



PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF INDIGO CARMINE BY TiO₂/ACTIVATED CARBON DERIVED FROM WASTE COFFEE GROUNDS

Irwan, Surya Lubis*, Muliadi Ramli dan Sheilatina

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala
Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia

*Email: suryalubis@unsyiah.ac.id

Abstract. *TiO₂/activated carbon derived from waste coffee grounds (TiO₂/WCGAC) has been prepared by a sol gel method. Waste coffee ground was chemically activated using hydrochloric acid 0.1 M solution and modified with titanium tetraisopropoxide as TiO₂ precursor. The structural features of the photocatalyst was investigated by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM EDX), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) and nitrogen adsorption-desorption. The XRD results showed that TiO₂ is anatase and rutile phase, while FTIR spectra confirmed the presence of Ti-O groups. The specific surface area of TiO₂/WCGAC was higher than that of activated carbon derived from waste coffee grounds. The photocatalytic activity of TiO₂/WCGAC has been evaluated for degradation of indigo carmine solution under UV and solar light irradiation. It was found that degradation percentage of indigo carmine under solar light was higher than that of under UV light.*

Keywords: *activated carbon, waste coffee grounds, indigo carmine, degradation, sol-gel*

1. PENDAHULUAN

Karbon aktif merupakan suatu adsorben yang sering digunakan dalam industri karena memiliki kapasitas adsorpsi yang besar, laju adsorpsi yang cepat dan relatif mudah diregenerasi [1]. Namun karbon aktif yang tersedia secara komersial harganya mahal, sehingga perlu dicari alternatif untuk memperoleh karbon aktif dengan harga yang lebih murah. Ampas kopi merupakan bahan berupa limbah yang mudah diperoleh dan dapat digunakan untuk membuat karbon aktif, sehingga dapat digunakan sebagai bahan dasar adsorben [2]. Ampas kopi yang diaktivasi secara fisika dan digunakan sebagai adsorben ion besi telah dilaporkan [3]. Penggunaan karbon aktif dari ampas kopi sebagai adsorben untuk menyerap fenol juga telah dilaporkan dimana kapasitas adsorpsi diperoleh sebesar 55,56 mg/g [4]. Adsorpsi merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengurangi pencemaran air yang banyak disebabkan oleh polutan yang berupa logam berat dan senyawa organik seperti zat warna terutama zat warna sintetik. Namun, metode ini kurang efektif karena polutan yang diadsorpsi tersebut masih terakumulasi di dalam adsorben yang akan menimbulkan permasalahan baru [5]. Metode alternatif lain yang dapat digunakan adalah degradasi menggunakan cahaya UV atau sinar tampak dan fotokatalis yang disebut fotodegradasi. Fotokatalisis merupakan peningkatan kecepatan reaksi kimia dengan aktivasi katalis oleh sinar UV atau cahaya tampak. Proses fotokatalisis dimulai pada saat

fotokatalis menyerap energi foton dengan energi yang sama atau lebih besar dari energi celah pita sehingga elektron akan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Pasangan elektron (e⁻) dan hole (h⁺) yang terbentuk dapat menyebabkan terjadinya reaksi oksidasi dan reduksi dengan spesies atau molekul yang teradsorpsi pada permukaan fotokatalis. Metode fotodegradasi merupakan metode yang efektif karena dapat menguraikan senyawa polutan menjadi senyawa yang tidak berbahaya seperti H₂O dan CO₂ [6]. Aktifitas fotokatalitik ditentukan oleh jenis fotokatalis yang digunakan. Titania (TiO₂) merupakan semikonduktor yang paling banyak digunakan sebagai fotokatalis karena kemampuannya yang tinggi untuk mengurangi dan menghilangkan berbagai jenis polutan. Titania memiliki sifat pengoksidasi yang kuat, stabil terhadap cahaya dan tidak beracun [7, 8]. Namun TiO₂ memiliki kelemahan karena jika serbuk TiO₂ digunakan dalam sistem larutan (terdispersi dalam air) maka akan sulit dipisahkan karena membentuk gumpalan, campuran larutan juga akan berwarna keruh dan menghalangi radiasi sinar UV sehingga tidak mampu mengaktifkan seluruh partikel fotokatalis [9]. Salah satu cara mengatasinya adalah dengan menyisipkan TiO₂ pada suatu material penyangga yang memiliki luas permukaan besar. Beberapa jenis penyangga seperti silika, silikon karbida, lempung, zeolit dan karbon aktif dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan ini [10]. Keuntungan menggunakan karbon aktif sebagai

