Antibacterial, *Escherichia coli*.

^{*}Corresponding author:
Anthoni Batahan Aritonang
E-mail: anthoni.b.aritonang@chemistry.untan.ac.id

PENDAHULUAN

Teknologi semikonduktor sudah menjadi pusat perhatian dari banyak orang karena berpotensi dalam pengaplikasian untuk mendegradasi zat warna,

polutan dan senyawa organik serta sebagai antibakteri seperti bakteri *Escherichia coli* [1]. Titanium dioksida (TiO₂) merupakan material semikonduktor yang mempunyai fotoaktivitas yang baik, stabil, tidak berbahaya (beracun), ramah lingkungan dan relatif

mudah. Aktivitas fotokatalis TiO₂ banyak digunakan dalam peranan mendegradasi senyawa organik yang terdapat di udara dan di air serta destruksi mikroorganisme seperti bakteri [2].

Titanium dioksida (TiO₂) memiliki beberapa jenis bentuk kristal yaitu, *anatase*, *rutile*, dan *brookite*. Struktur TiO₂ yang biasa digunakan adalah struktur *anatase* dengan energi celah pita sebesar 3,0-3,2 eV [3]. Semikonduktor TiO₂ memiliki keterbatasan sebagai fotokatalis yaitu pada energi celah pita yang besar, dimana hanya dapat bekerja di bawah sinar UV. Hal inilah yang menyebabkan diperlukannya modifikasi struktur elektron pada permukaan fotokatalis TiO₂ agar pita serapannya dapat bergeser ke daerah sinar tampak. Modifikasi yang bisa dilakukan yaitu dengan menyisipkan (doping) kation logam pada struktur TiO₂ [4]. Kation logam yang berpotensi dalam meningkatkan aktivitas fotokatalis TiO₂ yaitu dopan Co(II) karena memiliki ukuran jari-jari ionik yang hampir mirip dengan Ti(IV), dimana Co(II) = 0,65 Å dan Ti(IV) = 0,61 Å [5]. Penambahan Co(II) pada struktur TiO₂ berperan dalam mengecilkan celah pitanya sehingga dapat menggeserkan pita serapannya ke daerah sinar tampak [6]. Struktur TiO₂ yang terdoping Co(II) akan meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya karena pergeseran serapan oleh daerah sinar UV ke daerah sinar tampak [7].

Kualitas air bersih merupakan suatu hal yang berperan sangat penting dalam kesehatan tubuh. Permasalahan kontaminasi bakteri *Escherichia coli* pada air bersih sudah diatasi dengan beberapa cara, diantaranya yaitu klorinasi. Proses menggunakan klorinasi tidak efektif karena menghasilkan produk samping yang bersifat karsinogenik. Teknologi alternatif yang dapat digunakan dalam mengatasi permasalahan kontaminasi tersebut adalah *Advanced Oxidation Process* (AOP) yang melibatkan proses fotokimia dan katalisis di permukaan semikonduktor. Sintesis Co(II)-TiO₂/Ti berupa lapisan tipis dipermukaan Ti dilakukan dengan metode anodisasi. Selanjutnya lapisan tipis Co(II)-TiO₂/Ti dikarakterisasi menggunakan beberapa metode yang sesuai yakni *Diffuse Reflectance Spectroscopy* UV-Vis (DRS UV-Vis), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Aktivitas fotokatalisis dievaluasi terhadap penghambatan pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dengan metode turbidimetri.

METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan yaitu akuades, *ammonium fluoride* (NH₄F), aseton (C₃H₆O), etanol (C₂H₅) 98% Merck, etilen glikol (C₂H₆O₂) Sigma, bakteri *E.coli*, kobalt (II) klorida heksahidrat (CoCl₂.6H₂O) Sigma, media *nurient broth*, media nutrisi agar, natrium klorida (NaCl), dan foil titanium tebal 3 mm (Grade 2 Astm B265).

Alat yang digunakan yaitu *autoclave*, *furnance*, *Laminar Air Flow* (LAF), lampu *Light Emitting Diode* (LED *flood light* 20 Watt BE-6205, *warm white*), Lux meter (LX-1010B), *magnetic stirrer*, neraca analitik, *power supply*, reaktor anodisasi, sonikator, *shaker*, peralatan gelas, spektrofotometer UV-Vis (merk: Shimadzu UV-1200), *Diffused Reflectance Spectroscopy* UV-Vis (DRS UV-Vis) (merk: Agilent Cary 60), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) (merk: Shimadzu IR Prestige 21), *X-ray Diffraction* (XRD) (merk: X'Pert PRO PANalytical).

