

PENURUNAN COD DAN BOD LIMBAH *LAUNDRY* DENGAN METODE FOTODEGRADASI MENGGUNAKAN KATALIS TiO₂-KITOSAN

M. H. Amzan, N. P. Diantariani*, I N. Simpen

Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali, Indonesia

*Email: putu_diantariani@unud.ac.id

ABSTRAK

Limbah *laundry* mengandung bahan organik tinggi yang menyebabkan penurunan kualitas air, yang ditandai dengan tingginya nilai COD dan BOD. Tingginya nilai COD dan BOD limbah *laundry* perlu diturunkan, salah satunya dengan metode fotodegradasi. Fotodegradasi adalah proses penguraian senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana menggunakan katalis dan sinar UV. Dalam penelitian ini katalis yang digunakan adalah katalis TiO₂-kitosan yang disintesis dengan metode sol gel. Karakterisasi katalis dilakukan dengan FTIR dan XRD. Selanjutnya katalis digunakan untuk menurunkan COD dan BOD limbah *laundry* pada kondisi optimum fotodegradasi. Hasil karakterisasi TiO₂-kitosan dengan FTIR menunjukkan keberadaan gugus O=Ti=O, O-H, N-H, C-H, dan C-O yang mengidentifikasi telah terbentuknya katalis TiO₂-kitosan. Karakterisasi TiO₂-kitosan dengan XRD menunjukkan fase kristalin anatase tetragonal. Kondisi optimum dalam mendegradasi limbah *laundry* terhadap COD dan BOD menggunakan katalis TiO₂-kitosan diperoleh pada massa katalis 50 mg, pH 7, dan waktu penyinaran selama 120 menit. Pengembunan TiO₂ pada kitosan dalam kondisi optimum dengan sinar UV mempengaruhi efektivitas fotodegradasi limbah *laundry* dengan penurunan tertinggi nilai COD sebesar 90,5760 mg/L dan BOD sebesar 24,0000 mg/L.

Kata kunci: limbah *laundry*, COD, BOD, fotodegradasi, katalis TiO₂-kitosan.

ABSTRACT

Laundry waste contains high organic matter that causes a decrease in water quality, which is indicated by high COD and BOD values. The high COD and BOD values of laundry waste need to be reduced, one of which is using the photodegradation method. Photodegradation is a breaking down process of organic compounds into simpler compounds using catalysts and UV light. In this research, the catalyst used was the TiO₂-chitosan catalyst synthesized using the sol-gel method. Catalysts characterization was carried out using FTIR and XRD. The catalyst was applied to reduce COD and BOD of laundry waste in the optimum photodegradation conditions. The results of the characterization of TiO₂-chitosan with FTIR showed the presence of O=Ti=O, O-H, N-H, C-H, and C-O groups, which identified the formation of a TiO₂-chitosan catalyst. The characterization of TiO₂-chitosan by XRD showed a tetragonal anatase crystalline phase. The optimum conditions for degrading laundry waste to COD and BOD using a TiO₂-chitosan catalyst were obtained at a catalyst mass of 50 mg, pH 7, and an irradiation time of 120 minutes. Embedding TiO₂ on chitosan under optimum conditions with UV light affected the effectiveness of laundry waste photodegradation, with the highest decrease in COD values of 90.5760 mg/L and a BOD of 24.0000 mg/L.

Keywords: laundry waste, COD, BOD, photodegradation, TiO₂-chitosan catalyst.

PENDAHULUAN

Industri *laundry* saat ini semakin meningkat setiap tahunnya bersamaan dengan meningkatnya pengguna jasa *laundry* di masyarakat. Hal ini menyebabkan jumlah limbah *laundry* yang dihasilkan semakin meningkat.

Pencemaran air akibat limbah *laundry* dengan kandungan bahan organik tinggi menyebabkan penurunan kualitas air yang

ditandai dengan meningkatnya nilai COD dan BOD. *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah kebutuhan oksigen kimia untuk memecah atau mengurai semua bahan organik dan anorganik di dalam air. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan bakteri untuk mengurai hampir semua bahan organik terlarut dan sebagian bahan organik tersuspensi dalam air (Koda *et al.*, 2017).

Beberapa metode pengolahan limbah *laundry* telah dilakukan, salah satunya yaitu metode adsorpsi (Faradina *et al.*, 2021). Namun, metode adsorpsi kurang efektif untuk limbah *laundry* yang bersifat sangat kompleks. Oleh karena itu, saat ini dikembangkan suatu metode untuk penanganan limbah *laundry* yaitu fotodegradasi. Fotodegradasi adalah proses penguraian senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan menggunakan katalis dan sinar UV (Saraswati *et al.*, 2015). Kelebihan metode ini dibandingkan dengan metode adsorpsi yaitu tidak memerlukan penanganan lebih lanjut terhadap hasil degradasi karena menghasilkan senyawa sederhana seperti CO₂ dan H₂O yang aman bagi lingkungan.

Dalam proses fotodegradasi, katalis memegang peranan penting dalam mendegradasi limbah *laundry*. Salah satu katalis semikonduktor yang sering digunakan yaitu titanium dioksida (TiO₂) dengan *band gap* sebesar 3,2 eV (Dini dan Wardhani, 2014), dan mempunyai aktivitas fotokatalitik yang tinggi (Sudarminto *et al.*, 2021). TiO₂ dimodifikasi melalui pengembunan pada material pendukung yaitu kitosan. Matriks kitosan dapat membatasi pertumbuhan partikel TiO₂ pada saat sintesis. Gugus -NH₂ pada kitosan dapat berinteraksi melalui ikatan kimia dengan partikel TiO₂ (Habiba *et al.*, 2019). Adanya TiO₂ yang diembankan dalam kitosan membuat proses adsorpsi limbah *laundry* lebih efisien sehingga jumlah yang terdegradasi lebih optimal.