penyangga antara lain adalah mampu mengadsorpsi banyak polutan organik sesuai dengan banyaknya TiO₂ yang ditambahkan, sehingga laju fotooksidasi meningkat. Disamping itu, polutan organik yang telah teroksidasi pada permukaan fotokatalis dan menghasilkan zat intermediet juga ikut diadsorpsi dan dioksidasi lebih lanjut. Zat intermediet yang bersifat racun tidak dilepaskan secara langsung ke udara atau dalam fase larutannya, sehingga mencegah terjadinya polusi [1]. Pada penelitian ini akan dipelajari aktivitas fotokatalis TiO₂/karbon aktif yang dipreparasi dengan metode sol gel. Karbon aktif diperoleh dari ampas kopi yang diaktivasi secara kimia. Aktivitas fotokatalis TiO₂/karbon aktif yang diperoleh diuji dalam degradasi zat warna indigo karmin dengan sinar UV. Terjadinya proses adsorpsi dan diharapkan dapat meningkatkan konsentrasi zat warna pada permukaan adsorben sehingga semakin banyak polutan yang dapat difotodegradasi. Indigo karmin merupakan zat warna sintetis yang banyak digunakan pada industri tekstil. Limbah zat warna merupakan senyawa organik yang sukar terurai, *non-biodegradable* dan toksik. Selain itu, zat warna ini dapat mengakibatkan kerusakan permanen pada kornea jika terjadinya kontak dengan mata [11]. Banyaknya molekul zat warna dalam air juga akan mengganggu proses fotosintesis [12].

II. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah ampas kopi yang diambil dari warung kopi budi di daerah Ketapang Banda Aceh, HCl, isopropil alkohol, indigo karmin titanium tetraisopropoksida (Ti(OCH(CH₃)₂)₄), titanium oksida (TiO₂) dibeli dari Merck. Alat-alat yang digunakan antara lain adalah alat-alat gelas standar, ayakan 100 mesh, lampu UV, *magnetic stirrer*, FTIR (Shimadzu), BET (Quantachrome NOVA 3100 E), XRD (Shimadzu), *Ball Milling* (FRITSCH-Pulverisett), Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV mini 1240), SEM (Shimadzu JEOL-JSM 6510LV), Sentrifuge (Hettich-EBA III), pH meter (HANNA instrument), Tanur (VULCAN 3-1750) dan timbangan analitik.

Preparasi Karbon Aktif dari Ampas Kopi

Sebanyak 200 g ampas kopi dibilas dengan aquades dan dikeringkan di bawah sinar matahari, digerus dengan mortar dan diayak dengan ayakan ukuran 100 mesh. 100 g ampas kopi hasil ayakan direndam dalam 1 liter larutan HCl 0,1 M selama 48 jam, disaring dan dibilas dengan aquades sampai netral (ditandai dengan tidak terbentuknya endapan AgCl jika filtrat ditetesi dengan larutan AgNO₃). Ampas kopi yang telah diaktivasi dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 5 jam, selanjutnya dikalsinasi pada suhu 350 °C selama

3,5 jam. Setelah proses pengarangan selesai ampas kopi dibiarkan dingin dan disimpan dalam desikator. Karbon aktif yang diperoleh dinyatakan sebagai karbon aktif ampas kopi (KAAK) dan kemudian ditentukan rendemen hasilnya, kadar air serta kadar abu, sesuai dengan prosedur yang telah dilaporkan sebelumnya [13].

