

PENGGUNAAN TiO_2 /ZEOLIT UNTUK MENGURANGI KONSENTRASI NITRAT, NITRIT, AMONIAK, FOSFAT, BOD, COD, DAN pH AIR LIMBAH PERTANIAN SECARA FOTOLISIS

Zilfa*, Rahmayeni, Diana Vanda Wellia, Yulizar Yusuf, Putri Julanda Ardica, Siti Zahara, Muhammad Hafiz Reza

Laboratorium Analisis Terapan, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang, Sumatera Barat, Indonesia, 25163

*Email: zilfa@sci.unand.ac.id

Detail Artikel

Diterima : 21 Oktober 2022

Direvisi : 29 Oktober 2022

Diterbitkan : 31 Oktober 2022

Kata Kunci

TiO_2 /Zeolite

Degradasi

fotolisis

Penulis Korespondensi

Name : Zilfa

Affiliation : Universitas Andalas

E-mail : zilfa@sci.unand.ac.id

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of the use of TiO_2 /Zeolite on reducing concentrations of nitrate, nitrite, ammonia, phosphate, BOD, COD and pH in agricultural wastewater by photolysis. In this study, sample analysis was carried out using UV-Vis spectrophotometer and FTIR and for the characterization of TiO_2 /Zeolite catalysts using FTIR, XRD and SEM. In agricultural wastewater samples, the initial concentration of nitrate was 11,409 mg/L, nitrite was 0,424 mg/L, ammonia was 5,075 mg/L and phosphate was 5,364 mg/L. The most optimum decrease in concentration for nitrate, nitrite, ammonia and phosphate, respectively, was 4,332 mg/L with an irradiation time of 90 minutes; 0,118 mg/L with an irradiation time of 75 minutes; 0,395 mg/L with an irradiation time of 90 minutes and 1,207 mg/L with an irradiation time of 60 minutes on the addition of TiO_2 /Zeolite as much as 0.8 grams for the determination of nitrate and phosphate while for nitrite and ammonia as much as 0.6 grams. Prior to the degradation, the BOD value was 62,4 mg/L and the COD value was 107,07 mg/L. Meanwhile, after degradation, the BOD value decreased to 5,92 mg/L and COD to 35 mg/L. The results of the analysis using FTIR on agricultural wastewater show that there is no significant shift in wave number before and after degradation. The characterization of TiO_2 /Zeolite catalyst using FTIR, XRD and SEM did not show significant changes before and after the degradation process was carried out which indicated that TiO_2 /zeolite could be applied in degrading agricultural wastewater.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan TiO₂/Zeolite terhadap penurunan konsentrasi nitrat, nitrit, amonia, fosfat, BOD, COD dan pH pada air limbah pertanian secara fotolisis. Pada penelitian ini dilakukan analisis sampel menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR serta untuk karakterisasi katalis TiO₂/Zeolit menggunakan FTIR, XRD dan SEM. Pada sampel air limbah pertanian, konsentrasi awal nitrat adalah 11,409 mg/L, nitrit 0,424 mg/L, amonia 5,075 mg/L dan fosfat 5,364 mg/L. Penurunan konsentrasi nitrat, nitrit, amonia dan fosfat yang paling optimum berturut-turut adalah sebesar 4.332 mg/L dengan lama penyinaran 90 menit; 0,118 mg/L dengan waktu penyinaran 75 menit; 0,395 mg/L dengan lama penyinaran 90 menit dan 1,207 mg/L dengan lama penyinaran 60 menit pada penambahan TiO₂/Zeolite sebanyak 0,8 gram untuk penentuan nitrat dan fosfat sedangkan untuk nitrit dan amoniak sebanyak 0,6 gram. Sebelum dilakukan degradasi nilai BOD sebesar 62,4 mg/L dan nilai COD sebesar 107,07 mg/L. Sedangkan setelah terdegradasi, nilai BOD menurun menjadi 5,92 mg/L dan COD menjadi 35 mg/L. Hasil analisis menggunakan FTIR pada air limbah pertanian menunjukkan bahwa tidak ada perubahan bilangan gelombang yang signifikan sebelum dan sesudah degradasi. Karakterisasi katalis TiO₂/zeolite menggunakan FTIR, XRD dan SEM tidak menunjukkan perubahan yang signifikan sebelum dan sesudah dilakukan proses degradasi yang menunjukkan bahwa TiO₂/zeolite dapat diaplikasikan dalam mendegradasi air limbah pertanian.

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal akan negara agraris yaitu suatu negara yang mengandalkan sector pertanian. Untuk meningkatkan hasil pertanian dilakukan penyuburan dan penghilang hama dengan pestisida. Pemberian pestisida yang tidak terkendali akan mengakibatkan terjadinya limbah pestisida pada perarian pertanian. Selain pemberian pestisida juga diberikan pupuk. Pemberian pupuk yang berlebihan juga juga menimbulkan masalah. Penggunaan pupuk N, P, dan K secara umum meningkat sesuai dengan adanya perluasan lahan pertanian. Kelebihan pemberian pupuk N baik dalam bentuk N inorganic seperti urea maupun N dari bahan organic seperti kotoran hewan (kohe) akan meningkatkan kandungan amoniak yang akan mengalami proses nitrifikasi menghasilkan nitrit dan nitrat yang menyebabkan pada air terkandung senyawa anorganik berbahaya. Tidak hanya itu pemberian pupuk P yang berlebihan juga akan meningkatkan kandungan fosfat yang akan mencemari lingkungan. Selain pupuk, input produksi yang tidak kalah pentingnya dan berpotensi mencemari lingkungan adalah pestisida². Penggunaan pestisida dan pupuk yang berlebihan akan menyebabkan nilai COD dan BOD air menjadi tinggi yang disebabkan karena kandungan bahan organik yang tinggi pada air tersebut^{3,4}.

Untuk menanggulangi hal tersebut dapat dilakukan metoda degradasi. Metoda degradasi merupakan penguraian senyawa menjadi senyawa sederhana yang tidak berbahaya seperti CO₂ dan H₂O⁴. Metode degradasi dapat dilakukan dengan cara fotolisis. Fotolisis adalah

suatu proses transformasi kimia (fotokimia) yang berlangsung dengan bantuan radiasi sinar UV. Untuk meningkatkan hasil degradasi dapat digunakan katalis yang disebut fotokatalis. Fotokatalis adalah suatu metode fotokimia dan katalis untuk mempercepat transformasi. Dalam mengkatalis hasil degradasi dapat digunakan katalis TiO₂. TiO₂ adalah suatu katalis yang banyak digunakan dalam degradasi senyawa organik yang berbahaya secara fotolisis. Untuk meningkatkan hasil degradasi TiO₂ disupport oleh zeolit membentuk TiO₂/zeolite, karena zeolit dapat memperluas permukaan TiO₂ dan dalam proses degradasi sekaligus terjadi proses degradasi dan adsorpsi

Zeolit merupakan padatan Kristal mikropori yang tersusun secara tetrahedral AlO₄ dan SiO₄ membentuk kerangka struktur. Zeolit mempunyai kemampuan melakukan pertukaran ion (*ion exchanger*), adsorpsi (*adsorption*) dan katalisator (*catalyst*). Bentuk Kristal zeolit yang teratur dengan rongga yang saling berhubungan kesegala arah menyebabkan luas permukaan zeolite sangat besar sehingga bisa digunakan sebagai adsorben.

Berdasarkan uraian diatas penulis melakukan penelitian mengenai pengaruh penggunaan TiO₂/Zeolit terhadap penurunan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak, fosfat, BOD, COD serta pH pada limbah air pertanian secara fotolisis. Analisis dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR, serta dilakukanya karakterisasi pada TiO₂/zeolit sebelum dan sesudah proses degradasi menggunakan XRD,SEM dan FTIR.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan kimia, peralatan dan instrumentasi

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Zeolit *Clinoptilolite-Ca* yang diambil dari daerah Lubuk Silasih, Kabupaten Solok, Sumatera Barat, TiO₂, HCl (merck), NaCl (merck), AgNO₃(merck), kaliumnitrat (KNO₃) (merck), natrium nitrit (NaNO₂) (merck), N-(1-naphthyl)-ethylene diamine dihydrochloride (NEDH) (merck), sulfanilamide (C₆H₈N₂O₂S) (merck), asam sulfat (H₂SO₄) (merck), brusin sulfat (merck), NaOH teknis (merck), NH₄Cl (merck), HgI₂ (merck), KI (merck), KNaC₄H₄O₆.4H₂O (merck), KH₂PO₄ (merck), NH₄VO₃ (merck), (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O(pudak), sampel air yang akan dianalisis.