Berdasarkan hal tersebut dilakukan penelitian tentang penggunaan katalis TiO₂-kitosan untuk menurunkan kandungan COD dan BOD limbah *laundry* serta ditentukan kondisi optimum proses fotodegradasi limbah *laundry* yang meliputi waktu penyinaran, massa katalis, dan pH limbah *laundry*. Selain itu, dipelajari efektivitas fotodegradasi limbah *laundry* oleh katalis TiO₂-kitosan dalam penurunan COD dan BOD.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan kimia yang digunakan berkualitas pro analisis (p.a) yaitu Ti{OCH(CH₃)₂}₄, K₂Cr₂O₇, Na₂S₂O₃, CH₃COOH, H₂SO₄, HCl, NaOH, Ag₂SO₄, KI, MnSO₄, C₃H₆O, indikator ferroin, (NH₄)₂Fe(SO₄)₂·6H₂O, larutan penyangga pH

4,01; 6,86; dan 9,18. Bahan-bahan lainnya yang digunakan yaitu akuades, dan kertas saring.

Peralatan

Peralatan laboratorium yang digunakan adalah 1 set reaktor yang dilengkapi 3 lampu UV-C Sankyo Denki GT0T10, *magnetic stirrer*, seperangkat alat refluks, *hot plate*, buret, labu ukur, pipet volume, gelas piala, erlenmeyer, neraca analitik, botol DO, inkubator, oven, pH meter, kertas *tissue*, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) Prestige 21 Shimadzu dan *X-ray Diffraction* (XRD) Shimadzu 6000.

Sintesis TiO₂-Kitosan

Pembuatan sol TiO₂ dilakukan dengan cara mencampurkan 10 mL larutan titanium (IV)-isopropoksida (TTIP) ke dalam larutan asam asetat 10% hingga 100 mL dan diaduk selama ± 24 jam menggunakan *magnetic stirrer* hingga terbentuk sol berwarna putih. Sol didiamkan selama 7 hari hingga didapatkan sol yang jernih keputihan.

Sebanyak 3 gram kitosan dilarutkan ke dalam larutan asam asetat 1% M hingga 100 mL dan diaduk ± 24 jam hingga menjadi bening. Selanjutnya, kitosan yang telah dilarutkan dalam asam asetat tersebut ditambahkan sol TiO₂ yang telah didiamkan selama 7 hari dan diaduk hingga homogen selama ± 24 jam, kemudian didiamkan selama 7 hari.

Setelah didiamkan selama 7 hari, campuran disaring dan endapan komposit dicuci dengan akuades hingga netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C. Katalis hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mempelajari perubahan gugus fungsional selama proses pembentukan katalis dan XRD untuk mengidentifikasi struktur kristal katalis.

Sebelum didegradasi, limbah *laundry* diuji untuk mengetahui karakteristik limbah. Pengujian limbah *laundry* awal meliputi pengukuran pH, analisis COD dan BOD.

Pengukuran pH

pH meter dikalibrasi dengan larutan penyangga pH 4,01; 6,86; dan 9,18. Elektroda pH meter dikeringkan dengan kertas *tissue* dan dibilas dengan air suling lalu dibilas dengan sampel limbah *laundry*, kemudian elektroda dicelupkan ke dalam sampel limbah *laundry*

sampai menunjukkan pembacaan tetap dan hasil pembacaan dicatat.

Analisis COD

Sampel limbah *laundry* sebanyak 10 mL dimasukkan ke labu refluks dan ditambahkan 25 mL K₂CrO₇ 0,025 N dan dihomogenkan. Larutan ditambahkan 10 mL larutan Ag₂SO₄-H₂SO₄. Campuran direfluks 90 menit, kemudian dibiarkan mendingin dan ditambahkan ± 80 mL akuades. Larutan ditambahkan 3 tetes indikator ferroin dan dititrasi (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ sampai terjadi perubahan warna dari biru kehijauan menjadi merah bata. Penentuan COD blanko dibuat menggunakan akuades dengan tahap dan perlakuan yang sama.

Analisis BOD

Sampel limbah *laundry* sebanyak 50 mL di dalam botol BOD 100 mL ditambahkan 1 mL MnSO₄, kemudian ditambahkan 1 mL larutan alkali-iodida-azida dan dihomogenkan. Larutan ditambahkan 1 mL H₂SO₄ pekat ke dalam sampel dan dihomogenkan kembali. Sebanyak 50 mL larutan dimasukkan ke Erlenmeyer dan dititrasi Na₂S₂O₃ 0,25 N sampai berwarna kuning keemasan, kemudian ditambahkan beberapa tetes indikator amilum dan titrasi dilanjutkan hingga warna biru hilang.

Uji Fotodegradasi limbah *laundry*

Pengujian fotodegradasi limbah *laundry* dilakukan dengan mempelajari kondisi optimum fotodegradasi yaitu waktu penyinaran, massa katalis, dan pH limbah *laundry* terhadap penurunan nilai COD dan BOD. Setelah kondisi optimum ditentukan, dipelajari efektivitas fotodegradasi dalam menurunkan nilai COD dan BOD limbah *laundry*.