Sintesis Katalis TiO₂/Karbon Aktif Ampas Kopi (TiO₂/KAAK)

Sebanyak 15 mL Titanium tetraisopropok-sida ditambahkan tetes demi tetes ke dalam 50 mL isopropil alkohol dalam gelas Beaker 250 mL sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Pengadukan dilanjutkan selama 3 jam sampai terbentuk suspensi. Suspensi tersebut kemudian ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam 5 gram karbon aktif sambil diaduk dan pengadukan dilanjutkan selama 12 jam pada suhu ruang. Campuran disaring dan residu yang diperoleh dikeringkan pada suhu 100 °C selama 5 jam. Selanjutnya, dikalsinasi dalam tanur pada suhu 350 °C selama 5 jam [1]. Katalis yang diperoleh dinyatakan sebagai TiO₂/KAAK. Prosedur yang sama dilakukan dengan menggunakan karbon aktif komersil dan fotokatalis yang diperoleh dinyatakan sebagai TiO₂/KAK.

Degradasi Fotokatalitik Indigo Karmin oleh TiO₂/Karbon Aktif

Aktivitas fotokatalis TiO₂/karbon aktif diuji kemampuannya pada degradasi larutan zat warna indigo karmin dengan radiasi sinar UV. Sebanyak 30 mg fotokatalis TiO₂/karbon aktif dimasukkan ke dalam gelas kimia, kemudian ditambahkan 25 mL larutan indigo karmin 5 mg/L yang telah diatur pH-nya menjadi pH= 3 dengan penambahan larutan NaOH 0,1 M. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan disinari dengan sinar UV pada variasi waktu kontak 0, 30, 60, 90, 120 dan 150 menit. Setelah tercapai variasi waktu yang diinginkan, campuran dipisahkan dengan cara sentrifugasi selama 5 menit, kemudian filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 610 nm. Persentase hasil degradasi zat warna indigo karmin oleh TiO₂/karbon aktif dihitung menggunakan rumus :

$$\% D = (C_0 - C_t) / C_0 \times 100 \quad (1)$$

dimana %D adalah persen degradasi, C₀ adalah konsentrasi awal zat warna indigo karmin dan C_t adalah konsentrasi zat warna indigo karmin pada waktu t (0, 30, 60, 90, 120 dan 150 menit). Prosedur

yang sama juga dilakukan terhadap TiO₂/KAK dan tanpa sinar UV (reaksi dalam keadaan gelap).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Karbon Aktif dari Ampas Kopi

Tahap awal pembuatan karbon aktif dari ampas kopi adalah pencucian dan pengeringan untuk menghilangkan pengotor dan menurunkan kadar air, kemudian diaktivasi secara kimia menggunakan larutan HCl 0,1 M dan dikalsinasi pada suhu 350 °C. Proses kalsinasi bertujuan untuk memperbesar ukuran pori sekaligus menghilangkan air dan senyawa organik yang bersifat volatil. Rendemen hasil dari karbon aktif adalah 21,53 %. Kualitas karbon aktif dapat diketahui dari kadar air dan kadar abu. Penentuan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis karbon aktif. Kadar air yang tinggi dapat menurunkan mutu karbon aktif karena dapat mengurangi daya adsorpsi terhadap gas atau cairan. Pengurangan daya adsorpsi ini karena molekul air dapat menghalangi adsorbat yang akan teradsorpsi ke dalam adsorben. Penentuan kadar abu bertujuan untuk mengetahui kandungan oksida logam dalam karbon aktif. Kadar abu yang tinggi dapat menurunkan mutu karbon aktif karena semakin tinggi kadar abu maka semakin banyak pula kandungan bahan anorganik yang terdapat dalam bahan. Perbandingan kadar air dan kadar abu karbon aktif dari ampas kopi yang diperoleh pada penelitian ini dengan kadar air dan kadar abu arang aktif menurut persyaratan SNI No. 06-3730 Tahun 1995 diberikan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa karbon aktif dari ampas kopi yang diperoleh pada penelitian ini telah memenuhi syarat mutu karbon aktif SNI No 06-3730-1995 [14].