Alat-alat yang digunakan adalah peralatan gelas, neraca analitik, pH-meter, sentrifus, magnetic stirrer (*thermo scientific*), oven, furnace, SEM (*Scanning Infrared Spectroscopy*) (HITACHI S-3500 N), FT-IR (*Fourier Transfor-Infrared Spectroscopy*) (Unican Mattson Mod 7000 FT-IR), XRD dan spektrofotometer UV-Vis (GENESYS 20), kotak iridiasi yang dilengkapi lampu UV (*Luster BLB 10 W-TB*) dengan $\lambda = 365$ nm.

Prosedur Penelitian

Aktivasi Zeolit *clipnotilolit-Ca*

Zeolit sebanyak 250 g digerus halus dan diayak menggunakan ayakan 450 mesh. Zeolit 450 mesh diaktivasi menggunakan HCl 0,2 M dan distirer selama 30 menit, setelah 30 menit pH diukur dan dibilas dengan aquades sampai pH netral. Setelah pH netral zeolit disaring dan dioven selama 1 jam pada suhu 100°C dan didapatkan zeolit teraktivasi. Zeolit yang telah

diaktivasi dijenuhkan dengan penambahan NaCl 0,1 M dan diaduk selama 1 jam,. Zeolit dipisahkan dari filtrat dengan proses penyaringan, filtrat dari zeolit diuji dengan AgNO₃ apabila masih terbentuk endapan putih maka zeolit dicuci dengan air destilasi hingga tidak terbentuk lagi endapan putih. (Zilfa, dkk. 2018)

Preparasi Katalis TiO₂/Zeolit lipnotilolit-Ca

50 g zeolit yang telah dijenuhkan dimasukkan kedalam air destilasi dan diaduk selama 5 jam, lalu ditambahkan 2 g TiO₂ dengan perbandingan (1:25) secara bertahap sambil diaduk. Hasil pencampuran dipisahkan menggunakan penyaringan dan dikeringkan dengan oven pada temperatur 100°C. Katalis digerus sampai halus lalu diayak menggunakan pengayak 150 mesh. Hasil ayakan dikalsinasi pada temperatur 400°C selama 10 jam. (Zilfa, dkk. 2018)

Penentuan Serapan Maksimum Nitrat

Penentuan serapan maksimum dilakukan dengan membuat larutan nitrat dari larutan induk pada konsentrasi 100 mg/L. Kemudian dibuat dengan variasi konsentrasi pada nitrat yaitu 2 ; 4 ; 6 ; 8 ; 10 dan 12 mg/L dengan pengenceran dari larutan yang kemudian dipipet 30 mL dimasukkan kedalam gelas piala 50 mL lalu direaksikan dengan pengompleks dari nitrat yaitu dengan ditambahkan 2 mL larutan NaCl dan ditambahkan 10 mL larutan asam sulfat (H₂SO₄) dan ditambahkan 0,5 mL larutan brusin sulfanilat, aduk perlahan dan dipanaskan di atas penangas air pada suhu 95⁰C Setelah itu diukur nilai absorban dari nitrat menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400-800 nm.

Penentuan Serapan Maksimum Nitrit

Penentuan serapan maksimum dilakukan dengan membuat larutan nitrit dari larutan induk pada konsentrasi 100 mg/L. Kemudian dibuat dengan variasi konsentrasi pada nitrit 0,25 ; 0,50 ; 0,75 ; 1 dan 1.25 mg/L dengan pengenceran dari larutan yang kemudian dipipet 30 mL dimasukkan kedalam gelas piala 50 mL lalu direaksikan dengan pengompleks dari nitrit yaitu dengan Ditambahkan 1 mL asam sulfanilat dan 1 mL NEDH setelah itu dikocok. Setelah itu diukur nilai absorban dari nitrit menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400-800 nm.

Penentuan Serapan Maksimum Amoniak

Penentuan serapan maksimum dilakukan dengan membuat larutan amoniak 100 mg/L dari larutan induk 1000 mg/L. Kemudian dibuat beberapa variasi konsentrasi amoniak yaitu 2, 4, 6, 8 dan 10 mg/L dengan pengenceran dari larutan , kemudian diambil 30 mL dan dimasukkan kedalam gelas piala 50 mL dan ditambahkan 1 tetes garam seignette dan 0,1 mL reagen nessler. Absorban amoniak diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 300-600 nm.

Penentuan Serapan Maksimum Fosfat

Penentuan serapan maksimum dilakukan dengan membuat larutan Fosfat 100 mg/L dari larutan induk 1000 mg/L. Kemudian dibuat beberapa variasi konsentrasi fosfat yaitu 1, 3, 6, 9, 12 mg/L dengan pengenceran dari masing-masing larutan , kemudian diambil 30 mL dan dimasukkan kedalam gelas piala 50 mL dan ditambahkan 0,3 mL larutan ammonium

molibdat dan 0,2 mL ammonium vanadat. Absorban fosfat diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 400-800 nm.

Penentuan Kadar Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat pada Limbah Air Pertanian

Pada penentuan kadar nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat dipipet 30 mL air limbah pertanian dimasukkan kedalam gelas piala 50 mL kemudian ditambahkan pengompleks masing-masing untuk nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat. Nilai absorban diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang maksimum.

Penentuan Pengaruh Waktu Degradasi Terhadap Penurunan Konsentrasi Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat Tanpa Katalis

Penentuan pengaruh waktu degradasi tanpa katalis dilakukan dengan mengambil 30 mL sampel air, lalu dimasukkan dalam 7 petridis masing-masing untuk nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat kemudian larutan pada masing-masing petridis difotolisis dengan variasi waktu 15,30,45,60,75,90 dan 105 menit dibawah lampu UV. Kemudian dipindahkan ke gelas piala lalu ditentukan konsentrasi dengan penambahan masing-masing pengompleks. Nilai absorban diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

Penentuan Pengaruh Penambahan Jumlah Katalis TiO_2 /zeolite Terhadap Penurunan Konsentrasi Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat

Penentuan pengaruh waktu degradasi dengan penambahan katalis TiO_2 /zeolite dilakukan dengan mengambil 30 mL sampel air, lalu dimasukkan dalam 5 petridis masing-masing untuk nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat lalu ditambahkan katalis TiO_2 /Zeolit dengan variasi massa yaitu 0 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1,0 gram pada masing-masing petridis, difotolisis dengan waktu optimum dibawah lampu UV. Kemudian larutan dipindahkan ke tabung reaksi lalu di sentrifus selama 15 menit, diambil filtrat dipindahkan ke gelas piala kemudian ditentukan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat dengan ditambahkan pengompleks nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat. Setelah itu diukur absorbanya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Penentuan Pengaruh Waktu setelah Penambahan Katalis TiO_2 /zeolit, TiO_2 dan Zeolit Terhadap Penurunan Konsentrasi Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat

Penentuan pengaruh waktu setelah penambahan katalis TiO_2 /zeolite, TiO_2 dan zeolit dilakukan dengan mengambil 30 mL sampel air, lalu dimasukkan dalam 7 petridis masing-masing untuk nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat kemudian ditambahkan katalis dengan massa optimum. Larutan pada masing-masing petridis difotolisis dengan variasi waktu 15,30,45,60,75,90 dan 105 menit dibawah lampu UV. Kemudian dipindahkan ke tabung reaksi lalu disentrifus selama 15 menit. Diambil filtratnya dan ditentukan konsentrasi dengan penambahan masing-masing pengompleks. Nilai absorban diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

Penentuan Penurunan Konsentrasi Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat dengan Disinari dan Tanpa Disinari UV

Penentuan penurunan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat dengan disinari dan tanpa disinari UV dilakukan dengan mengambil 30 mL sampel air, lalu dimasukkan dalam 14 petridis masing-masing untuk nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat kemudian ditambahkan katalis TiO₂/Zeolite dengan massa optimum. Larutan pada masing-masing petridis difotolisis dengan variasi waktu 15,30,45,60,75,90 dan 105 menit dibawah lampu UV. Kemudian dipindahkan ke tabung reaksi lalu disentrifus selama 15 menit. Diambil filtratnya dan ditentukan konsentrasi dengan penambahan masing-masing pengompleks. Nilai absorban diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

Penentuan BOD

Sampel ditambahkan kedalam larutan pengencer jenuh oksigen yang telah ditambah larutan nutrisi dan bibit mikroba, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu 20°C ± 1°C selama 5 hari. Nilai BOD₅ dihitung berdasarkan selisih konsentrasi oksigen terlarut nol hari dan lima hari. Bahan control standar uji BOD yang digunakan adalah larutan glukosa-asam glutamate. Analisis BOD dilakukan sebelum dan sesudah degradasi.