Preparasi Foil Ti

Preparasi foil Ti dengan kemurnian 99,6% dan ketebalan 3 mm yang telah termodifikasi digunakan sebagai sumber pembuatan TiO₂. Foil Ti dipotong dengan ukuran 4,5 x 1,5 cm, kemudian diampas menggunakan kertas abrasif sampai permukaan foil bersih dan mengkilap. Selanjutnya Foil Ti dibersihkan dengan proses sonikasi terdiri dari larutan akuades, etanol, dan aseton masing-masing larutan dilakukan selama 10 menit dan secara berturut-turut dalam 10 mL. Setelah dilakukan proses pembersihan, foil Ti dikeringkan dalam suhu ruang.

Sintesis Co(II)-TiO₂/Ti dengan Metode Anodisasi

Plat Ti sebagai anoda dan plat *stainless* sebagai katoda dengan ukuran yang sama dimasukkan ke dalam larutan elektrolit sebanyak 40 mL yang terdiri dari 0,3 gram NH₄F, 96% etilen glikol (EG) dan 4% akuades. Peralatan *power supply* arus DC digunakan sebagai penyedia potensial yang konstan yaitu pada 40 Volt. Proses anodisasi dilakukan dengan waktu 60 menit. Proses anodisasi menghasilkan (Ti(OH)_n berwarna putih. Selanjutnya menyiapkan sampel Co(II)-TiO₂/Ti yang dilakukan menggunakan foil Ti(OH)_n. Foil Ti(OH)_n dimasukkan ke dalam akuades

sebanyak 40 mL dan padatan CoCl₂.6H₂O dengan variasi konsentrasi dopan Co(II) 0,5%; 1,0%; dan 2,0% (b/v) selama 30 menit hingga diperoleh plat Co(II)-Ti(OH)_n. Hasil yang diperoleh kemudian dikeringkan pada suhu 80°C selama 1 jam dan dikalsinasi pada suhu 450°C selama 3 jam.

Karakterisasi Co(II)-TiO₂/Ti

Karakterisasi menggunakan DRS UV-Vis (*Diffuse Reflectance Spectroscopy* UV-Vis) dilakukan untuk mengetahui energi *band gap* semikonduktor Co(II)-TiO₂/Ti. Karakterisasi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dilakukan untuk mengetahui ikatan kimia Ti-O dan Co-O-Ti yang terdapat dalam material hasil sintesis anodisasi. Karakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan untuk melihat struktur kristal Co(II)-TiO₂/Ti yang terbentuk.

Uji Aktivitas Fotokatalis Co(II)-TiO₂/Ti

Uji aktivitas fotokatalis sebagai antibakteri *E.coli* mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [2]. Uji aktivitas antibakteri Co(II)-TiO₂/Ti terhadap bakteri *E.coli* dilakukan dengan pengukuran kekeruhan bakteri menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan reaktor fotokatalitik yang memiliki 1 lampu LED dengan daya 20 watt. Sampel air tercemar yang digunakan adalah air buatan dengan perbandingan air steril dan biakan bakteri yaitu 29:1 dalam 30 mL. Plat Co(II)-TiO₂/Ti dicelupkan ke dalam model air tercemar dan dimasukkan ke dalam reaktor, selanjutnya disinari dengan sinar tampak selama 2 jam. Pengukuran absorbansi dilakukan setiap 20 menit menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

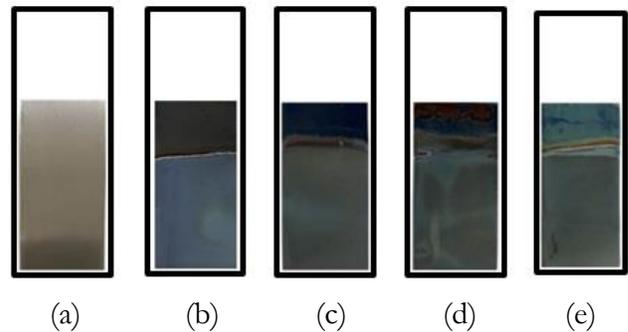
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Co(II)-TiO₂/Ti dengan Metode Anodisasi