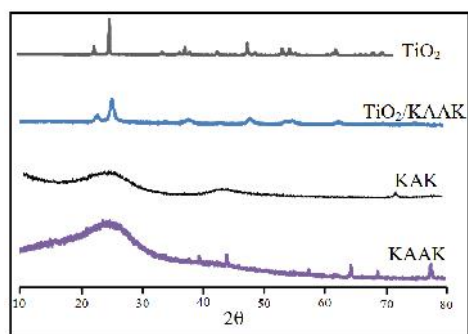
Tabel 1. Hasil Analisis Karbon Aktif dari Ampas Kopi

Parameter	Analisis Hasil	SNI No. 06-3730-1995
Kadar Air	3 %	Maksimal 15 %
Kadar Abu	2 %	Maksimal 2.5 %

Karakterisasi TiO₂/Karbon Aktif

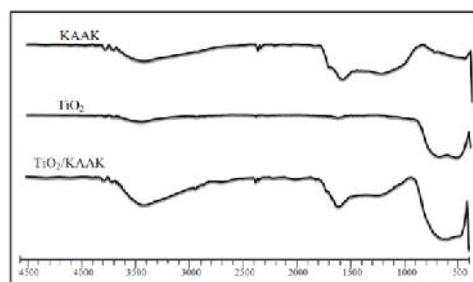
Karakterisasi TiO₂/Karbon Aktif dengan X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dari katalis TiO₂/karbon aktif. Gambar 1 menunjukkan bahwa pola difraksi karbon aktif dari ampas kopi sama dengan pola difraksi karbon aktif komersial dimana terdapat puncak melebar (broad) pada sudut 2θ = 24,59° dan 43,13°. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki fasa amorf (bukan kristalin). Hasil ini sesuai dengan hasil yang dilaporkan oleh Omri *et al.*, 2015 [15]. Gambar 1 juga menunjukkan bahwa katalis TiO₂/karbon aktif mempunyai kemiripan dengan pola difraksi TiO₂. Difraktogram TiO₂/KAAK menunjukkan terdapatnya

puncak-puncak pada sudut 2θ = 25,3°; 37,8°; 48,0°; 53,9°; 55,0° dan 27,4° serta 36,1°. Puncak-puncak ini sesuai dengan puncak TiO₂ yang memiliki fase anatase pada (JCPDS No. 21-1272) dan fase rutil (JCPDS No. 21-1276).



Gambar 1. Difraktogram Karbon Aktif, TiO₂ dan TiO₂/Karbon Aktif

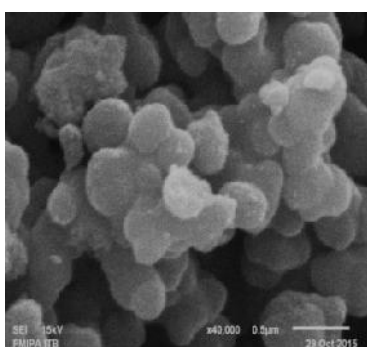
Karakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dan jenis ikatan yang terdapat dalam fotokatalis TiO₂/karbon aktif. Spektrum FTIR karbon aktif pada Gambar 2 menunjukkan terdapatnya puncak-puncak pada bilangan gelombang 3427,51; 1589,34 dan 1238,30 cm⁻¹. Puncak pada bilangan gelombang 3427,51 cm⁻¹ disebabkan oleh vibrasi regangan gugus hidroksil (-OH) atau air yang teradsorpsi pada karbon aktif.



Gambar 2. Spektrum FT-IR karbon aktif, TiO₂, dan katalis TiO₂/karbon aktif

Spektrum FTIR fotokatalis TiO₂/karbon aktif menunjukkan bahwa selain terdapat pita serapan pada bilangan gelombang 3427 cm⁻¹, juga terdapat pita serapan yang tajam pada bilangan gelombang 400-800 cm⁻¹. Pita serapan tersebut berasal dari ikatan Ti-O-Ti, yang membuktikan terdapatnya titanium dioksida (TiO₂). Hal ini sesuai dengan yang dilaporkan sebelumnya bahwa vibrasi regangan khas Ti-O-Ti anatase terjadi pada bilangan gelombang antara 680 dan 850 cm⁻¹ [1]. Selain itu adanya serapan yang kuat pada daerah 400-800 cm⁻¹ menunjukkan ikatan pada kerangka bulk titania [16].

