

DEGRADASI FENOL MENGGUNAKAN TiO_2 /ZEOLIT SECARA FOTOLISIS DAN APLIKASINYA PADA AIR LIMBAH KARET

Zilfa^{*a}, Yulizar Yusuf^a, Salsa Nurul Fadhilah^a, Rahmiana Zein^b

^aLaboratorium Kimia Analisis Terapan, Departemen Kimia FMIPA, Universitas Andalas

^bLaboratorium Kimia Lingkungan, Departemen Kimia FMIPA, Universitas Andalas

*e-mail: zilfa@sci.unand.ac.id

Abstrak

Fenol merupakan salah satu polutan umum pada berbagai industri. Fenol berbahaya dalam air limbah karena bersifat toksik walaupun pada konsentrasi yang rendah. Keberadaan fenol dalam air limbah dapat mengganggu organisme di sekitarnya. Untuk menanggulangi limbah fenol dapat dilakukan dengan penyerapan, filtrasi, pembakaran namun belum menyelesaikan masalah, karena akan menimbulkan limbah baru dan terbentuknya karbon monoksida. Adapun cara yang efektif dan ramah lingkungan penanggulangan limbah dapat dilakukan dengan metoda degradasi. Salah satu metoda degradasi adalah fotolisis. Pada penelitian ini dilakukan fotolisis senyawa fenol pada limbah karet menggunakan katalis TiO_2 /zeolite dimana disini dipakai zeolite alam yang ditemukan di daerah Lubuk Salasiah Sumatera Barat. Penelitian tentang degradasi fenol menggunakan TiO_2 /zeolit secara fotolisis dan aplikasinya pada air limbah karet dan CPO telah dilakukan. Metoda analisis sampel air limbah karet dan CPO menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR sedangkan karakterisasi katalis dengan FTIR dan XRD. Kondisi optimum dari degradasi fenol tanpa katalis didapatkan persen degradasi sebesar 15,79% dengan waktu penyinaran selama 75 menit, sedangkan degradasi fenol menggunakan TiO_2 /zeolit sebanyak 0,8 gram didapatkan persen degradasi sebesar 75,28%. Degradasi fenol dengan katalis TiO_2 saja dengan waktu penyinaran selama 60 menit didapatkan persen degradasi sebesar 52,86%. Degradasi fenol dengan zeolit saja diperoleh persen degradasi sebesar 38,90% dengan waktu penyinaran 75 menit. Degradasi fenol dengan menggunakan TiO_2 /zeolit sebanyak 0,8 gram dengan penyinaran selama 75 menit didapatkan persen degradasi sebesar 76,43%, tetapi tanpa disinari UV didapatkan persen degradasi sebesar 35,69%. Degradasi fenol yang ada dalam air limbah karet dan CPO dilakukan dengan penambahan TiO_2 /zeolit sebanyak 0,8 gram dengan lama penyinaran 75 menit didapatkan persen degradasi sebesar 51,53% pada air limbah karet dan 59,56% pada air limbah CPO. Karakterisasi air limbah sebelum dan sesudah degradasi dengan FTIR terjadi pergeseran bilangan gelombang yang menunjukkan bahwa telah terjadi degradasi. Karakterisasi katalis sebelum dan setelah degradasi dengan menggunakan FTIR dan XRD menunjukkan tidak terjadinya perubahan struktur, oleh karena itu TiO_2 /Zeolit dapat digunakan untuk degradasi fenol.