Penentuan COD

Sampel air dipipet 10 mL dan dimasukkan ke dalam tabung COD. Kemudian ditambahkan digestion solution dan pereaksi asam sulfat lalu dipanaskan selama 2 jam dengan suhu 150°C, diukur absorban menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm dan 420 nm. Analisis COD dilakukan sebelum dan sesudah degradasi.

Penentuan pH

Penentuan nilai pH pada sampel air diukur menggunakan alat pH meter pada sebelum dan sesudah dilakukan degradasi.

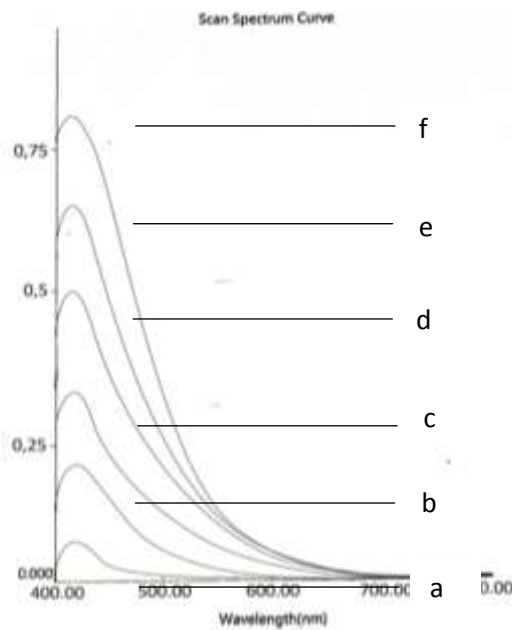
Karakterisasi

Sampel limbah air pertanian dianalisis menggunakan FTIR dan Spektrofotometer UV-Vis. Karakterisasi katalis TiO₂/zeolit menggunakan FTIR, XRD dan SEM.

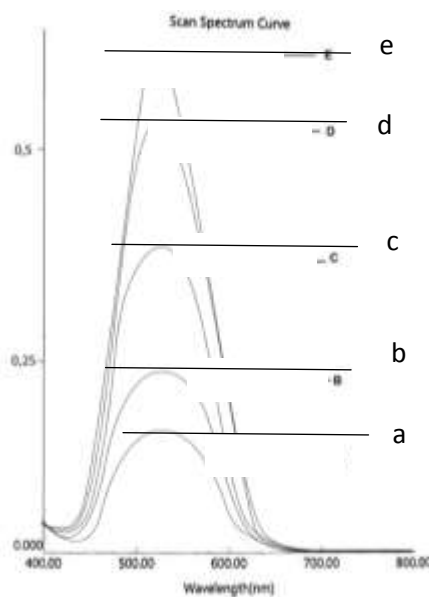
HASIL DAN DISKUSI

Pengukuran Serapan Maksimum Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat

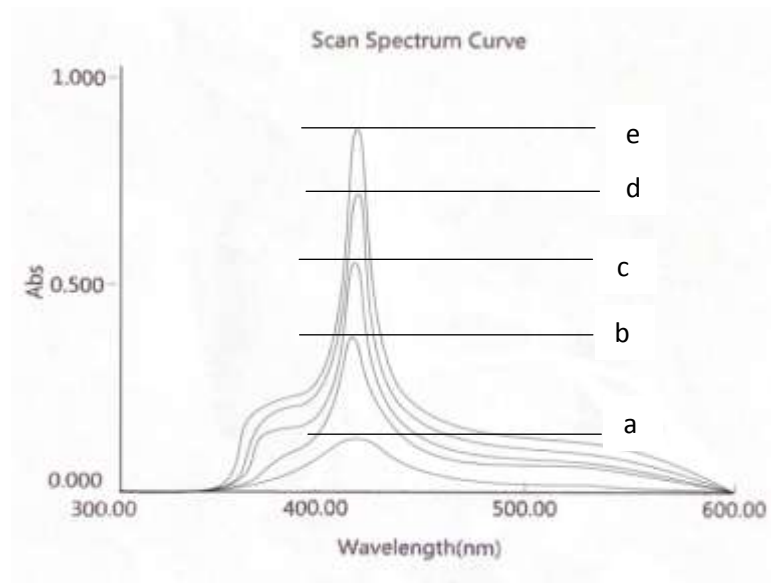
Pada pengukuran Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat didapatkan puncak serapan maksimum pada panjang gelombang berturut-turut 420 nm, 520 nm, 440 nm dan 420 nm seperti yang terlihat pada gambar 1, 2, 3, 4. Panjang gelombang yang didapat pada pengukuran ini akan digunakan untuk mengukur absorban larutan sebelum dan sesudah degradasi.



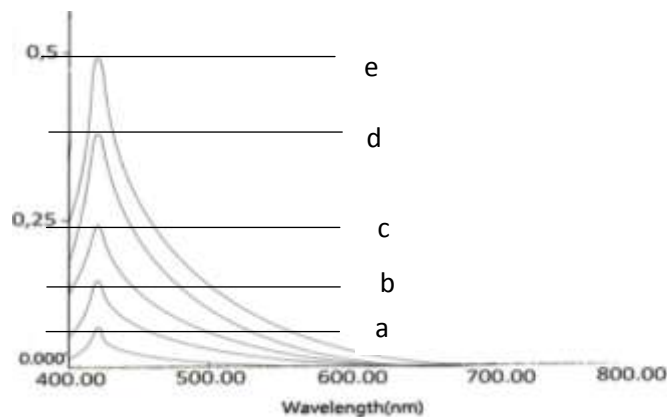
Gambar 1. Spektrum serapan nitrat pada variasi konsentrasi (a) 2 mg/L, (b) 4 mg/L, (c) 6 mg/L, (d) 8 mg/L, (e) 10 mg/L dan (f) 12 mg/L



Gambar 2. Spektrum serapan nitrit pada variasi konsentrasi (a) 0,25 mg/L, (b) 0,5 mg/L, (c) 0,75 mg/L, (d) 1 mg/L, (e) 1,25 mg/L



Gambar 3. Spektrum serapan amoniak pada variasi konsentrasi (a) 2 mg/L, (b) 4 mg/L, (c) 6 mg/L, (d) 8 mg/L, (e) 10 mg/L



Gambar 4. Spektrum serapan fosfat pada variasi konsentrasi (a) 1 mg/L, (b) 3 mg/L, (c) 6 mg/L, (d) 9 mg/L, (e) 12 mg/L

Dari data tersebut dapat dilihat hubungan antara absorban dengan konsentrasi pada Persamaan regresi nitrat yang didapatkan yaitu $y = 0,0674 x - 0,035$ dengan nilai $R^2 = 0,9988$, nitrit pada $y = 0,5159 x - 0,0091$ dengan nilai $R^2 = 0,9977$, amoniak pada $y = 0,0889 x + 0,0018$ dengan nilai $R^2 = 0,9998$ dan untuk fosfat yaitu $y = 0,0409 x + 0,0056$ dengan nilai $R^2 = 0,9994$.