Spektrum FTIR TiO₂/Karbon aktif tidak menunjukkan adanya pita serapan pada 1200-1600 cm⁻¹ yang berasal dari ikatan Ti-O-C, menunjukkan bahwa interaksi antara karbon dan TiO₂ merupakan interaksi fisika. Karakterisasi katalis TiO₂/karbon aktif menggunakan SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk morfologi dan topologi permukaan sampel. Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada Gambar 3 menunjukkan bahwa ukuran partikel dari TiO₂ yang terdistribusi/terdispersi pada permukaan karbon aktif tidak homogen dan cenderung membentuk aglomerat. Hasil analisis SEM-EDX menunjukkan bahwa jumlah Ti yang terdapat pada fotokatalis TiO₂/KAAK adalah 36,33%.



Gambar 3. Gambar SEM TiO₂/KAAK

Indikasi keberhasilan sintesis katalis TiO₂/karbon aktif menggunakan metode sol-gel dapat dibuktikan dengan adanya perubahan luas permukaan, rerata jari pori dan volume total pori karbon aktif. Berdasarkan hasil uji BET (Tabel 2) diketahui bahwa fotokatalis TiO₂/karbon aktif memiliki luas permukaan, rerata jari pori dan volume total pori yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif. Hal ini diduga bahwa TiO₂ tidak masuk pada pori-pori karbon aktif melainkan hanya terdispersi pada permukaannya saja, sehingga meningkatkan luas permukaan fotokatalis.

Tabel 2 Hasil pengukuran luas permukaan, rerata jari pori dan volume total pori

Sampel	Luas Permukaan (m ² /g)	Rerata jari (Å)	Volume total Pori (cc/g)
KAAK	138,639	27,0097	0,0936
TiO ₂ /KAAK	172,538	41,2704	0,1780

KAAK: Karbon aktif ampas kopi

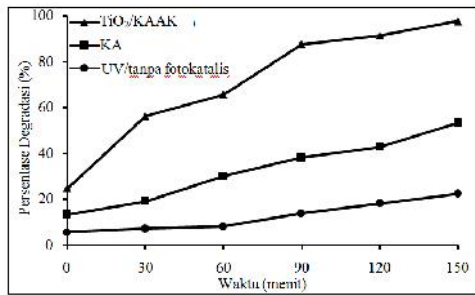
TiO₂/KAAK: TiO₂/Karbon aktif ampas kopi

Degradasi Fotokatalitik Indigo Karmin Menggunakan TiO₂/Karbon aktif

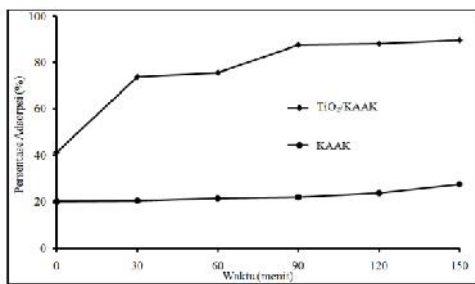
Degradasi fotokatalitik zat warna indigo karmin oleh TiO₂/karbon aktif dilakukan menggunakan sumber cahaya berasal dari lampu UV dengan panjang gelombang 365 nm. pH larutan zat warna diatur pada pH=3 karena berpengaruh terhadap kemampuan suatu