Pengaruh waktu penyinaran

Sebanyak 5 buah gelas beker yang telah berisi 20 mg katalis, masing-masing ditambahkan 20 mL sampel limbah *laundry*. Campuran dimasukkan ke dalam reaktor fotodegradasi sambil diaduk dengan pengaduk magnetik dan disinari dengan lampu UV selama 30, 60, 90, 120 dan 150 menit. Setelah penyinaran filtrat dipisahkan dari campuran dengan kertas saring. Filtrat dianalisis nilai COD dan BOD untuk mengetahui kemampuan katalis dalam mendegradasi kandungan limbah *laundry*.

Pengaruh massa katalis

Sebanyak 5 buah gelas beker yang telah berisi 10, 20, 30, 40, 50, 60 dan 70 mg katalis, masing-masing ditambahkan 20 mL sampel limbah *laundry*. Campuran dimasukkan ke dalam reaktor fotodegradasi sambil diaduk dengan pengaduk magnetik dan disinari dengan lampu UV selama waktu optimum. Setelah penyinaran filtrat dipisahkan dari campuran dengan kertas saring. Filtrat dianalisis nilai COD dan BOD untuk mengetahui kemampuan katalis dalam mendegradasi kandungan limbah *laundry*.

Pengaruh pH limbah *laundry*

Sebanyak 7 buah gelas beker yang telah berisi katalis dalam jumlah optimum, masing-masing ditambahkan 20 mL sampel limbah *laundry* yang telah diatur pada pH 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 dengan menambahkan NaOH atau HCl. Campuran dimasukkan ke dalam reaktor fotodegradasi sambil diaduk dengan pengaduk magnetik dan disinari dengan lampu UV selama waktu optimum. Setelah penyinaran filtrat dipisahkan dari campuran dengan kertas saring. Filtrat dianalisis nilai COD dan BOD untuk mengetahui kemampuan katalis dalam mendegradasi kandungan limbah *laundry*.

Uji Fotodegradasi limbah *laundry* kondisi optimum

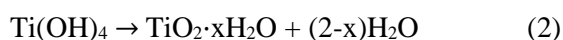
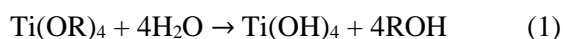
Sebanyak 3 buah gelas beker yang telah berisi katalis dalam jumlah optimum, masing-masing ditambahkan 20 mL sampel limbah *laundry* yang telah diatur pada pH optimum. Campuran dimasukkan ke dalam reaktor fotodegradasi sambil diaduk dengan pengaduk magnetik dan disinari dengan lampu UV selama waktu optimum. Setelah penyinaran filtrat dipisahkan dari campuran dengan kertas saring. Filtrat dianalisis nilai COD dan BOD untuk mengetahui kemampuan katalis dalam mendegradasi kandungan limbah *laundry*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis TiO₂-Kitosan

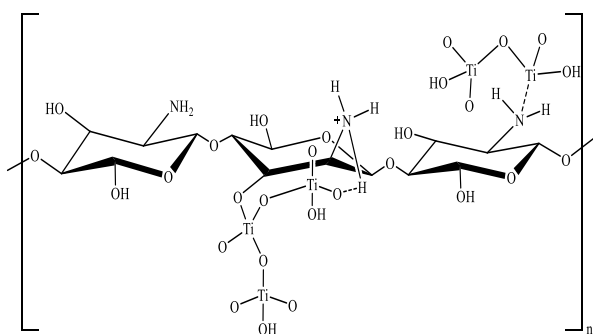
Sintesis TiO₂-kitosan dengan metode sol gel diawali dengan penambahan prekursor TTIP ke dalam larutan asam asetat. TTIP terhidrolisis melalui penggantian gugus isopropil dengan asetat membentuk kompleks titanium-okso-asetat. Penggantian gugus isopropil merupakan reaksi substitusi nukleofilik yang terjadi secara kompetitif

antara gugus asetat dan molekul air. Tahap berikutnya terjadi eliminasi molekul ester disertai pembentukan kluster-kluster kompleks titanium-okso-asetat. Terbentuknya kluster titanium-okso-asetat dianggap sebagai tahap awal pembentukan bibit kristal TiO₂ yang selanjutnya berkondensasi. Proses kondensasi terhadap sol melalui proses *aging* selama 7 hari yang bertujuan untuk pertumbuhan bibit kristal. Reaksi hidrolisis dan kondensasi ditunjukkan pada reaksi persamaan 1 dan 2 (Fajriati *et al.*, 2017).



Sol yang telah mengandung bibit kristal TiO₂, dicampurkan dengan larutan kitosan untuk menyeragamkan interaksi antara bibit kristal TiO₂ dengan gugus aktif kitosan. Tahap ini dianggap sebagai fase pertumbuhan lebih lanjut dari bibit kristal atau polikondensasi di dalam matriks kitosan sekaligus pembentukan komposit TiO₂-kitosan (Fajriati *et al.*, 2017). Komposit dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C untuk menghilangkan molekul-molekul air dan mendapatkan bahan komposit TiO₂-kitosan.

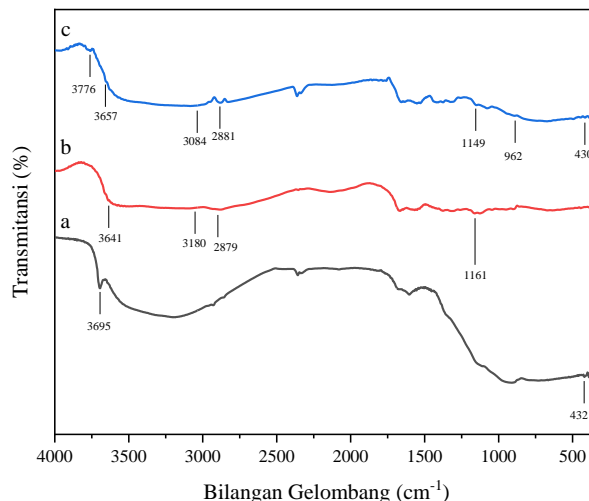
Dalam sintesis TiO₂-kitosan, gugus -TiOH yang terbentuk akibat hidrolisis TTIP oleh asam asetat, kemudian didehidrasi dengan adanya gugus -OH dan -CH₂OH dalam kitosan, sehingga terbentuk ikatan -Ti-O-kitosan. Pada Gambar 1 memperlihatkan interaksi TiO₂ dengan kitosan melalui atom Ti sebagai asam lewis dan gugus NH₂ sebagai basa lewis. TiO₂ berikatan dengan -NH₂ dari kitosan membentuk komposit TiO₂-kitosan.