Penentuan Kadar Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat pada Limbah Air Pertanian

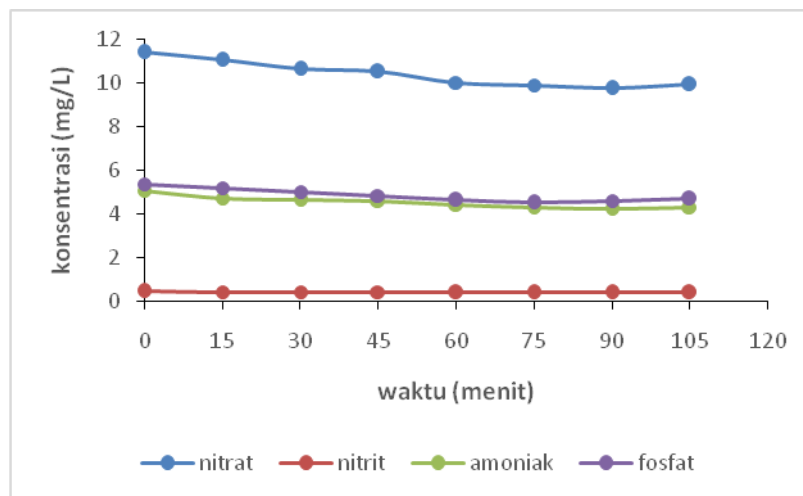
Tabel 1. Hasil Analisis Air Limbah Pertanian Sebelum Degradasi

| Parameter | Satuan | Konsentrasi | Baku Mutu PP No.22 tahun 2021 kelas 3 |
|-----------|--------|-------------|---------------------------------------|
| Nitrat | mg/L | 11,409 | 10 |
| Nitrit | mg/L | 0,424 | 0,06 |
| Amoniak | mg/L | 5,075 | 0,5 |
| Fosfat | mg/L | 5,364 | 1 |

Dari hasil analisis limbah air pertanian sebelum dilakukan degradasi yang ditunjukkan pada tabel 1 dapat disimpulkan bahwa konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat di dalam sampel berada di atas nilai baku mutu, sehingga dilakukanlah degradasi terhadap limbah air pertanian agar dapat menurunkan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat pada sampel air.

Penentuan Pengaruh Waktu Degradasi Terhadap Penurunan Konsentrasi Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat Tanpa Katalis

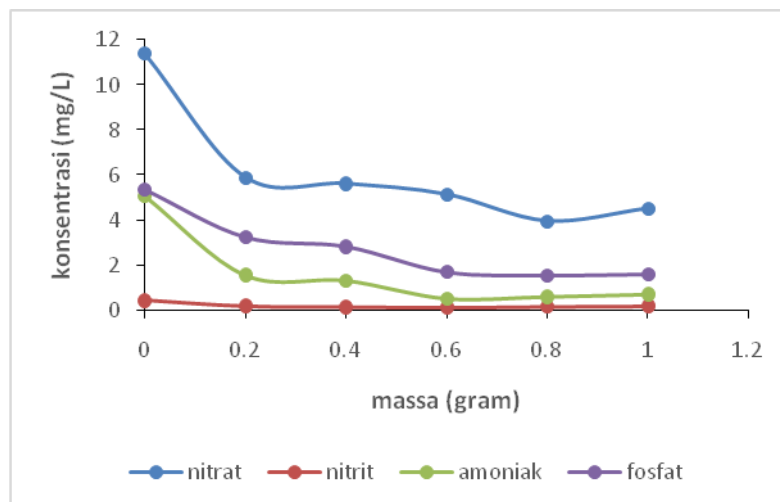
Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin lama waktu fotolisis maka konsentrasi dari nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat semakin berkurang. Semakin lama waktu yang digunakan untuk penyinaran maka jumlah radikal ($\bullet\text{OH}$) yang terbentuk juga akan semakin banyak. Pada penelitian ini waktu optimum yang didapatkan untuk nitrat adalah 90 menit dengan konsentrasi nitrat sebesar 9,762 mg/L, untuk nitrit 75 menit dengan konsentrasi nitrit sebesar 0,370 mg/L, untuk amoniak adalah 90 menit dengan konsentrasi amoniak sebesar 4,220 mg/L, dan untuk fosfat waktu optimum yang didapatkan adalah 75 menit dengan konsentrasi fosfat sebesar 4,508 mg/L. Namun, pada waktu selanjutnya tidak terjadi perubahan yang signifikan, hal ini terjadi karena $\text{OH}\bullet$ sudah habis untuk memutuskan gugus-gugus pada limbah pertanian.



Gambar 5. Kurva pengaruh waktu degradasi dengan penambahan katalis TiO_2 /zeolite terhadap penurunan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat disinari UV

Penentuan Pengaruh Penambahan Jumlah Katalis TiO_2 /zeolite Terhadap Penurunan Konsentrasi Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat

Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan penambahan katalis TiO_2 /zeolite dengan beberapa variasi massa mampu menurunkan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak, dan fosfat pada limbah air pertanian. Semakin banyak jumlah katalis yang ditambahkan maka semakin meningkat interaksi antara sinar UV dengan TiO_2 , sehingga semakin banyak pula ($\bullet OH$) yang terbentuk, dengan semakin banyaknya ($\bullet OH$) yang terbentuk, maka konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak, dan fosfat Penurunan konsentrasi nitrat paling besar diperoleh pada penambahan 0,8 gram katalis TiO_2 /zeolite dengan konsentrasi 3,961 mg/L. Pada penurunan konsentrasi nitrit yang optimum diperoleh dengan penambahan massa TiO_2 /zeolit sebesar 0,6 gram dengan konsentrasi 0,115 mg/L. Sedangkan untuk amoniak penambahan massa optimumnya yaitu 0,6 gram dengan konsentrasi 0,395 mg/L dan sedangkan untuk penurunan konsentrasi fosfat didapatkan konsentrasi sebesar 1,207 mg/L dengan penambahan katalis sebanyak 0,8. Sedangkan dengan penambahan katalis lebih dari massa optimum, mengalami penurunan yang disebabkan karena terjadinya kejenuhan larutan yang membuat larutan menjadi keruh dan nilai absorban meningkat karena jumlah katalis yang terlalu banyak.

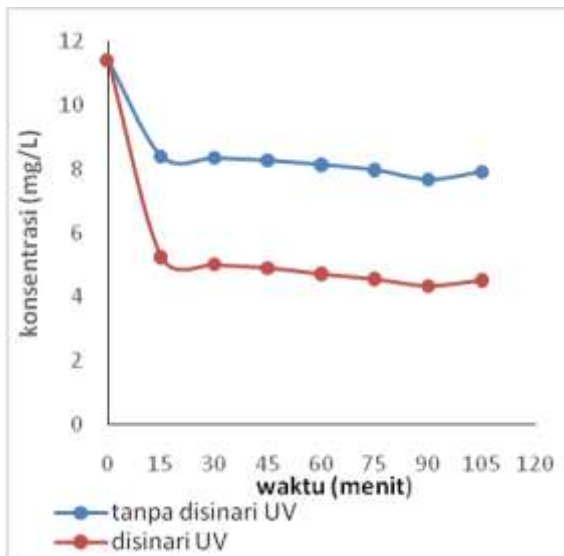


Gambar 6. Kurva pengaruh massa TiO_2 /zeolite terhadap penurunan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat disinari UV

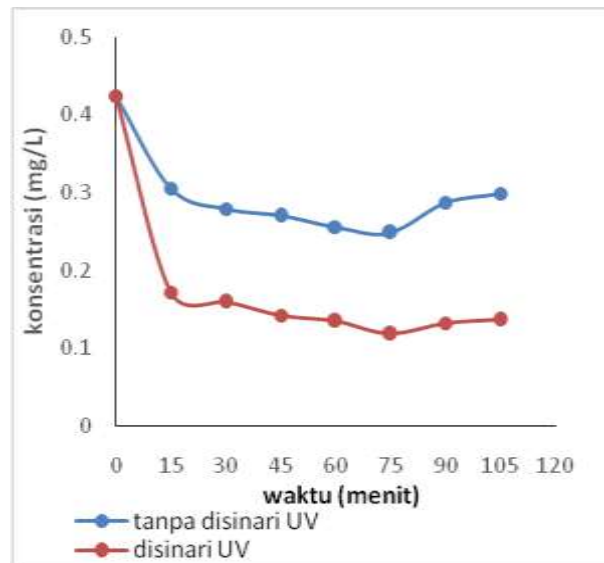
Perbandingan Penurunan Konsentrasi Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat dengan Disinari dan Tanpa Disinari UV dengan Penambahan Katalis TiO_2 /zeolite

Gambar 7a, 7.b, 7.c, 8.d menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak, fosfat kurang maksimal ketika dilakukan tanpa disinari UV. Ketika proses fotolisis dilakukan dibawah sinar UV penurunan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak, fosfat jauh lebih besar. Hal ini disebabkan karena pada penurunan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak, dan fosfat tanpa disinari UV proses yang terjadi yaitu proses adsorpsi, yang menunjukkan bahwa peran TiO_2 /zeolite sebagai adsorben tidak semaksimal peran TiO_2 /zeolite sebagai fotokatalis dalam proses degradasi fotokatalitik.