Kata kunci: Degradasi, Fenol, TiO_2 /zeolit, Fotolisis, Air Limbah Karet

Abstract

Phenol is dangerous in wastewater because it is toxic at low concentrations. Absorption, filtration, and burning can be done to deal with phenol waste, but more is needed because it will create new waste and the formation of carbon monoxide. The degradation method can be an effective and environmentally friendly way to handle waste. One method of degradation is photolysis. In this research, photolysis of phenolic compounds in rubber waste was carried out using a TiO_2 /zeolite catalyst, where natural zeolite was found in the Lubuk Salasiah area, West Sumatra. Research on phenol degradation using TiO_2 /zeolite by photolysis and its application to rubber wastewater has been carried out. Methods for analyzing samples of rubber wastewater were using UV-Vis spectrophotometer and FTIR while the catalyst was characterized by FTIR and XRD. The optimum condition of the degradation of phenol without catalyst was 15.79% with an irradiation time of 75 minutes and increased to 76.43% by adding 0.8 grams TiO_2 /zeolite. The degradation of phenol in rubber wastewater using TiO_2 /zeolite with an irradiation time of 75 minutes obtained a percentage degradation 51.53%. The characterization of wastewater before and after degradation with FTIR showed a shift in the wave number indicating that degradation had occurred. The characterization of the catalyst before and after degradation using FTIR and XRD showed that there was no change in structure.

Keywords: Degradation, Phenol, TiO_2 /zeolite, Photolysis, Rubber Wastewater

Pendahuluan

Air limbah adalah hasil samping yang sudah tidak berguna (Deka, 2019). Zat organik dalam air limbah industri, bila langsung dibuang tanpa pengolahan maka dapat mencemari air dan berbahaya bagi makhluk hidup (Gustina et al., 2020). Industri yang menghasilkan air limbah contohnya adalah industri karet. Dalam industri karet, fenol digunakan untuk menghilangkan bau tidak sedap (Tumbel et al., 2015).

Fenol merupakan kontaminan berbahaya dalam air limbah karena bersifat toksik (Kiswando et al., 2021). Berdasarkan peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No: 6 tahun 2021, kadar fenol maksimum pada limbah adalah sebesar 0,5 mg/L (Zilfa et al., 2021). Fenol dalam air dapat menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut dan dapat mengganggu ekologi air. Oleh karena itu diperlukan suatu pengolahan untuk menurunkan kadar fenol yang ada dalam air limbah (Diantariani & Widihati, 2017).

Metode yang potensial untuk degradasi fenol adalah Advanced Oxidation Processes (AOPs), salah satunya fotolisis. Fotolisis merupakan proses degradasi suatu senyawa dengan menggunakan bantuan cahaya. Apabila suatu senyawa dikenai cahaya, senyawa tersebut akan menyerap energi foton sehingga menyebabkan terjadinya reaksi kimia (Deka, 2019; Julius et al., 2016). Energi foton akan mengenai media air pada sampel yang akan menghasilkan radikal OH. Radikal OH akan menyerang gugus aktif pada senyawa sehingga senyawa menjadi terurai, disini diharapkan akan membentuk senyawa sederhana yaitu CO₂ dan H₂O. Fotolisis dalam prosesnya akan menguraikan zat organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan foton dan dapat dipercepat reaksinya dengan penambahan katalis salah satunya TiO₂ (Zulkarnaini et al., 2013). TiO₂ banyak digunakan karena inert, energi celah pita kecil, dan stabilitasnya besar. Aktivitas fotokatalis TiO₂ dapat ditingkatkan dengan pengembangan pada material pendukung salah satunya zeolit dan nantinya akan membentuk TiO₂/zeolit (Setiyawati et al., 2020). Pengembangan TiO₂ dengan zeolit bertujuan untuk memperluas permukaan TiO₂, juga pada proses disini terjadi simultan antara degradasi dan adsorpsi. Zeolit merupakan senyawa dengan rongga beraturan

dan luas permukaannya besar. Zeolit dapat digunakan sebagai penyerap dan pendukung katalis (Lin et al., 2011).

Berdasarkan uraian diatas telah dilakukan penelitian tentang degradasi fenol menggunakan TiO_2 /zeolit secara fotolisis dan aplikasinya pada air limbah karet. Hasil degradasi dianalisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR sedangkan karakterisasi katalis sebelum dan setelah degradasi dianalisa menggunakan FTIR dan XRD.