Gambar 1. Struktur Molekul dan Interaksi TiO₂ dengan Kitosan (Fajriati *et al.*, 2017)

Karakterisasi Katalis Menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Analisis menggunakan FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada katalis. Spektra FTIR TiO₂, kitosan, dan TiO₂-kitosan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektra FTIR Katalis (a) TiO₂ (b) Kitosan (c) TiO₂-kitosan

Pada spektra TiO₂ dan TiO₂-kitosan puncak serapan pada 432 cm⁻¹ dan 430 cm⁻¹ mengidentifikasi sebagai daerah regangan O=Ti=O. Hal ini didukung penelitian Li *et al.* (2008) puncak yang menyerap pada 400-900 cm⁻¹ merupakan daerah serapan O=Ti=O. Puncak yang menyerap pada 3695 cm⁻¹, 3180 cm⁻¹, 3641 cm⁻¹, 3084 cm⁻¹ dan 3657 cm⁻¹ pada spektra TiO₂, kitosan, dan TiO₂-kitosan diidentifikasi adanya gugus O-H dan N-H yang saling tumpang tindih. Menurut Latifah *et al.* (2020) serapan gugus -OH dan -NH₂ pada 3000-3750 cm⁻¹. Puncak serapan 1149 cm⁻¹ dan 1161 cm⁻¹ pada kitosan dan TiO₂-kitosan menandakan keberadaan gugus fungsi C-O. Menurut Sitorus (2009) mengidentifikasi keberadaan gugus C-O pada 1000-1300 cm⁻¹. Pada spektra kitosan dan TiO₂-kitosan menyerap pada 2879 cm⁻¹ dan 2881 cm⁻¹ diidentifikasi sebagai daerah regangan C-H. Hal ini didukung penelitian Nandiyanto *et al.* (2019) mengidentifikasi keberadaan gugus C-H pada 2820-2900 cm⁻¹.

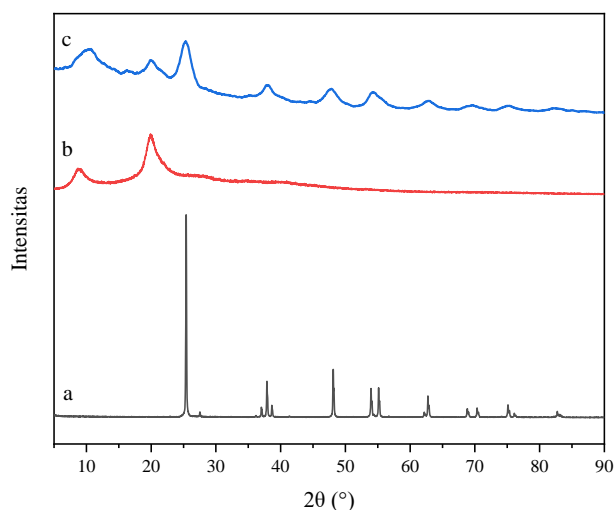
Pada spektra TiO₂-kitosan memperlihatkan adanya serapan pada 3776 cm⁻¹ mengidentifikasi regangan O-H. Indikasi terbentuknya ikatan hidrogen intra dan inter molekuler gugus -O-Ti dengan -OH relatif lebih kuat dibandingkan ikatan hidrogen intra

dan intermolekuler antara -NH₂ dan -OH. Menurut Fajriati *et al.* (2017) serapan gugus gugus -O-Ti dengan gugus -OH atau -NH₂ pada 3749-3873 cm⁻¹. Keberadaan gugus N-H menandakan adanya kitosan karena senyawa amina yang terikat pada strukturnya akan mengandung gugus N-H (Komalasari dan Sunendar, 2013) yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Karakterisasi Katalis Menggunakan X-ray Diffraction (XRD)

Analisis menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui karakteristik kristalinitas pada katalis. Pola difraktogram dari TiO₂, kitosan, dan TiO₂-kitosan ditunjukkan pada Gambar 3.

Hasil difraktogram TiO₂ munculnya puncak-puncak tertinggi pada difraksi 2θ yaitu 25,41°; 37,88°; 48,12°; 53,96°; 55,14°; 62,76°; dan 75,12° sesuai hkl berturut-turut yaitu (101), (004), (200), (105), (211), (204) dan (215) menunjukkan fase kristalin anatase tetragonal berdasarkan data JCPDS No. 01-089-4921. Puncak kitosan muncul pada sudut 2θ 8,91° dan 19,95°. Menurut penelitian Saravanan *et al.* (2018) bahwa pada sudut 2θ 10,62°-40,00° merupakan puncak kitosan.



Gambar 3. Difraksi XRD (a) TiO₂ (b) Kitosan (c) TiO₂-kitosan

Hasil difraktogram TiO₂-kitosan munculnya puncak difraksi 2θ pada 20,05° yang merupakan puncak khas dari kitosan, dan puncak difraksi 2θ pada 25,37°; 37,98°; 48,12°; 62,23° dan 75,06° yang merupakan puncak khas dari TiO₂. Hal ini menunjukkan keberadaan TiO₂ dalam kitosan terdoping dengan baik.