Sintesis Co(II)-TiO₂/Ti dilakukan menggunakan metode anodisasi. Anodisasi adalah proses pembentukan suatu lapisan oksida pada permukaan logam tertentu secara elektrokimia. Proses anodisasi menggunakan dua elektroda yang dimasukkan ke dalam larutan elektrolit. Elektroda yang digunakan yaitu foil Ti dan plat stainless, foil Ti berfungsi sebagai anoda sekaligus berfungsi sebagai prekursor dan matriks pendukung TiO₂/Ti. Sedangkan plat stainless berfungsi sebagai katoda. Larutan elektrolit yang

digunakan adalah larutan elektrolit yang mengandung ion florida dalam pelarut etilen glikol [8]. Etilen glikol dipilih sebagai pelarut karena memiliki nilai viskositas yang tidak terlalu tinggi yaitu (1,61 x 10⁻² N.s/m) sehingga memudahkan ion-ion berdifusi dalam larutan [9]. Lapisan TiO₂ akan terbentuk ketika logam Ti teroksidasi saat potensial listrik dihidupkan, sementara pada plat logam stainless terbentuk gelembung gas H₂. Peralatan *power supply* arus DC digunakan untuk menyediakan potensial yang konstan sebesar 40 Volt, karena pembentukan *nanotube* menggunakan larutan etilen glikol optimal pada potensial listrik sebesar 20-65 Volt [8].

Setelah anodisasi berlangsung selama 60 menit, terbentuk Ti(OH)_n berwarna putih pada bagian permukaan foil Ti. Sintesis Co(II)-TiO₂/Ti menggunakan foil Ti(OH)_n yang dimasukkan ke dalam akuades 40 mL dan ditambahkan padatan CoCl₂.6H₂O sebagai sumber dopan Co(II) pada konsentrasi bervariasi, yakni 0,5%; 1,0%; dan 2,0% b/v. Pada perlakuan kalsinasi terjadi penyusunan ulang struktur TiO₂, dimana Co(II) menggantikan beberapa kation Ti⁴⁺ pada struktur TiO₂ membentuk kristal Co(II)-TiO₂. Foil Ti(OH)_n dan Co(II)-Ti(OH)_n yang terbentuk masih berupa padatan amorfus yang selanjutnya dikalsinasi pada suhu 450°C selama 3 jam untuk mengubah amorfus menjadi fasa kristal *anatase* [11]. Hasil kalsinasi TiO₂/Ti dan Co(II)-TiO₂/Ti dapat dilihat pada Gambar 1.



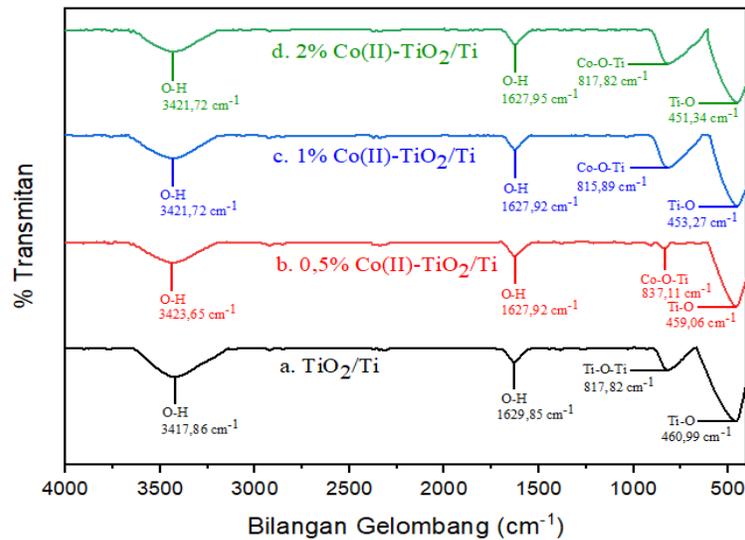
Gambar 1. Foil Ti setelah diampelas (a), dan setelah kalsinasi : TiO₂/Ti (b), Co(II)-TiO₂/Ti 0,5% (b/v) (c), 1,0% (b/v) (d), 2,0% (b/v) (e).

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa setelah perlakuan kalsinasi terbentuk TiO₂ pada permukaan foil berwarna keabu-abuan. Sedangkan bagian yang tidak ditumbuhi TiO₂ berwarna putih. Luas permukaan aktif TiO₂/Ti dan Co(II)-TiO₂/Ti yang