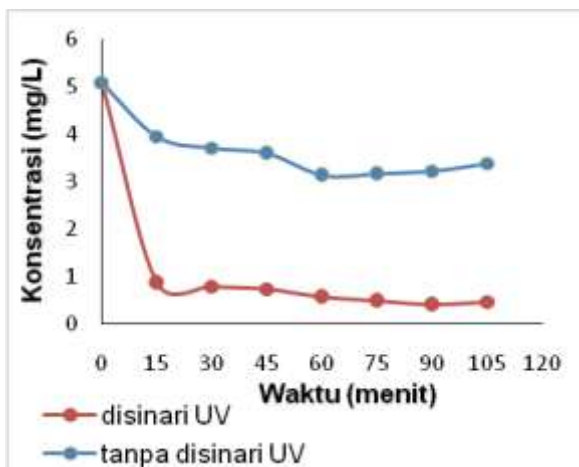
Waktu optimum nitrat untuk yang disinari UV dan tanpa disinari UV yaitu 90 menit dengan konsentrasi nitrat disinari UV 4,332 mg/L sedangkan tanpa disinari UV 7,085 mg/L, untuk nitrit yang disinari UV dan tanpa disinari UV waktu optimumnya 75 menit dengan konsentrasi nitrit disinari UV 0,118 mg/L sedangkan tanpa disinari UV 0,428 mg/L, untuk amoniak yang disinari UV waktu optimumnya 90 menit dengan konsentrasi 0,395 mg/L, sedangkan tanpa disinari UV waktu optimumnya pada 60 menit dengan konsentrasi 3,118 mg/L, sedangkan untuk fosfat waktu optimum untuk yang disinari UV dan tanpa disinari UV yaitu 60 menit dengan konsentrasi fosfat disinari UV 1,207 mg/L, sedangkan tanpa disinari UV 3,530 mg/L.



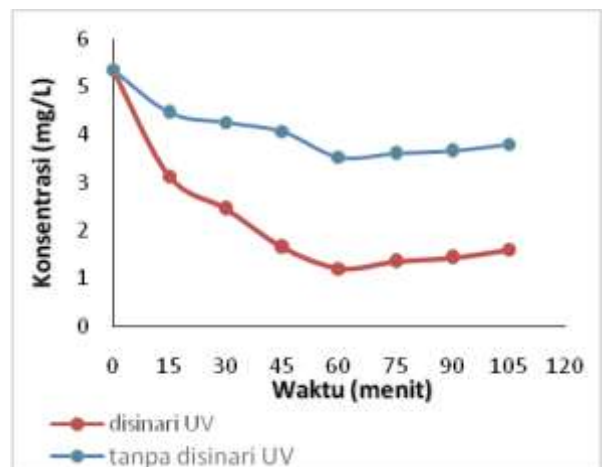
Gambar 7.a Kurva perbandingan penurunan konsentrasi nitrat (a) dengan dan (b) tanpa disinari sinar UV dengan penambahan katalis TiO_2 /zeolite



Gambar 7.b Kurva perbandingan penurunan konsentrasi nitrit (a) dengan dan (b) tanpa disinari sinar UV dengan penambahan katalis TiO_2 /zeolite



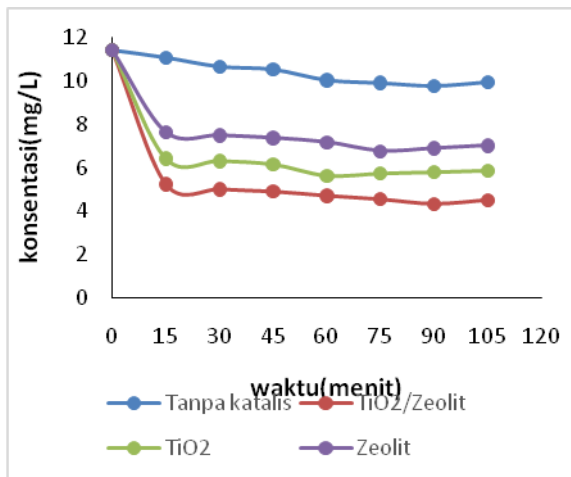
Gambar 7.c Kurva perbandingan penurunan konsentrasi amoniak (a) dengan dan (b) tanpa disinari UV dengan penambahan TiO_2 /zeolite



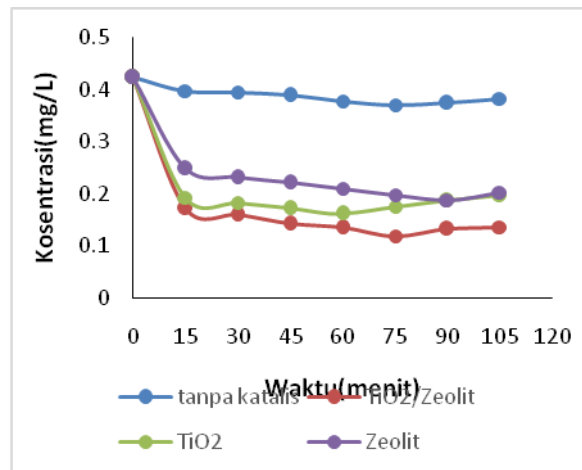
Gambar 7.d Kurva perbandingan penurunan konsentrasi fosfat (a) dengan dan (b) tanpa disinari UV dengan penambahan TiO_2 /zeolite

Penurunan Konsentrasi Nitrit, Nitrat, Amoniak dan Fosfat tanpa katalis, setelah penambahan katalis TiO_2 /zeolite, TiO_2 dan Zeolit

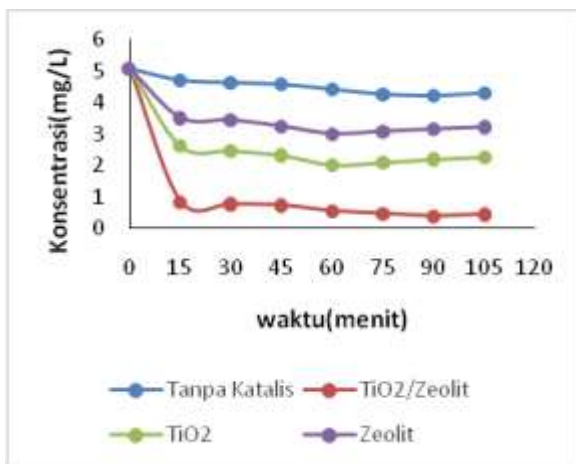
Perbandingan penurunan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat dengan beberapa variasi waktu tanpa katalis dan setelah penambahan TiO_2 /zeolite, TiO_2 dan zeolit. Dapat dilihat pada gambar 8.a, 8.b, 8.c, dan 8.d.



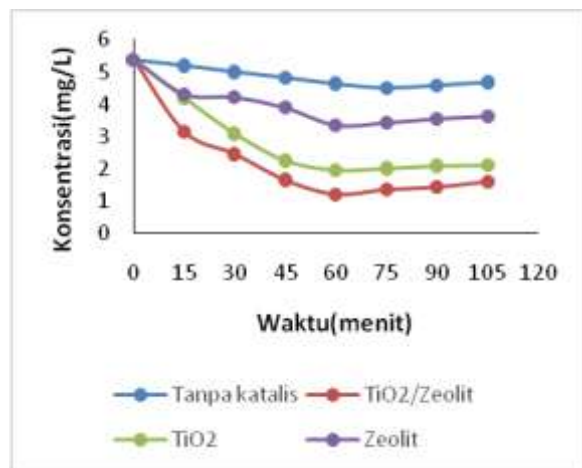
Gambar 8.a Kurva perbandingan penurunan konsentrasi nitrat tanpa katalis, TiO_2 /zeolite, TiO_2 dan zeolit



Gambar 8.b Kurva perbandingan penurunan konsentrasi nitrit tanpa katalis, TiO_2 /zeolite, TiO_2 dan zeolit



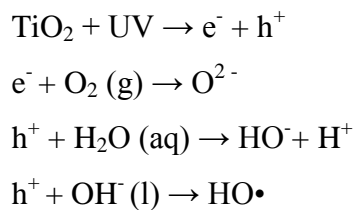
Gambar 8.c Kurva perbandingan penurunan konsentrasi amoniak tanpa katalis, TiO_2 /zeolite, TiO_2 dan zeolit



Gambar 8.d Kurva perbandingan penurunan konsentrasi fosfat tanpa katalis, TiO_2 /zeolite, TiO_2 dan zeolit

Berdasarkan dari kurva perbandingan penurunan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak, dan fosfat tanpa katalis, TiO_2 /zeolite, TiO_2 dan zeolit didapatkan penurunan konsentrasi terbesar yaitu pada penambahan katalis TiO_2 /zeolite yang disinari UV.