Ukuran kristal TiO₂, kitosan, dan TiO₂-kitosan dihitung menggunakan persamaan *Debye Scherrer*, diperoleh ukuran kristal TiO₂ rata-rata lebih besar yaitu sebesar 48,91 nm, ukuran kristal kitosan rata-rata yaitu sebesar 4,11 nm, sedangkan ukuran kristal TiO₂-kitosan rata-rata sebesar 9,26 nm. Penambahan kitosan mampu mempengaruhi ukuran kristal dari TiO₂. Menurut Saravanan *et al.* (2018) ukuran kristal akan menurun dengan penambahan kitosan. Kitosan berfungsi sebagai *host material* dalam TiO₂ yang dapat membatasi pertumbuhan partikel TiO₂ dengan efektif.

Karakterisasi Limbah Laundry

Karakteristik awal sampel limbah *laundry* dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil pengukuran pH limbah *laundry* pada Tabel 1 menunjukkan bahwa sesuai baku mutu yang ditetapkan pada Permen LHK, 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik Tersendiri. Nilai pH limbah *laundry* yang sesuai baku mutu dapat dikatakan aman dibuang ke lingkungan.

Hasil pengukuran kadar COD dan BOD limbah *laundry* pada Tabel 1 menunjukkan kadar tinggi dan melampaui baku mutu yang ditetapkan pada Permen LHK, 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik Tersendiri. Penyebab tingginya nilai COD dan BOD pada limbah *laundry* dikarenakan berbagai bahan kimia seperti surfaktan yang terdapat dalam detergen dan pewangi yang digunakan pada proses pencucian. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengolahan limbah *laundry* dilakukan agar mengetahui sejauh mana tingkat pencemaran yang ditimbulkan terhadap lingkungan.

Tabel 1. Karakteristik Awal Sampel Limbah *Laundry*

Parameter	Hasil Pengukuran	Baku Mutu*	Satuan
pH	7	6-9	-
COD	191,7600	100	mg/L
BOD	70,0000	30	mg/L

Keterangan (*) : (Permen LHK, 2016)

Uji Fotodegradasi Limbah Laundry Pengaruh waktu penyinaran

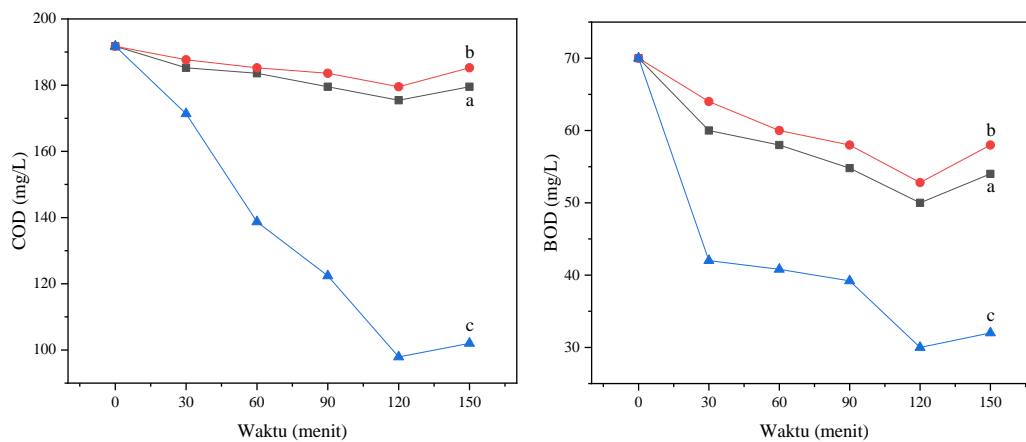
Semakin bertambahnya waktu penyinaran maka penurunan COD dan BOD limbah laundry semakin besar, dan hasilnya disajikan pada Gambar 4. Hal ini karena semakin lama waktu penyinaran sinar UV, semakin banyak elektron (e^-) bereksitasi dan h^+ yang terbentuk semakin banyak pada permukaan katalis sehingga jumlah radikal hidroksil ($\bullet OH$) yang terbentuk semakin banyak maka kontak limbah laundry dengan radikal hidroksil semakin efektif. Radikal hidroksil ini merupakan oksidator yang sangat kuat yang berperan dalam mendegradasi limbah laundry. Dengan demikian, bertambahnya waktu fotodegradasi akan menurunkan nilai COD dan BOD limbah laundry karena kandungan senyawa organik limbah laundry sudah sebagian terdegradasi.