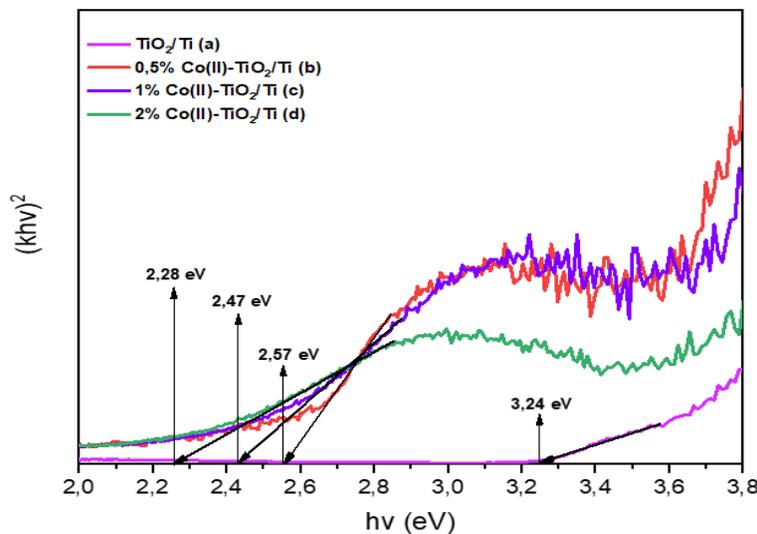
terbentuk berukuran (2,7 x 1,5) cm². Luas permukaan aktif TiO₂/Ti dan Co(II)-TiO₂/Ti yang dihasilkan dapat berpengaruh terhadap aktivitas fotokatalisisnya karena dapat mempengaruhi terhadap kemampuan adsorpsi substrat organik pada permukaan TiO₂/Ti atau Co(II)-TiO₂/Ti yang berhubungan dengan jumlah senyawa organik yang terdegradasi.

Fourier Transform Infrared (FTIR)

Karakterisasi FTIR menggunakan spektroskopi inframerah pada rentang bilangan gelombang 4000-400 cm⁻¹. Hasil karakterisasi TiO₂/Ti dan 0,5%; 1,0% dan 2,0% Co(II)-TiO₂/Ti ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektra FTIR TiO₂/Ti (a), 0,5% Co(II)-TiO₂/Ti (b), 1,0% Co(II)-TiO₂/Ti (c), dan 2,0% Co(II)-TiO₂/Ti (d)



Gambar 3. Kurva energi celah pita TiO₂/Ti (a), 0,5% Co(II)-TiO₂/Ti (b), 1,0% Co(II)-TiO₂/Ti (c), dan 2,0% Co(II)-TiO₂/Ti (d)

Pada Gambar 2 sampel TiO₂/Ti diamati puncak serapan pada bilangan gelombang 460,99 cm⁻¹ dan 817,82 cm⁻¹ yang masing-masing merupakan karakteristik dari vibrasi Ti-O dan Ti-O-Ti. Doping Co(II) pada struktur TiO₂ pada konsentrasi dopan

Co(II) masing-masing 0,5%; 1,0% dan 2,0%, menyebabkan pergeseran puncak serapan dari vibrasi Ti-O, masing-masing pada bilangan gelombang 459,06 cm⁻¹; 453,27 cm⁻¹ dan 451,34 cm⁻¹. Hasil ini merupakan indikasi bahwa Co(II) telah bergabung kedalam

struktur TiO₂ sesuai dengan publikasi oleh Bakre dan Tilve [12], dimana vibrasi Ti-O teridentifikasi pada bilangan gelombang 450-800 cm⁻¹. Penambahan dopan Co(II) pada struktur TiO₂/Ti mengakibatkan pergeseran daerah serapan dari vibrasi Ti-O ke arah bilangan gelombang yang lebih rendah dibandingkan dengan spektra FTIR TiO₂/Ti. Artinya energi yang dibutuhkan untuk vibrasi Ti-O semakin kecil. Selain itu, fotokatalis TiO₂/Ti memberikan puncak serapan menunjukkan munculnya serapan baru pada bilangan gelombang 817,82 cm⁻¹ yang merupakan karakteristik dari vibrasi Ti-O-Ti. Serapan lainnya, pada fotokatalis Co(II)-TiO₂/Ti dengan konsentrasi 0,5%; 1,0% dan 2,0%, menunjukkan adanya serapan baru pada bilangan gelombang secara berurutan yaitu 837,11 cm⁻¹; 815,89 cm⁻¹ dan 817,82 cm⁻¹ yang merupakan karakteristik dari vibrasi Co-O-Ti. Munculnya puncak serapan ini diperkirakan bahwa Co(II) telah berhasil menggantikan posisi beberapa kation Ti⁴⁺, bersesuaian dengan publikasi Yilmaz, dkk [13], yaitu karakteristik dari vibrasi Co-O-Ti. Hasil tersebut sesuai dengan publikasi oleh Yilmaz, dkk [13], dimana karakteristik dari vibrasi tekuk O-H teridentifikasi pada bilangan gelombang 1620-2000 cm⁻¹ dan karakteristik dari vibrasi ulur O-H teridentifikasi pada panjang gelombang 3000-3400 cm⁻¹. Vibrasi O-H terbentuk karena adanya penyerapan molekul air.