Peningkatan penurunan konsentrasi nitrat, nitrit amoniak dan fosfat terjadi karena TiO_2 yang disinari oleh UV akan menghasilkan elektron (e^-) dan lubang positif (h^+), sehingga terjadi reaksi kimia di permukaannya. Elektron kemudian berinteraksi dengan oksigen menghasilkan O_2^- sementara h^+ berinteraksi dengan air menghasilkan radikal hidroksil. Seperti mekanisme berikut:



Zeolit digunakan untuk meningkatkan luas permukaan dari TiO₂, sehingga akan meningkatkan efisiensinya dalam degradasi limbah air pertanian. Luas permukaan nanopartikel yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan fotoreaktivitas TiO₂/zeolite yang signifikan dibandingkan TiO₂, Zeolit, dan tanpa katalis.

Analisis BOD dan COD

Analisis BOD dan COD pada limbah air pertanian sebelum dan setelah dilakukan degradasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan TiO₂/zeolite dalam meminimalisir pencemaran pada limbah air pertanian yang sesuai dengan standar baku mutu lampiran peraturan menteri lingkungan hidup RI No.5 tahun 2014 yang dapat diamati pada tabel 2.

Tabel 2. Analisis BOD dan COD limbah air pertanian sebelum dan setelah didegradasi menggunakan TiO₂/zeolite

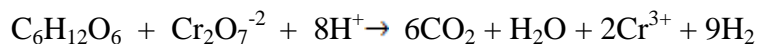
| Analisis | Baku Mutu Lampiran Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No.5 Tahun 2014 | Hasil | | Spesifikasi Metode |
|----------|--|------------|-----------|---------------------|
| | | Sebelum | Sesudah | |
| BOD | 50 mg/L | 62,4 mg/L | 5,92 mg/L | SNI.06.6989.72:2009 |
| COD | 100 mg/L | 107,7 mg/L | 35 mg/L | SNI 6989.2:2009 |

Tabel 2 menunjukkan pengaruh degradasi terhadap nilai BOD dan COD pada limbah air pertanian sebelum dan sesudah dilakukan degradasi. Sebelum di degradasi dengan TiO₂/zeolite, nilai BOD dan COD dari limbah air pertanian ini melampaui baku mutu. Setelah di degradasi nilai BOD dan COD mengalami penurunan dan sudah memenuhi baku mutu. Penurunan ini terjadi karena TiO₂/zeolite telah berhasil mendegradasi senyawa organik pada limbah pertanian sehingga meningkatkan jumlah oksigen yang terdapat didalam limbah. Dimana semakin tinggi nilai oksigen maka semakin bagus kualitas air limbah tersebut.

BOD merupakan suatu ukuran berapa banyak oksigen yang digunakan oleh suatu mikroorganisme dalam proses oksidasi aerobik atau penguraian bahan organik yang terjadi di dalam air. Semakin tinggi jumlah bahan organik yang berada di dalam air maka semakin

besar oksigen yang digunakan untuk oksidasi aerobik, sehingga jumlah oksigen terlarut yang tersedia untuk organisme di dalam air berkurang. Prinsip pengukuran BOD adalah selisih antara kandungan dan DO₅ (DO₀ - DO₅).

Chemical Oxygen Demand atau sering disebut COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik yang ada didalam air secara kimiawi. Pada penentuan nilai COD sampel limbah akan dioksidasi oleh kalium bikromat (K₂Cr₂O₇) yang juga digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). Reaksi oksidasi terhadap bahan buangan organik adalah sebagai berikut:



Warna larutan air sampel sebelum dilakukan reaksi oksidasi adalah kuning, kemudian setelah reaksi oksidasi selesai terjadi perubahan warna menjadi hijau. Dimana, jumlah oksigen yang diperlukan pada reaksi oksidasi terhadap bahan buangan organik sebanding dengan jumlah kalium bikromat yang dipakai pada reaksi oksidasi. Sehingga semakin banyak oksigen yang diperlukan maka menunjukkan bahwa air tersebut semakin tercemar karena kandungan buangan organik pada air.

Penentuan pH

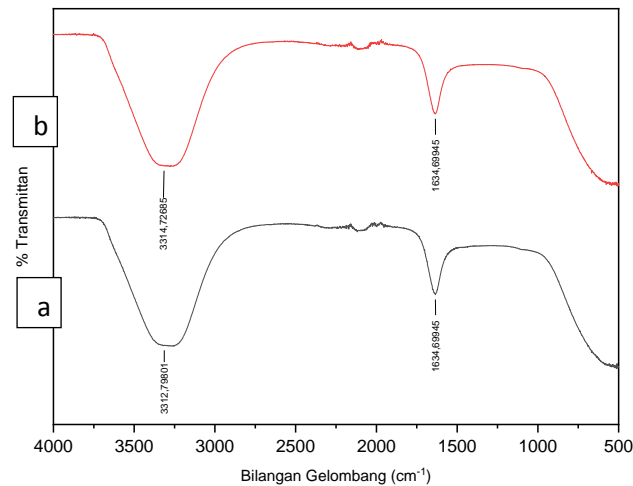
Penentuan pH bertujuan untuk menunjukkan intensitas asam atau alkali suatu larutan, yang ditentukan oleh keberadaan ion hidrogen dalam larutan. Nilai pH merupakan suatu cara yang paling umum dan sering dikur untuk melihat kualitas air. Baku mutu pH untuk air diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No.5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah adalah antara 6-9.

Nilai pH limbah air pertanian sebelum degradasi adalah 4,88 yaitu termasuk dalam kategori asam. Kondisi asam pada air dapat menyebabkan pelarutan logam-logam dalam air. Logam dalam keadaan larut akan memiliki penyebaran yang lebih luas dibandingkan bentuk mengendap. Keberadaan ion hidrogen dalam air akan mempengaruhi pembentukan, perubahan dan pemecahan reaksi kimia, dengan kondisi nilai pH akan menentukan arah pembentukan reaksi. Selain itu, aktivitas biologi seperti fotosintesis dan respirasi juga akan mempengaruhi nilai pH karena adanya penurunan dan peningkatan karbondioksida (CO₂)¹⁸. Sedangkan pada kondisi pH yang basa menyebabkan mikroorganisme tidak mampu untuk bertahan hidup, sehingga jumlah mikroorganisme tersebut didalam air akan berkurang. Berkurangnya mikroorganisme pada perairan mengakibatkan peningkatan kandungan oksigen terlarut, karena tidak adanya oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme untuk memecah bahan organik yang ada pada air⁹. Setelah dilakukan degradasi pH nya 6,11 yang menunjukan bahwa proses degradasi mampu menaikkan pH dari air limbah pertanian ini.

Analisis Sampel limbah air pertanian sebelum dan sesudah degradasi menggunakan FTIR

Karakterisasi dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi senyawa dan jenis-jenis vibrasi antar atom dan juga untuk menganalisis senyawa organik dan anorganik serta analisis dengan melihat kekuatan adsorpsi senyawa

pada panjang gelombang tertentu. Pada penelitian ini dilakukan analisis gugus fungsi pada air limbah pertanian sebelum dan sesudah degradasi dengan menggunakan FTIR. Hasil spektrum FTIR larutan sebelum dan sesudah dilakukan degradasi ditunjukkan pada gambar 9.