Fotodegradasi limbah laundry menggunakan katalis TiO_2 , kitosan, dan TiO_2 -

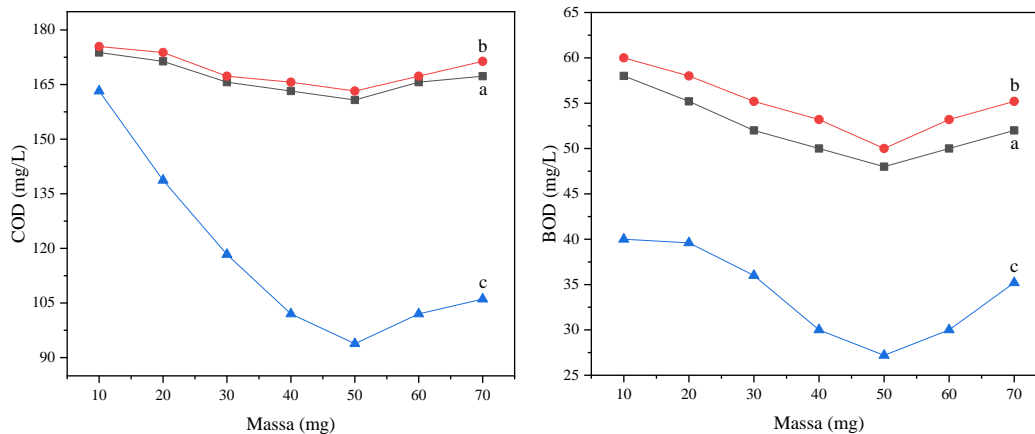
kitosan memberikan waktu optimum yang sama yaitu 120 menit. Namun, pada waktu penyinaran >120 menit nilai COD dan BOD mengalami sedikit peningkatan, kemungkinan karena adanya produk fotodegradasi yang menempel pada permukaan katalis yang jumlahnya semakin banyak dengan bertambahnya waktu. Adanya produk fotodegradasi yang menempel pada permukaan katalis akan menghalangi interaksi katalis dengan sinar UV, sehingga jumlah radikal hidroksil yang dihasilkan berkurang dan reaksi fotodegradasi berjalan lebih lambat.

Pengaruh massa katalis

Semakin banyak massa katalis yang ditambahkan maka persentase penurunan konsentrasi limbah laundry semakin besar, dan hasilnya disajikan pada Gambar 5. Hal ini disebabkan jumlah katalis sebanding dengan luasan efektif perpindahan fotoelektron.



Gambar 4. Pengaruh Waktu Penyinaran pada Fotodegradasi Limbah Laundry Kondisi Optimum terhadap Nilai COD dan BOD Menggunakan Katalis (a) TiO_2 (b) Kitosan (c) TiO_2 -kitosan



Gambar 5. Pengaruh Massa Katalis (a) TiO_2 (b) Kitosan (c) TiO_2 -kitosan terhadap Nilai COD dan BOD pada Fotodegradasi Limbah Laundry Kondisi Optimum

Berdasarkan Gambar 5 penurunan nilai COD dan BOD limbah *laundry* semakin besar dengan bertambahnya massa katalis sampai sebesar 50 mg. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah katalis maka semakin banyak sisi aktif permukaan katalis sehingga semakin banyak jumlah foton dan limbah *laundry* yang dapat diabsorpsi. Kemampuan untuk mengabsorpsi lebih banyak foton menghasilkan lebih banyak elektron (e⁻) pada pita valensi bereksitasi menuju pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* (h⁺). *Hole* (h⁺) akan berinteraksi dengan OH⁻ dari H₂O yang berada pada permukaan katalis membentuk OH radikal (•OH) yang akan mendegradasi limbah *laundry*. Namun, pada penambahan massa katalis 60 mg dan 70 mg dalam limbah *laundry*, fotodegradasi menurun karena penambahan massa yang cukup banyak dapat menghalangi kontak antara katalis dengan sinar UV sehingga nilai COD dan BOD menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan massa katalis 50 mg.

Pengaruh pH limbah *laundry*

Pada proses fotodegradasi pH berperan penting menghasilkan radikal hidroksil. Radikal hidroksil merupakan oksidator kuat yang akan mendegradasi limbah *laundry*. Proses katalis berlangsung saat transfer muatan radikal hidroksil (•OH) ke dalam limbah *laundry*. pH juga mempengaruhi kesetimbangan asam basa permukaan katalis TiO₂ dalam air yang mempengaruhi muatan permukaannya (Diantariani, 2021).

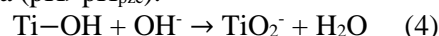
pH optimum untuk TiO₂-kitosan terjadi pada pH netral (pH 7), sedangkan katalis TiO₂ dan kitosan terjadi pada pH mendekati netral (pH 6), dan hasilnya disajikan pada Gambar 6.

Kondisi pH mempengaruhi muatan permukaan TiO₂ yang diperlihatkan dalam reaksi kesetimbangan asam basa TiO₂ di dalam air pada reaksi berikut:

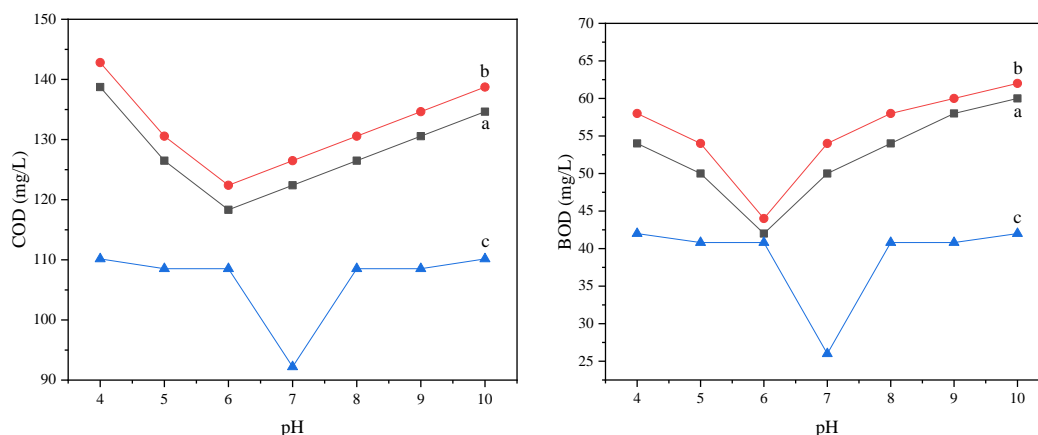
pH asam (pH < p*H*_{pzc}):



pH basa (pH > p*H*_{pzc}):