Diffuse Reflectance Spectroscopy UV-Vis (DRS UV-Vis)

Karakterisasi DRS UV-Vis merupakan instrumen yang digunakan untuk mengetahui nilai energi celah pita dari hasil sintesis material semikonduktor TiO₂/Ti dan Co(II)-TiO₂/Ti. Nilai energi celah pita dapat dihitung menggunakan persamaan Tauc plot dan fungsi reflektansi disubstitusikan ke faktor Kubelka-Munk. Kurva nilai energi celah pita dapat dilihat pada Gambar 3. sebagai kurva hubungan antara khv² dengan energi celah pita, dimana fotokatalis TiO₂/Ti memiliki energi celah pita sebesar 3,24 eV. Penambahan dopan dengan variasi konsentrasi Co(II) 0,5%; 1,0%; dan 2,0% menyebabkan penurunan energi celah pita dari 3,24 eV menjadi 2,57 eV; 2,47 eV; dan 2,28 eV secara berurutan.

Fotokatalis Co(II)-TiO₂/Ti dengan konsentrasi dopan Co(II) 2% memiliki nilai energi celah pita paling kecil dibandingkan dengan dopan konsentrasi yang lain yaitu 2,28 eV yang setara dengan panjang

gelombang 542,09 nm sehingga akan lebih efektif dalam penyerapan sinar tampak. Hasil perhitungan nilai energi celah pita ditampilkan pada Tabel 1.

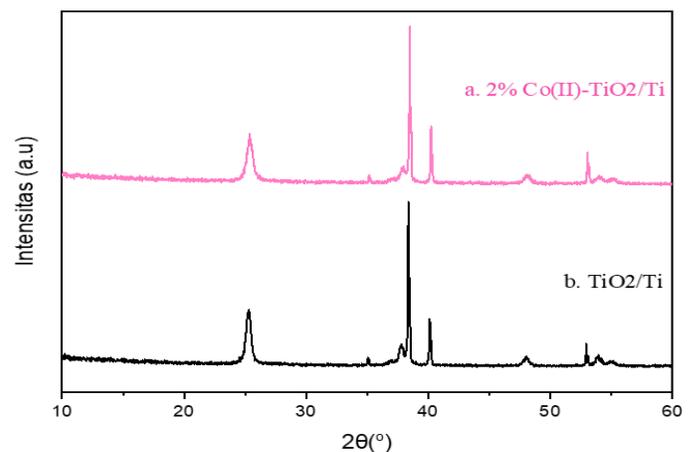
Tabel 1. Energi celah pita TiO₂/Ti dan Co(II)-TiO₂/Ti

Material	Energi celah pita (eV)	Panjang gelombang (nm)
TiO ₂ /Ti	3,24	381,46
Co(II)-TiO ₂ /Ti 0,5%	2,57	480,92
Co(II)-TiO ₂ /Ti 1%	2,47	500,39
Co(II)-TiO ₂ /Ti 2%	2,28	542,09

Berdasarkan data yang didapat maka dapat disimpulkan bahwa penambahan dopan Co(II) mampu memperkecil nilai energi celah pita. Semakin tinggi konsentrasi Co(II) maka nilai energi celah pita akan semakin kecil. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Momeni dan Ghayeb [15], hasil ini sesuai dengan rentang nilai energi celah pita Co(II)-TiO₂/Ti yaitu 2,22-2,78 eV. Nilai energi celah pita yang dihasilkan setelah dilakukan proses dopan dapat disebabkan karena faktor cacat kristal pada TiO₂. Cacat Kristal tersebut dapat memberikan tingkat energi baru pada struktur TiO₂ sehingga ketika dilakukan proses dopan dengan Co(II) energi celah celah pita akan menurun [16].

X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi XRD berujuan untuk mengetahui fasa kristal, dan ukuran kristal (D) dari hasil sintesis yaitu TiO₂/Ti dan Co(II)-TiO₂/Ti. Karakterisasi dilakukan pada radiasi Cu-K α dengan rentang sudut 2 θ yaitu 10°-60°.