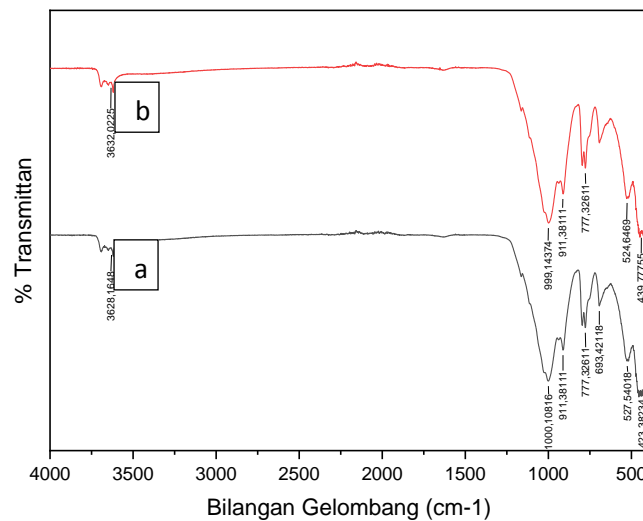


Gambar 9. Spektrum FTIR sampel limbah air pertanian sebelum (a) dan sesudah dilakukan degradasi (b)

Gambar 9 menunjukkan bahwa tidak terjadinya perbedaan yang signifikan pada pola puncak setelah dan sebelum dilakukannya degradasi. Pada puncak 1639,52 cm⁻¹ mengalami pergeseran ke 1634,70 cm⁻¹ yang menunjukan adanya gugus C=C aromatik yang berada pada rentang 1500-1600 cm⁻¹ yang berasal dari senyawa asam humat yang terkandung pada pupuk pertanian. Puncak pada kisaran panjang gelombang 1340-1410 cm⁻¹ mengidentifikasi adanya NO³⁻, sedangkan pada kisaran 1515-1560 cm⁻¹ menunjukkan adanya NO²⁻ yang disebabkan karena terjadinya proses nitrifikasi yaitu proses oksidasi dari ion amonium menjadi ion nitrit serta ion nitrit menjadi ion nitrat. katan gugus PO₄³⁻ terdeteksi pada kisaran 420-610 cm⁻¹, puncak ini menunjukkan ikatan gugus fosfat (PO₄³⁻) dengan vibrasi ulur dan tekuk dari gugus P-O²¹. Pada puncak 3298,33 cm⁻¹ mengalami pergeseran ke 3296,40 cm⁻¹ yang mengidentifikasi vibrasi -OH dari molekul H₂O dimana pita vibrasi pada rentang 3000-3500 cm⁻¹ yang menunjukkan bahwa adanya vibrasi regangan O-H yang berasal dari molekul H₂O²². Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa pergeseran puncak pada larutan sebelum dan sesudah dilakukan degradasi tidak mengalami perubahan yang signifikan.

Karakterisasi Katalis TiO₂/Zeolite Sebelum dan Sesudah Degradasi dengan FTIR

Analisis karakterisasi katalis TiO₂/zeolite sebelum dan sesudah degradasi dilakukan untuk membandingkan pergeseran puncak dari katalis pada sebelum dan sesudah dilakukan degradasi, yang ditunjukkan pada gambar 10.

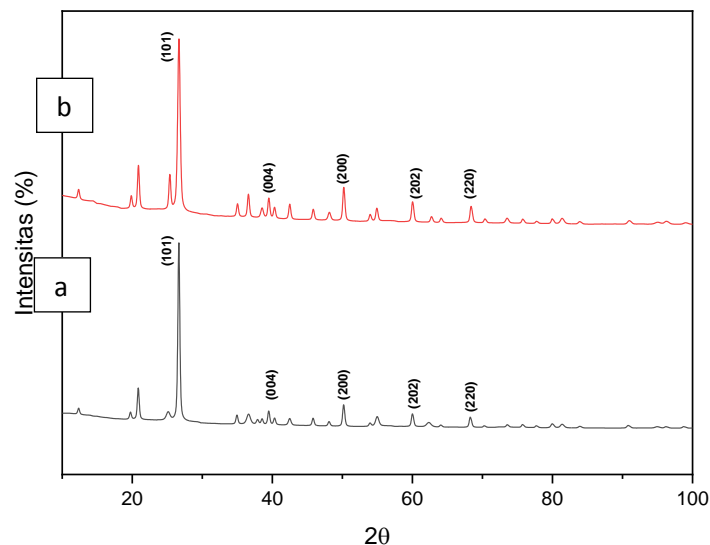


Gambar 10. Spektrum FTIR katalis TiO₂/zeolite sebelum (a) dan sesudah dilakukan degradasi (b)

Berdasarkan pada gambar 10 dapat dilihat bahwa pola spektrum dari katalis TiO₂/Zeolite sebelum dan sesudah degradasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada penelitian ini adanya TiO₂ diunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang 692,46 cm⁻¹ yang berasal dari proses kalsinasi TiO₂ bereaksi dengan OH pada permukaan zeolit yang membentuk ikatan baru yaitu ikatan Ti-O-Si dan Ti-O-Al. Serapan lainnya muncul pada bilangan gelombang 777,33 cm⁻¹ dan 1003,97 cm⁻¹ yang menandakan adanya vibrasi pada regangan O-T-O dan T-O-T, dimana T merupakan atom Si atau Al dari mineral zeolit. Selanjutnya serapan yang muncul pada bilangan gelombang 1624,09 cm⁻¹ terjadi vibrasi rangen O-H dari molekul H₂O. Selain itu, vibrasi regangan O-H juga muncul pada bilangan gelombang 3620,45 cm⁻¹ berasal dari ikatan ≡Al-O-Si≡ yang pada zeolit.

Karakterisasi Katalis TiO₂/Zeolite Sebelum dan Sesudah Degradasi dengan XRD

Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan suatu senyawa dengan mengamati pola pembiasan cahaya dari berkas cahaya yang dibiaskan oleh material yang memiliki susunan atom pada kisi-kisi kristalnya pada TiO₂/zeolite sebelum dan sesudah dilakukan degradasi²⁵. Hal ini juga untuk membandingkan puncak difraksi dari TiO₂/zeolite sebelum dan sesudah dilakukan degradasi, yang ditunjukkan pada gambar 11.

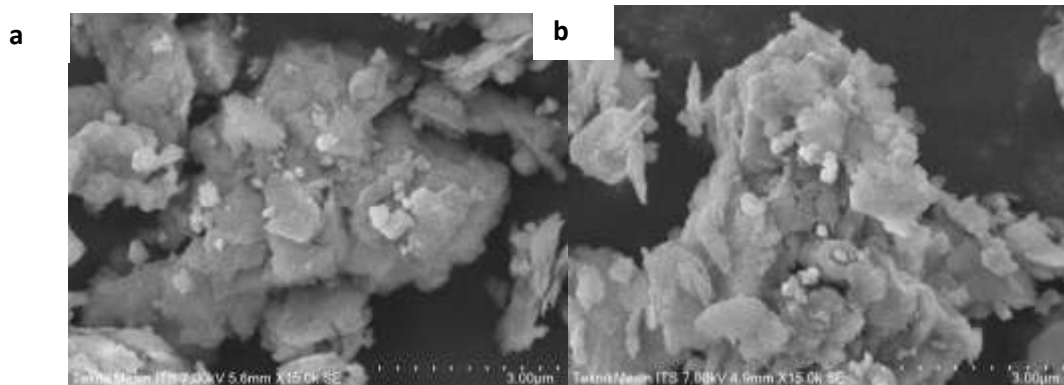


Gambar 11. Spektrum XRD katalis TiO₂/zeolite sebelum (a) dan sesudah dilakukan degradasi (b)

Spektrum XRD Katalis TiO₂/zeolite sebelum degadasi menunjukkan puncak karakteristik pada $2\theta = 26,653^\circ; 39,471^\circ; 50,111^\circ; 59,964^\circ; 68,123^\circ$ dengan indeks miller masing-masing adalah (101), (004), (200), (202), (220), setelah degradasi puncak pada sudut $2\theta = 26,642^\circ; 39,445^\circ; 50,131^\circ; 59,933^\circ; 68,149^\circ$ dengan indeks miller masing-masing adalah (101), (004), (200), (202), (220) yang menunjukkan adanya fasa kristal TiO₂ anatase yang memiliki kemiripan dengan JCPDS TiO₂ (JCPDS card no 21-1272)²⁶. Hal ini menunjukkan bahwa zeolit yang disupport pada TiO₂ selama proses kalsinasi berhasil dilakukan. Dari pola XRD katalis TiO₂/zeolite sebelum dan sesudah degradasi menunjukkan pola yang sama, hal ini membuktikan bahwa tidak terjadi perubahan struktur katalis TiO₂/zeolite secara signifikan pada saat proses degradasi.