Metode

Bahan kimia, peralatan dan instrumentasi

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit *Clinoptilolite* Lubuak Salasiah, TiO_2 (Merck), HCl (Merck), NaCl (Merck), AgNO_3 (Merck), fenol (Merck), H_2SO_4 p.a (Merck), akuades, kertas saring, kertas pH, sampel air limbah karet. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas piala, erlenmeyer, labu ukur, *petridish*, batang pengaduk, pipet takar, pipet gondok, neraca analitik (KERN AJ 220-4M), ayakan (Fritsch, Germany), *magnetic stirrer*, sentrifus (Thermo Scientific), oven, *furnace*, kotak irradiasi yang dilengkapi lampu UV (Luster BLB 10 W-TB) dengan $\lambda = 365$ nm, Spektrofotometer UV-Vis (SHIMADZU UV-1280), FTIR (PerkinElmer Frontier C90704) dan XRD (XPert PRO PANalitycal).

Prosedur penelitian

Pembuatan Reagen

- Pembuatan Larutan HCl 0,2 M, HCl 37% dipipet sebanyak 8,3 mL lalu dilarutkan dalam gelas piala 500 mL dengan akuades.
- Pembuatan Larutan NaCl 0,01 M, NaCl ditimbang sebanyak 0,2925 gram lalu dilarutkan dalam gelas piala 500 mL dengan akuades.
- Pembuatan Larutan AgNO_3 0,05 M, AgNO_3 ditimbang sebanyak 0,4250 gram lalu dilarutkan dalam gelas piala 50 mL dengan akuades.
- Pembuatan Larutan Fenol 1000 mg/L, Fenol ditimbang sebanyak 0,1000 gram lalu dilarutkan dalam labu ukur 100 mL dengan akuades sehingga diperoleh larutan induk fenol 1000 mg/L.

- Pembuatan Larutan Fenol 100 mg/L Larutan fenol 1000 mg/L dipipet sebanyak 10 mL lalu dilarutkan dalam labu ukur 100 mL dengan akuades.

Sintesis Katalis TiO₂/Zeolit

Aktivasi Zeolit Clinoptilolite

Zeolit digerus sampai halus lalu diayak dengan ayakan 36 μm . Selanjutnya 300 gram zeolit $\leq 36 \mu\text{m}$ dimasukkan kedalam gelas piala, kemudian diaktivasi dengan menambahkan HCl 0,2 M, lalu distirer selama 30 menit. Setelah 30 menit, diukur pH campuran zeolit+HCl lalu dibilas dengan akuades hingga pH netral. Kemudian setelah pH netral zeolit disaring dan dioven pada suhu 105°C selama 1 jam (Zilfa et al., 2021).

Penjenuhan Zeolit Clinoptilolite

Sebanyak 290 gram zeolit teraktivasi dijenuhkan dengan penambahan NaCl 0,01 M lalu diaduk selama 1 jam. Kemudian zeolit dipisahkan dari filtratnya dengan proses penyaringan. Filtrat dari zeolit diuji dengan AgNO₃, jika terbentuk endapan putih maka zeolit perlu dicuci dengan akuades hingga tidak terbentuk lagi endapan putih. Kemudian dikeringkan pada suhu 105°C (Zilfa et al., 2021).

Preparasi Katalis TiO₂/zeolit Clinoptilolite

Sebanyak 75 gram zeolit yang telah dijenuhkan dimasukkan ke dalam gelas piala lalu ditambahkan 150 mL akuades dan diaduk selama 5 jam, lalu ditambahkan 3 gram TiO₂ secara bertahap dengan perbandingan (1:25) gram sambil diaduk. Campuran TiO₂/zeolit disaring lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C. Kemudian digerus sampai halus lalu diayak dengan ayakan 90 μm . Setelah itu, hasil ayakan dikalsinasi pada suhu 400°C selama 10 jam (Zilfa et al., 2021).

Pengukuran Serapan Maksimum Fenol

Larutan fenol 100 mg/L diencerkan menjadi variasi konsentrasi 10 ; 20 ; 30 ; 40 ; 50 mg/L dengan cara memipet masing-masing sebanyak 2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 ; 12,5 mL ke dalam labu ukur 25 mL, lalu ditambahkan akuades sampai tanda batas. Masing-masing larutan diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada range panjang gelombang 200-400 nm. Data absorban diambil pada panjang gelombang yang memberikan serapan maksimum

Penentuan Kondisi Optimum Degradasi

Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Persen Degradasi Fenol Tanpa Katalis

Sebanyak 20 mL larutan fenol 30 mg/L dimasukkan masing-masing kedalam 8 petridish. Larutan difotolisis menggunakan sinar UV 10 watt ($\lambda=365$ nm) pada variasi waktu 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 dan 105 menit. Kemudian diukur absorbannya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 270 nm, dan dihitung persen degradasinya.