Gambar 4. Difaktogram TiO₂/Ti (a) dan 2% Co(II)-TiO₂/Ti (b)

Hasil karakterisasi XRD ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, pola difragtogram TiO₂/Ti menunjukkan intensitas tertinggi pada sudut 2 θ 25,30°, sudut 38,37°, dan sudut 40,12° telah sesuai dengan JCPDS No. 21- 1272 yang memiliki fasa kristal *anatase*. Difagtogram TiO₂/Ti dan 2% Co(II)-TiO₂/Ti memiliki kemiripan pada 3 puncak tertinggi yaitu pada kisaran 2 θ 25°, 38° dan 40°. Hasil karakterisasi menggunakan XRD dapat digunakan untuk memperoleh nilai jarak antar kisi (d) dan ukuran kristal (D) sampel. Nilai d dan D yang diperoleh dari sampel TiO₂/Ti dan 2,0% Co(II)-TiO₂/Ti dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan 2 θ , jarak kisi dan ukuran kristal

Sampel	2 θ	d (nm)	D (nm)
TiO ₂ /Ti	25,3087	0,2703	15,80
	38,3719		
	40,1235		
2% Co(II)-TiO ₂ /Ti	25,3211	0,2698	16,25
	38,4852		
	40,2166		

Penambahan dopan Co(II) ke dalam struktur TiO₂ menyebabkan pergeseran ke arah sudut 2 θ yang lebih besar. Pergeseran puncak ke arah 2 θ yang lebih besar akan mempengaruhi *d-spacing*. Difaktogram sampel 2% Co(II)-TiO₂/Ti tidak menunjukkan adanya gangguan akibat dari doping Co(II) seperti munculnya puncak difraksi lain. Ukuran kristal TiO₂/Ti dan 2% Co(II)-TiO₂/Ti dapat dilihat pada Tabel 2.

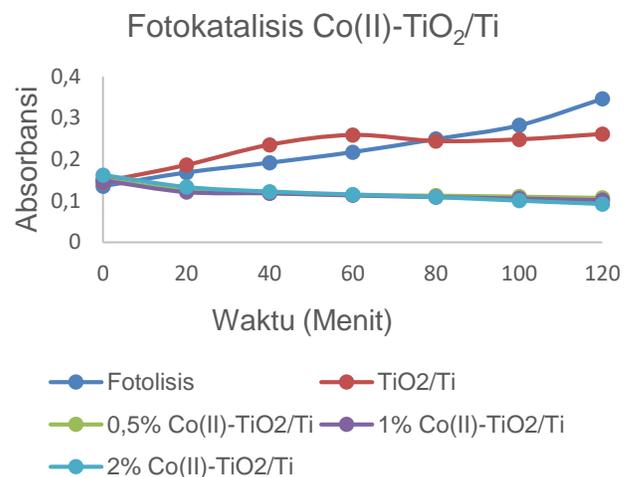
Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa jarak antar kisi mengalami penurunan yang disebabkan karena adanya penambahan dopan Co(II) sehingga puncak bergeser ke arah sudut yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan hukum Bragg yang berbunyi jika sudut θ makin kecil maka jarak antar kisi makin besar. Selain itu ukuran kristal mengalami peningkatan setelah dilakukan modifikasi struktur TiO₂ dengan dopan Co(II). Peningkatan ukuran kristal dapat dikaitkan dengan bergesernya serapan Ti-O akibat penambahan dopan Co(II) seperti yang tertera pada hasil FTIR.

Uji Aktivitas Fotokatalis Co(II)-TiO₂/Ti

Uji aktivitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan fotokatalis TiO₂/Ti dan Co(II)-TiO₂/Ti sebagai antibakteri *Escherichia coli* dengan bantuan sinar tampak, Uji aktivitas dilakukan dengan metode turbidimetri. Penelitian ini dilakukan uji aktivitas

fotokatalis TiO₂/Ti dan Co(II)-TiO₂/Ti untuk mengetahui daya hambat masing-masing katalis terhadap bakteri *Escherichia coli*. Selain itu, dilakukan uji aktivitas tanpa katalis (fotolisis) sebagai kontrol. Hasil pengukuran penurunan kekeruhan bakteri digambarkan sebagai kurva absorbansi terhadap waktu seperti ditampilkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5, dapat dilihat bahwa fotolisis tidak menunjukkan penurunan absorbansi namun cenderung mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan penambahan dengan sinar tampak saja tidak mampu menghambat bakteri *Escherichia coli*. Fotokatalis TiO₂/Ti tanpa iluminasi sinar tidak mampu menurunkan absorbansi. Hal ini terjadi karena TiO₂/Ti tidak aktif dengan bantuan sinar tampak sehingga pembentukan radikal hidroksil (\bullet OH) tidak dapat terjadi.