Karakterisasi Katalis TiO₂/Zeolit Sebelum dan Sesudah Degradasi dengan SEM

Analisis SEM dari katalis TiO₂/zeolite pada sebelum dan sesudah dilakukan degradasi bertujuan untuk melihat morfologi permukaan dari katalis, yang ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Morfologi permukaan katalis TiO₂/zeolite sebelum (a) dan sesudah dilakukan degradasi (b)

Gambar 12 menunjukkan morfologi katalis TiO₂/zeolite sebelum dan sesudah degradasi pada perbesaran 15.000 kali. Berdasarkan analisa SEM tersebut TiO₂/zeolite memiliki bentuk morfologi lempengan (*plate-like*) dengan ukuran partikel pada sebelum dilakukan degradasi yaitu 152,248 nm dan setelah degradasi yaitu sebesar 150,116 nm yang menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan yang signifikan pada morfologi permukaan katalis TiO₂/zeolite pada sebelum dan sesudah dilakukan degradasi, sehingga dapat dikatakan katalis TiO₂/zeolite dapat digunakan untuk proses degradasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa katalis TiO₂/zeolite mampu meningkatkan penurunan konsentrasi nitrat, nitrit, amoniak dan fosfat dibandingkan TiO₂ dan zeolit saja. Nilai BOD dan COD mengalami penurunan, sedangkan nilai pH mengalami kenaikan setelah dilakukan degradasi yang menandakan bahwa TiO₂/zeolit dapat digunakan dalam metode degradasi limbah air pertanian. Hasil analisis sampel dan katalis TiO₂/zeolite menggunakan FTIR, XRD dan SEM menunjukan tidak terjadi perubahan struktur yang signifikan pada sebelum dan setelah dilakukan degradasi yang berarti TiO₂/zeolite dapat digunakan sebagai katalis pada degradasi limbah pertanian

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wibowo, Singgih. Analisis Efisiensi Alokatif Faktor-Faktor Produksi dan Pendapatan Usahatani Padi di Desa Sambirejo, Kecamatan Saradan, Kabupaten Madiun. Malang. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. 2012.
- [2] Zilfa.;Yusuf, Yulizar.; Safni.; Wilda Rahmi. Pemanfaatan TiO₂/Zeolit Alam Sebagai Pendegradasi Pestisida (Permetrin) Secara Ozonolisis. Prosiding Semirata FMIPA: Universitas Lampung. 2013

- [3] Era, Yuni.; Safni.; Hamzar Suyani. Degradasi senyawa paraquat dalam pestisida gramoxone secara fotolisis dengan penambahan TiO₂-anatase. *J. Ris. Kim.* 2008,2 (1), 94–101.
- [4] Zilfa, Z.;Suyani, H.; Safni, S.; Jamarun, N. Penggunaan Zeolit sebagai Pendegradasi Senyawa Permetrin dengan Metoda Fotolisis. *Jurnal Natur Indonesia.* 2012, 14 (1), 14.
- [5] Zilfa.; Rahmayeni.; Septiani, U.; Jamarun, N.; Fajri, M. L. Utilization Natural Zeolyte From West Sumatera For TiO₂ Support in Degradation of Congo Red and A Waste Simulation by Photolysis. *Der Pharmacia Lettre.* 2017, 9 (5), 1–10.
- [6] Nugroho, Krisna Adi. Pemanfaatan Zeolit ZSM-5 dalam Proses Peningkatan Mutu Kualitas Air. *Jurnal kimia Institut Teknologi Sepuluh November.* 2017, 1 (2).
- [7] Fiolida, I. A. S. Preparasi Dan Karakterisasi Komposit Cuo-Zeolit Alam Untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B Dengan Sinar Ultraviolet.Fakultas MIPA. Universitas Negeri Ygyakarta. Yogyakarta. 2016.
- [8] Deka, Pemta Tia. Perbandingan Proses Fotodegradasi Pada Zat Warna Metil Jingga Menggunakan Zeolit, Katalis Fe₂O₃-Zeolit dan Sinar UV. *Journal Of Pharmacy and Science.* 2019, 4(2).
- [9] Slamet, Ellyana, M., Bismo, S. Modifikasi Zeolit Alam Lampung dengan Fotokatalis TiO₂ melalui Metode Sol Gel dan Aplikasinya untuk Penyisihan Fenol. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. 2008.
- [10] Sani A, Arfan; Rostika N,Atiek ; Rakhmawaty,Diana. Pembuatan Fotokatalis Tio₂-Zeolit Alam Asal Tasikmalaya Untuk Fotodegradasi Methylene Blue. *Jurnal Zeolit Indonesia* 2008. Vol 8 No. 1
- [11] Qamar, M.; Saquib, M.; Muneer, M. Titanium dioxide mediated photocatalytic degradation of two selected azo dye derivatives, chrysoidine R and acid red 29 (chromotrope 2R), in aqueous suspensions. *Desalination.*,2005 186, 255-271.
- [12] Salmin. Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Jurnal Oseana* 2005, 30 (3), 21-26.
- [13] Atima, W.a. BOD dan COD sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah. *Jurnal Biology Science and Education.* 2015, 4 (1).
- [14] Faisal, Ghufuran H.; Jaeel, Ali J.; Thaar S. Al-Gasham. BOD and COD reduction using porous concrete pavements. *Paper of Case Studies in Construction Materials.* 2020, 13.
- [15] Lumaela, A.K., Otok, B.W & Sutikno. Pemodelan Chemical Oxygen Demand (COD) Sungai Di Surabaya Dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits.* 2013.2(1): 100-105.
- [16] Said ; Rizki. penghilangan amoniak di dalam air limbah domestik dengan proses moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). 2014. 7(1): 44-65.

- [17] Utubira, Yeslia; Talakua, Melvie. Fotodegradasi Fenol Menggunakan Fotokatalis TiO₂/zeolit dan Sinar UV. Department of Chemistry, FKIP, Pattimura University. Poka-Ambon. 2010. Vol 1, No 1. 72-78.
- [18] Rusydi, Anna Fadliah; Naily Wilda; Lestiana, Hilda. Pencemaran Limbah Domestik dan Pertanian Terhadap Air Tanah Bebas di Kabupaten Bandung. Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI. 2015. Vol 25, No.2. 87-97.
- [19] Zein, R. Oktaviani, R. Febiola, M. Annisyah, Nurul. F.A, Matlal. Zilfa. Pembuatan Material Komposit Penjernih Air dari Campuran Perlite dan Cangkang Pensi. *Chimica et Natuna Acta*. 2020. Vol 8 No.3 : 119-125.
- [20] Machairiyah; Nasution, Zulkifli; Slamet, Bejo. Pengaruh Pemanfaatan Lahan terhadap Kualitas Air Sungai Percut dengan Metode Indeks Pencemaran (IP). *LIMNOTEK, Perairan Darat Tropis di Indonesia*. 2020. 27 (1):13-25.
- [21] Khorudin, M.; Yelmida.; Zultiniar. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit (HAp) dari Kulit Kerang Darah (*Anadara granosa*) dengan Proses Hidrotermal. *JOM FTEKNIK*. 2015, 2 (2).
- [22] Machairiyah; Nasution, Zulkifli; Slamet, Bejo. Pengaruh Pemanfaatan Lahan terhadap Kualitas Air Sungai Percut dengan Metode Indeks Pencemaran (IP). *LIMNOTEK, Perairan Darat Tropis di Indonesia*. 2020. 27 (1):13-25.
- [23] Anam, Choirul., Sirojudin, K. Sofjan Firdausi. Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji Bensin dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR. *J. Kim*, .2007. 10(1): 79-85
- [24] Nicolet, T. Introduction to Fourier transform infrared spectrometry. Thermo Nicolet Corporation. 2012.
- [25] Vlacosh, N., Skopetilis, Y., Psaroudaki M., Konstantinidou V., Chatzilazarou A., Tegou E.. Application of Fourier Transform Infrared Spectroscopy to Edible Oils. *Analytica Chimica Acta*. 2006. Volume 573: 459-465.
- [26] Badvi, Khadije.; Vahid Javanbakht. Enhanced photocatalytic degradation of dye contaminants with TiO₂ immobilized on ZSM-5 zeolite modified with nickel nanoparticles. *Journal Of Cleaner Production*. 2020, 280.
- [27] Badvi, Khadije.; Vahid Javanbakht. Enhanced photocatalytic degradation of dye contaminants with TiO₂ immobilized on ZSM-5 zeolite modified with nickel nanoparticles. *Journal Of Cleaner Production*. 2020, 280.