katalis dalam mendegradasi zat warna. Pada kondisi asam permukaan katalis TiO₂ akan bermuatan positif dan pada kondisi basa bermuatan negatif [17]. Fotodegradasi indigo karmin oleh TiO₂/karbon aktif dilakukan pada variasi waktu 0-150 menit. Sebagai pembandingan, penurunan konsentrasi indigo karmin sebagai fungsi waktu juga diamati dengan radiasi sinar UV pada indigo karmin tanpa katalis dan adsorpsi indigo karmin (reaksi dalam keadaan gelap, tanpa sinar UV). Perlakuan fotodegradasi indigo karmin tanpa katalis bertujuan untuk memastikan bahwa terjadinya degradasi indigo karmin oleh aktivitas TiO₂/karbon aktif dan sinar UV. Pengaturan pH larutan indigo karmin pada kondisi asam (pH=3) menyebabkan permukaan katalis TiO₂ menjadi positif dan indigo karmin menjadi muatan negatif. Interaksi gaya elektrostatis antar kedua muatan ini menyebabkan indigo karmin mudah terikat pada permukaan katalis. Molekul indigo karmin dapat terikat pada permukaan katalis TiO₂ melalui gugus N penta-heterosiklik [18]. Meningkatnya jumlah indigo karmin pada permukaan fotokatalis akan mengakibatkan fotodegradasi indigo karmin lebih cepat terjadi dan konsentrasinya menjadi berkurang.

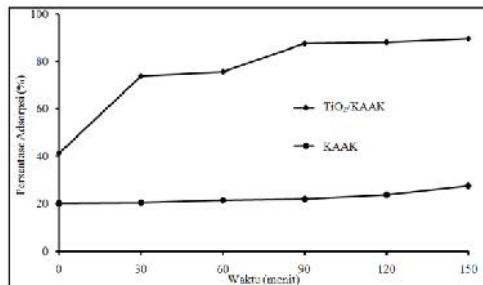
Gambar 4. menunjukkan bahwa penggunaan fotokatalis TiO₂/karbon aktif pada degradasi zat warna indigo karmin menyebabkan penurunan konsentrasi zat warna indigo karmin hingga 97,61% setelah diradiasi dengan sinar UV selama 150 menit. Sedangkan penurunan konsentrasi indigo karmin sebesar 53,333% terjadi jika menggunakan karbon aktif dari ampas kopi. Disamping itu, larutan indigo karmin juga mengalami fotolisis sebesar 22,381%. Hal ini membuktikan bahwa berkurangnya konsentrasi indigo karmin bukan hanya melalui proses adsorpsi namun indigo karmin yang teradsorpsi oleh karbon aktif juga mengalami fotodegradasi dengan adanya TiO₂. Peran TiO₂ dalam TiO₂/karbon aktif pada fotodegradasi juga dibuktikan dengan perlakuan karbon aktif, TiO₂/karbon aktif dengan larutan indigo karmin tanpa diradiasi dengan sinar UV (kondisi gelap). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa setelah 150 menit, konsentrasi indigo karmin berkurang sebesar 27,619% jika menggunakan karbon aktif, sedangkan penggunaan TiO₂/karbon aktif menyebabkan penurunan konsentrasi indigo karmin hingga 89,524% (Gambar 5). Hal ini membuktikan bahwa TiO₂ tidak hanya menyebabkan reaksi fotokatalitik namun juga meningkatkan proses adsorpsi. Meningkatnya jumlah molekul zat warna yang teradsorpsi akan meningkatkan jumlah zat warna yang mengalami reaksi oksidasi dengan terbentuknya •OH radikal pada permukaan katalis TiO₂/karbon aktif.



Gambar 4. Degradasi Fotokatalitik Indigo Karmin dengan Sinar UV, konsentrasi awal 5 mg/L, pH=3, berat fotokatalis 30 mg



Gambar 5. Adsorpsi Indigo karmin menggunakan TiO₂/karbon aktif ampas kopi dan karbon aktif ampas kopi (kondisi gelap), konsentrasi 5 mg/L dan berat adsorben 30 mg

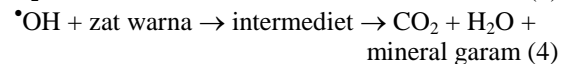
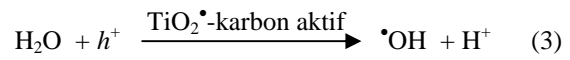
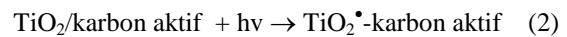


Gambar 6. Degradasi fotokatalitik indigo karmin dengan sinar matahari pada konsentrasi awal 5 mg/L, pH=3 dan berat fotokatalis 30 mg