Selain itu karena kurang lamanya waktu pemaparan dengan sinar tampak dan intensitas sinar tampak yang kecil sehingga memiliki kemampuan yang rendah untuk mematikan sel-sel bakteri. Ketika \bullet OH tidak terbentuk maka proses inhibisi bakteri tidak dapat terjadi dan bakteri akan terus menerus mengalami pertumbuhan. Radikal hidroksil yang terbentuk selama proses fotokatalisis dapat bekerja dengan merusak dinding sel bakteri karena berperan sebagai oksidator kuat sehingga mengakibatkan permeabilitas sel bakteri terganggu dan terjadinya lisis atau kebocoran pada inti sel yang menyebabkan kematian pada bakteri *E.coli* [17].



Gambar 5. Kurva Aktivitas Fotokatalis plat TiO₂/Ti dan Co(II)-TiO₂/Ti

Aktivitas fotokatalis Co(II)-TiO₂/Ti dengan bantuan sinar tampak mengalami penurunan absorbansi dari menit ke-20 hingga menit ke-120.

Penurunan absorbansi ini disebabkan karena terdapat Co(II) pada struktur TiO₂ sehingga TiO₂ dapat aktif pada sinar tampak dan memproduksi (\bullet OH) yang berperan sebagai oksidator kuat. Persen penurunan absorbansi dari masing-masing hasil proses fotokatalisis menggunakan plat yaitu 0,5% Co(II)-TiO₂/Ti sebesar 29,1%; 1,0% Co(II)-TiO₂/Ti sebesar 31,5%; dan 2,0% Co(II)-TiO₂/Ti sebesar 43,2%. Aktivitas fotokatalisis Co(II)-TiO₂/Ti pada konsentrasi dopan 2,0% memiliki daya hambat yang lebih baik dibandingkan dengan konsentrasi lain. Hal ini sesuai dengan hasil karakterisasi DRS UV-Vis yang menyatakan bahwa dengan penambahan dopan Co(II) mampu memperlebar daerah serapan ke daerah sinar tampak sehingga TiO₂ dapat aktif dengan energi yang lebih rendah dibandingkan TiO₂ tanpa doping. Selain itu penggunaan variasi konsentrasi dopan Co(II) juga mempengaruhi energi celah pita dan aktivitas fotokatalis TiO₂, dimana semakin tinggi konsentrasi doping Co(II) maka energi celah pitanya cenderung akan menurun dan dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis TiO₂ [18].