TiO₂ memiliki p*H*_{pzc} sebesar 6,4 (The *et al.*, 2017), dimana pada pH < p*H*_{pzc} katalis bermuatan positif sedangkan pH > p*H*_{pzc} katalis bermuatan negatif. Dari hasil pengukuran awal limbah *laundry* memiliki pH netral (pH 7). Pada kondisi asam kemungkinan molekul-molekul polutan yang ada pada limbah *laundry* mengalami protonasi sehingga bermuatan positif. Hal ini mengakibatkan adanya gaya tolak menolak katalis dengan molekul limbah *laundry* yang menghalangi adsorpsi limbah *laundry* pada permukaan katalis sehingga fotodegradasi cenderung lebih kecil daripada kondisi netral. Oleh karena itu, penurunan nilai COD dan BOD limbah *laundry* pada fotodegradasi kondisi asam cenderung kecil. Pada kondisi basa persentase penurunan nilai COD dan BOD juga lebih kecil dibandingkan kondisi netral. Hal ini kemungkinan pada kondisi yang semakin basa adanya *coulombic repulsion* antara permukaan katalis yang bermuatan negatif dengan spesies OH⁻ yang terlibat dalam mekanisme oksidasi fotokatalitik, sehingga berkurangnya produksi OH radikal pada fotodegradasi (Hadjlatief *et al.*, 2016). Selain itu, pada kondisi basa TiO₂ dapat menjadi TiO(OH)₂⁻ sehingga mengurangi efisiensi fotokatalitik (Ivanova *et al.*, 2011).

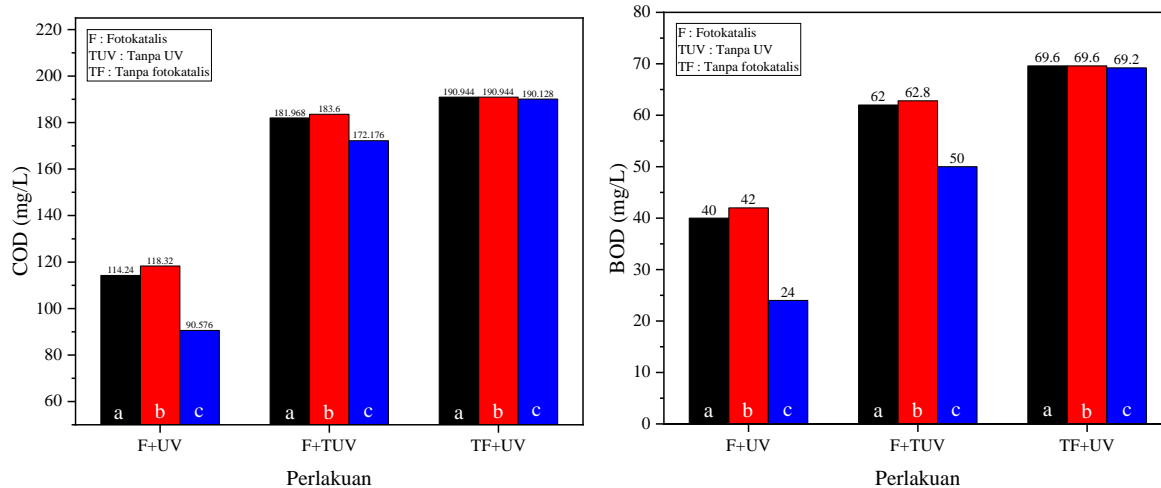


Gambar 6. Pengaruh pH pada Fotodegradasi Limbah *Laundry* Kondisi Optimum terhadap Nilai COD dan BOD Menggunakan Katalis (a) TiO₂ (b) Kitosan (c) TiO₂-kitosan

Uji fotodegradasi limbah *laundry* kondisi optimum

Dalam uji fotodegradasi limbah *laundry* pada kondisi optimum dilakukan untuk menentukan efektivitas fotodegradasi limbah

laundry menggunakan katalis TiO₂, kitosan, dan TiO₂-kitosan. Prosedur dilakukan dengan menggunakan katalis disinari sinar UV, tanpa katalis disinari sinar UV, dan dengan katalis tanpa disinari sinar UV.



Gambar 7. Pengaruh Perlakuan pada Fotodegradasi Limbah *Laundry* Kondisi Optimum terhadap Nilai COD dan BOD Menggunakan Katalis (a) TiO₂ (b) Kitosan (c) TiO₂-kitosan

Berdasarkan Gambar 7 menunjukkan bahwa uji fotodegradasi menggunakan katalis TiO₂-kitosan paling efektif dalam mendegradasi limbah *laundry*. Penurunan nilai COD dan BOD yang diperoleh secara berturut-turut sebesar 90,5760 mg/L dengan persen efisiensi 52,77% dan 24,0000 mg/L dengan persen efisiensi 65,71%. Berdasarkan nilai COD dan BOD yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai tersebut dibawah nilai batas baku mutu yang ditetapkan pada Permen LHK, 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik Tersendiri. Nilai degradasi COD dan BOD limbah *laundry* dibawah baku mutu dapat dikatakan aman dibuang ke lingkungan.

Berdasarkan uraian diatas dalam uji fotodegradasi limbah *laundry* menunjukkan bahwa pengembanan TiO₂ pada kitosan mampu meningkatkan efektivitas fotodegradasi limbah *laundry* dalam penurunan COD dan BOD. Penurunan COD yang diperoleh sebesar 52,77% dan BOD diperoleh sebesar 65,71%. Hal ini didukung oleh penelitian Oktarina dan Said (2019) bahwa menggunakan katalis TiO₂-kitosan mampu mendegradasi dengan baik sebesar 54,47%. Persentase nilai degradasi menggunakan TiO₂-kitosan dalam penelitian ini cukup efektif mendegradasi limbah *laundry* dalam penurunan COD dan BOD.