Degradasi fotokatalitik zat warna indigo karmin juga dilakukan menggunakan fotokatalis TiO₂/karbon aktif komersil. Tujuannya adalah untuk membandingkan kinerja karbon aktif dari ampas kopi dengan karbon aktif komersil. Fotodegradasi dilakukan di bawah sinar matahari selama 1 jam pada rentang pukul 11.00-13.00 WIB pada saat cuaca cerah. Berdasarkan Gambar 6 diketahui bahwa kinerja fotokatalis TiO₂/karbon aktif dari ampas kopi hampir sama dengan TiO₂/karbon aktif komersil. Penurunan konsentrasi indigo karmin dengan penggunaan TiO₂/karbon aktif komersil sedikit lebih besar (%D = 98,57%) dibandingkan dengan TiO₂/karbon aktif ampas kopi (97,14 %). Selain itu

dapat diketahui juga bahwa penggunaan sinar matahari sebagai sumber cahaya memberikan persentase degradasi yang lebih tinggi dan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan sinar UV. Hal tersebut dikarenakan sinar matahari memiliki intensitas dan panjang gelombang yang lebih besar daripada panjang gelombang sinar UV (200-380 nm) [19]. Selain itu, sinar matahari merupakan gabungan antara ± 45% sinar tampak dan ± 5% sinar UV sehingga sinar matahari memiliki energi yang relatif besar dan mampu memberikan banyak energi foton pada fotokatalis sehingga pembentukan radikal •OH lebih banyak dan persentase degradasi semakin meningkat [20]. Dengan demikian juga dapat disimpulkan bahwa fotokatalis ini dapat diaplikasikan ke lingkungan dengan memanfaatkan sinar matahari.

Mekanisme reaksi fotodegradasi indigo karmin menggunakan katalis TiO₂/karbon aktif dimulai dengan terbentuknya radikal hidroksil (OH•) pada permukaan fotokatalis setelah dikenai radiasi sinar UV. Radikal OH• akan bereaksi dengan molekul zat warna indigo karmin dengan cara menyerang cincin terbungkus dan menghasilkan produk dengan cincin terbuka. Terbentuknya cincin terbuka ini berkontribusi terhadap penurunan ukuran molekul dan terbentuknya senyawa intermediet, yang selanjutnya teroksidasi menjadi CO₂ dan H₂O. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut [21]



KESIMPULAN

Karbon aktif yang terbuat dari ampas kopi telah memenuhi standar SNI dengan kadar air sebesar 3% dan kadar abu sebesar 2%. TiO₂/karbon aktif dari ampas kopi yang dipreparasi dengan metode sol gel memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi dalam mendegradasi zat warna indigo karmin baik menggunakan sinar UV maupun dengan sinar matahari. Persentase degradasi zat warna indigo karmin menggunakan sinar UV diperoleh sebesar 97,61% setelah waktu radiasi 150 menit, sedangkan menggunakan sinar matahari diperoleh sebesar 98,57% setelah waktu radiasi 60 menit.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah

membayai penelitian ini sesuai dengan kontrak Nomor: 624/UN11/S/LK PNBP/2015 tanggal 2 Juli 2015 melalui penelitian Dosen Muda.