KESIMPULAN

Fotokatalis Co(II)-TiO₂/Ti hasil sintesis menggunakan metode anodisasi menghasilkan kristal anatase dengan ukuran 15,80-16,25 nm. Fotokatalis Co(II)-TiO₂/Ti dengan konsentrasi dopan 2,0% memiliki energi celah pita paling kecil sebesar 2,28 eV. Bergabungnya Co(II) pada struktur TiO₂ menyebabkan bergesernya serapan Ti-O ke arah bilangan gelombang yang lebih kecil dan munculnya vibrasi Co-O-Ti. Semakin tinggi konsentrasi Co(II) maka semakin kecil nilai energi celah pita yang dihasilkan karena daerah serapan telah diperlebar ke daerah sinar tampak. Fotokatalis Co(II)-TiO₂ dengan konsentrasi dopan Co(II) 2,0% memiliki aktivitas antibakteri paling baik dengan persen penurunan absorbansi sebesar 43,2%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Natsir, Y. I. Putri, D. Wibowo, M. Maulidiyah, L. O. A. Salim, T. Azis, C. M. Bijang, F. Mustapa, I. Irwan, and Z. Arham Z, "Effects of Ni-TiO₂ pillared clay-montmorillonite composites for photocatalytic enhancement against reactive orange under visible light," *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, vol. 31, no. 8, pp. 3378-3388, 2021.
- [2] R. Fartiwi, Warsidah, and A. B. Aritonang, "Sintesis TiO₂/Ti dengan teknik anodisasi dan uji aktivitas fotokatalis sebagai antibakteri *Escherichia coli*" *International Journal of Pure and Applied Chemistry*, vol. 2, no. 3, pp. 140-148, 2019.
- [3] A. L. Linsebigler, G. Lu, and J. T. Yates, "Photocatalysis on TiO₂ surface: principle, mechanism, and selected results," *Chem. Rev.*, vol. 95, no. 3, pp. 735-758, 1995.
- [4] K. Riyani, T. Setyaningtyas, and D. W. Dwiasih, "Pengolahan limbah cair batik menggunakan fotokatalis TiO₂-Dopan-N dengan bantuan sinar matahari," *Jurnal Kimia Valensi*, vol. 2, no. 5, pp. 581-587, 2012.
- [5] B. Santara, B. Pal, and P. K. Giri, "Signature of strong ferromagnetism and optical properties of co doped TiO₂ nanoparticles," *Journal of Applied Physics*, vol. 110, no. 11, pp. 114322, 2011.
- [6] P. Monazzam, A. E. Pirbazari, B. F. Kisomi, and Z. Khodae Z, "Immobilization of cobalt doped rutile TiO₂ on carbon nanotubes walls for efficient photodegradation of 2,4-dichlorophenol under visible light," *Journal of Ultrafine Grained and Nanostructured Materials*, vol. 52, no. 1, pp. 122-132, 2019.
- [7] G. Sadanandam, K. Lailitha, V. D. Kumari, M. V. Shankar, and M. Subrahmanyam, "Cobalt doped TiO₂: A stable and efficient photocatalyst for continuous hydrogen production from glycerol: water mixtures under solar light irradiation," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 38, pp. 9655-9664, 2013.
- [8] A. B. Aritonang, Y. K. Krisnandi, and J. Gunlazuardi, "Modification of TiO₂ nanotube arrays with N doping and Ag decorating for enhanced visible light photoelectrocatalytic degradation of methylene blue," *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 12088-5334, 2018.
- [9] C. Dumitriu, M. Popescu, C. Ungureanu, and C. Pirvu, "Antibacterial efficiencies of TiO₂ nanostructured layers prepared in organic viscous electrolytes," *Journal Applied Surface Science*, vol. 341, pp. 157-165, 2015.
- [10] Misriyani, A. W. Wahab, P. Taba, and J. Gunlazuardi, "Effect of anodizing time and annealing temperature on photoelectrochemical properties of anodized TiO₂ nanotube for corrosion prevention application," *Indones. J. Chem.*, vol. 17, no. 2, pp. 219-277, 2017.
- [11] P. Roy, S. Berger, and P. Schmuki, "TiO₂ nanotube: synthesis and applications," *Angew. Chem. Int. Ed.*, vol. 50, no. 30, pp. 2904-2939, 2011.
- [12] P. V. Bakre and S. G. Tilve, "Direct access to highly crystalline mesoporous nano TiO₂ using sterically

- bulky organic acid templates,” *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 166, pp. 234-240, 2018.
- [13] H. C. Yilmaz, E. Akgeyik, S. Bougarrani, M. E. Azzouzi, and S. Erdemoglu, “Photocatalytic Degredasi of amoxicillin using Co-dopan TiO₂ synthesizes by reflux method and monitoring of degradation products by LC-MS/MS,” *Journal of Dispersion Science and Technology*, vol. 41, no. 3, pp. 414-425, 2019.
- [14] T. Sivarao and D. C. Radha, “Synthesis of visible light driven cobalt doped nanotitania assisted by triton X-100: characterization and application in photocatalytic degradation of congo red,” *Nano Science and Nano Technology: An Indian Journal*, vol. 11, no. 2, p. 117, 2017.
- [15] M. M. Momeni and Y. Ghayeb, “Preparation of cobalt coated TiO₂ and WO₃-TiO₂ nanotube films via photo-assisted deposition with enhanced photocatalytic activity under visible light illumination,” *Ceramics International*, vol.42, no. 6, pp. 7014-7022, 2016.
- [16] C. Zhao, X. Shu, D. Zhu, S. Wei, Y. Wang, M. Tu, and W. Gao, “High visible light photocatalytic property of Co²⁺-doped TiO₂ nanoparticles with mixed phases. *Superlattices and Microstructures*, vol. 8, pp. 32-42, 2015.
- [17] F. Rosariawari, A. Masduki, and W. Hadi, “Proses fotokatalisis untuk penyisihan *E. coli* dengan kombinasi TiO₂, karbon aktif dan sinar UV,” *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 4, no. 1, pp. 27-35, 2012.
- [18] E. Clarissa, Adhityawarman, and A. B. Aritonang, “Sintesis Co(II)-TiO₂/kaolin sebagai fotokatalis antibakteri *Escherichia coli* dengan bantuan sinar tampak,” *Indonesia Journal of Pure and Applied Chemistry*, vol. 4, no. 3, pp. 124-131, 2021.