SIMPULAN

Hasil karakterisasi TiO₂-kitosan dengan FTIR menunjukkan keberadaan gugus O=Ti=O, O-H, N-H, C-H, dan C-O yang mengidentifikasi telah terbentuknya katalis TiO₂-kitosan. Karakterisasi TiO₂-kitosan dengan XRD menunjukkan fase kristalin anatase tetragonal. Kondisi optimum dalam mendegradasi limbah *laundry* terhadap COD dan BOD menggunakan katalis TiO₂-kitosan diperoleh pada massa katalis 50 mg, pH 7, dan waktu penyinaran selama 120 menit. Pengembanan TiO₂ pada kitosan dalam kondisi optimum dengan sinar UV mempengaruhi efektivitas fotodegradasi limbah *laundry* dengan penurunan tertinggi nilai COD sebesar 90,5760 mg/L dan BOD sebesar 24,0000 mg/L.

DAFTAR PUSTAKA

- Diantariani, N.P., 2021. Penghilangan Metilen Biru dan Ion Cr (IV) Secara Simultan dan Sinergis Dengan Menggunakan Katalis ZnO-Ag/Zeolit Alam. *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Dini, E.W.P., dan Wardhani, S., 2014. Degradasi Metilen Biru Menggunakan

- Katalis ZnO-Zeolit. *Chem Prog.* 7(1): 29-33.
- Fajriati, I., Sedyadi, E., dan Sudarlin, 2017. Sintesis Komposit Film Kitosan-TiO₂ Menggunakan Sorbitol sebagai Plasticizer. *Jurnal Penelitian Kimia.* 13(1): 75-94.
- Faradina, Sari, I.P., dan Harahap, H.R., 2021. Pengolahan Air Buangan Limbah Laundry Menggunakan Bottom Ash Sebagai Media Adsorpsi. *Jurnal Kinetika.* 12(2): 21-28.
- Habiba, U., Joo, T.C., Shezan, S.K.A., Das, R., Ang, B.C., and Afifi, A.M., 2019. Synthesis and Characterization of Chitosan/TiO₂ nanocomposite for the Adsorption of Congo Red. *Desalination and Water Treatment.* 164: 361-367.
- Hadjlatief, H.B., Zina, M.B., Galvez, M.E., and Costa, P. D., 2016. Photocatalytic Degradation of Methyl Green Dye In Aqueous Solution Over Natural Clay-Supported ZnO-TiO₂ Catalysts. *Journal of Photochemistry and Photobiology A.* 315: 25-33.
- Ivanova, T., Harizanova, A., Koutzarova, T., and Vertruyen, B., 2011. Preparation and Characterization of ZnO-TiO₂ Films Obtained by Sol-Gel Method. *Journal of Non-Crystalline Solids.* 357(15): 2840-2845.
- Koda, E., Miskowska, A., and Siczka, A., 2017. Levels of Organic Pollution Indicators in Groundwater at the Old Landfill and Waste management Site. *Applied Sciences.* 7(6): 1-22.
- Komalasari, M., dan Sunendar, B., 2013. Penggunaan TiO₂ Partikel Nano Hasil Sintesis Berbasis Air Menggunakan Metode Sol-Gel pada Bahan Kapas sebagai Aplikasi untuk Tekstil Anti UV. *Jurnal Ilmiah Arena Tekstil.* 28(1): 1-46.
- Latifah, S., Ridho, R., dan Baiti, I.F., 2020. Imobilisasi Katalis Komposit TiO₂-Kitosan Sebagai Pendegradasi Zat Warna Remazol Yellow FG. *Jurnal Crystal.* ISSN: 2685-7065.
- Li, Q., Su, H., and Tan, T., 2008. Sythesis of Ion-Imprinted Chitosan-TiO₂ Adsorbent and Its Multi-functional Perfomance. *Journal of Biochemical Engineering.* 38(2): 212-218.
- Nandiyanto, Asep, B.D., Oktiani, R., and Ragadhita, R., 2019. How to Read and Interpret FTIR Spectroscope of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology.* 2(1): 97-118.
- Oktarina, K., dan Said, 2019. Pengolahan Limbah Zat Warna Procion dengan Katalis Kitosan-TiO₂ pada Industri Songket. *Distilasi.* 4(1): 1-9.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Saraswati, I.G.A.A., Diantariani, N.P., dan Suarya, P., 2015. Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Congo Red Dengan Katalis ZnO-Arang Aktif dan Sinar Ultraviolet (UV). *Jurnal Kimia.* 9(2): 175-182.
- Saravanan, R., Aviles, J., and Gracia, F., 2018. Crystallinity and Lowering Band Gap Induced Visible Light Photocatalytic Activity of TiO₂-CS (Chitosan) Nanocomposite. *International Journal of Biological Macromolecules.* 109:1239-1245.
- Sitorus, M., 2009. *Spektroskopi Elusida Struktur Molekul Organik.* Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sudarminto, H.P., Suryandari, A.S., Mufid, Sindhuwati, C., dan Maula, I., 2021. Degradasi Linier Alkylbenzene Sulfonate Air Limbah Laundry Menggunakan Proses Katalis. *Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia.* 5(1).
- The, E.J., Leong, Y.K., and Craig V.S.J., 2017. Surface Forces and Rheology of Titanium Dioxide In the Presence of Dicarboxylic Acids: From Molecular Interactions to Yield Stress. *Langmuir.* 33: 1496-506.