REFERENSI

1. A. Omri, S.D. Lambert, J.Geens, F. Bennour, and M.Benzina, 2014, Synthesis, Surface Characterization and Photocatalytic Activity of TiO₂ Supported on Almond Shell Activated Carbon, *Journal Material Sciences Technology*, 30 (9): 894-902.
2. Sugiharto, 1987, *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah*, Penerbit UI Press, Jakarta.
3. S. Lubis, dan R. Nasution, 2002, Pemanfaatan Limbah Bubuk Kopi sebagai Adsorben pada Penurunan Kadar Besi (Fe anorganik) dalam Air Minum, *Jurnal Natural*, 2 (2), 12-16.
4. S.M. Lamine, C. Ridh, H.M. Mahfoud, C. Mouad, B. Lotfi and A. Al-Dujaili, 2014, Chemical Activation of an Activated Carbon Prepared from Coffee Residue, *Energy Procedia*, 50, 393-400.
5. A.I. Ekimov, A. Efrus, and L. Anuchenko, 1985, Quantum Size Effect in Semiconductor Microcrystals, *Solid State Communication*, 11:921-1524.
6. Slamet, M. Ellyana, dan S. Bismo, 2008, Modifikasi Zeolit Alam Lampung dengan Fotokatalis TiO₂ melalui Metode Sol Gel dan Aplikasinya untuk Penyisihan Fenol, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
7. S.H. Kim, H.H. Ngo, H.K. Shon and S.Vigneswaran, 2008, Adsorption and Photocatalysis Kinetics of Herbicide onto Titanium Oxide and Powdered Activated Carbon, *Separation and Purification Technology*, 58:335-342.
8. D.K. Veeranna, T.M. Lakshamaiah and T.R. Narayan, 2014, Photocatalytic Degradation of Indigo Carmine Dye Using Calcium Oxide, *Journal of Photochemistry*, 530570: 6.
9. M. Haouri, M.Saidi, J. Tabet and H.Khalaf, 2005, The Removal of Chlorophenol and Dichloroacetic Acid in Water Using Ti-,Zr-, and Ti/Zr-pillared bentonites as Photocatalyst, *Applied Sciences Journal*, 2(7):1136-1140.
10. H.A. Le, L.T. Lin, S. Chin and J.Jurung, 2012, Photocatalytic Degradation of Methylene Blue by a Combination of TiO₂-anatase and Coconut Shell Activated Carbon, *Powder Technology*, 225 :167-175.
11. A. Hassan, 2013, Study on the Photocatalytic Degradation of Indigo Carmine Dye by TiO₂ Photocatalyst, *Kerbala University Journal*, 11: 145-153.
12. P. L. Batista, H.Carvalho, G. H.Luz, P. F.Martins, M.Goncalves and L. C. Oliveira, 2010. Preparation of CuO/SiO₂ and Photocatalytic Activity by Degradation of Methylene Blue, *Environmental Chemistry Letter*, 8:63-67.
13. S. Irmanto, 2009, Penurunan Kadar Amonia, Nitrit dan Nitrat Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi, *Molekul*, 4:105-114.
14. Anonim, 1995. *Syarat Mutu Arang Aktif Indonesia*. Departemen Perindustrian RI, Jakarta.
15. A. Omri, M. Benzina and F. Bennour, 2015, Industrial application of photocatalysts prepared by hydrothermal and sol-gel methods, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 356-362.
16. H. Jensen, A.Soloviev, Z. Li and E.G.Sogaard, 2005, XPS and FTIR Investigation of the Surface Properties of Different Prepared Titania Nano-Powders, *Applied Surface Sciences*, 49: 239-249.
17. C. Hu, Y.Z. Wang and H.X.Tang, 2001, Influence Of Adsorption On The Photodegradation Of Various 441 Dyes using Surface Bond-Conjugated TiO₂/SiO₂ Photocatalyst, *Catalyst Environment*, 35 :95-105.
18. M.Dukkanci and G. Gunduz, 2006, Ultrasonic Degradation Of Oxalic Acid In Aqueous Solutions, *Ultrasonics Sonochemistry*, 13: 517-522.
19. Z. Yaakob, A. Gopalakrishnan, S. Padikkaparambil, 2012, Nanogold Loaded Nitrogen Doped TiO₂ Photocatalysts for the Degradation of Aquatic Pollutants under Sun Light, *Solar Power*, Vol.9: 157-170.
20. D. Mitoraj, 2009, *Origin of Visible Light Activity in Urea Modified Titanium Dioxide*, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Polen.
21. A.K.Subramani, K. Byrappa, S.Ananda, K.M. Lokanatha, C.Ranganathaiah and M. Yoshimura, 2007, Photocatalytic Degradation Of Indigo Carmine Dye Using TiO₂ Impregnated Activated Carbon, *Bulletin Materials Sciences*, 30. 37-41.