Pengaruh Penambahan Jumlah TiO_2 /zeolit terhadap Persen Degradasi Fenol

Sebanyak 20 mL larutan fenol 30 mg/L dimasukkan masing-masing kedalam 6 petridish. Kemudian larutan pada masing-masing petridish ditambahkan TiO_2 /zeolit dengan variasi massa yaitu 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 gram. Lalu larutan distirer sambil difotolisis menggunakan sinar UV 10 watt ($\lambda=365$ nm) selama 75 menit. Kemudian disentrifus selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm dan diambil filtratnya. Absorban masing-masing larutan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 270 nm, dan dihitung persen degradasinya.

Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Persen Degradasi Fenol dengan Penambahan TiO_2 /Zeolit

Sebanyak 20 mL larutan fenol 30 mg/L dimasukkan masing-masing kedalam 8 petridish. Kemudian larutan pada masing-masing petridish di ditambahkan dengan TiO_2 /zeolit sebanyak 0,8 gram. Lalu larutan distirer sambil difotolisis menggunakan sinar UV 10 watt ($\lambda=365$ nm) dengan variasi waktu 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 dan 105 menit. Kemudian disentrifus selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm dan diambil filtratnya. Absorban masing-masing larutan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 270 nm, dan dihitung persen degradasinya.

Aplikasi Kondisi Optimum pada Sampel Air Limbah Karet

Pengambilan sampel

Pengambilan sampel dilakukan secara random berdasarkan jarak mulai dari pembuangan. Hal ini bertujuan supaya sampel yang diambil mewakili dalam analisis.

Sampel diambil diperairan buangan limbah karet didaerah lubuk begalung dengan cara pengambilan 3 titik, secara acak yaitu 1 meter dari awal pembuangan, 2 meter dari awal pembuangan, dan 3 meter dari awal pembuangan.

Perlakuan sampel

Sampel limbah karet yang diambil dari 3 titik dicampurkan menjadi satu dan diaduk. Kemudian ditambahkan H_2SO_4 sampai $pH < 2$. Setelah itu sampel disaring lalu disimpan didalam lemari pendingin.

Penentuan Kadar Fenol pada Sampel

Sampel air limbah karet disiapkan dalam gelas piala, lalu dimasukkan kedalam kuvet dan diukur absorbannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 270 nm.

Proses Degradasi Sampel

Sebanyak 20 mL sampel air limbah karet dimasukkan kedalam petridish. Kemudian ditambahkan TiO_2 /zeolit sebanyak 0,8 gram lalu distirer sambil difotolisis selama 75 menit. Kemudian disentrifus selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm dan diambil filtratnya. Absorban air limbah diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 270 nm, dan dihitung persen degradasinya.

Analisis Sampel Sebelum dan Setelah Degradasi Menggunakan FTIR

Sampel air limbah karet sebelum dan setelah degradasi dianalisis dengan menggunakan FTIR untuk melihat perubahan dan pergeseran gugus fungsi dari larutan sampel.

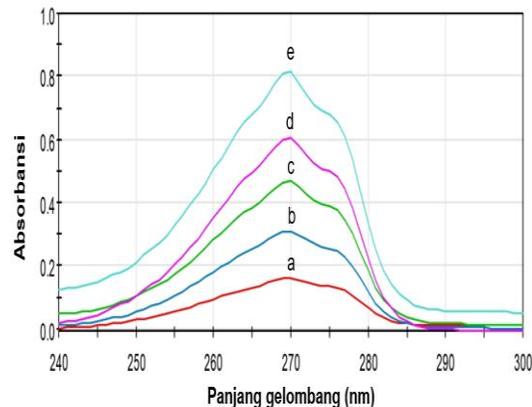
Karakterisasi Katalis Menggunakan FTIR dan XRD

Disiapkan TiO_2 /zeolit sebelum dan setelah degradasi air limbah karet dalam keadaan kering. Selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR untuk melihat perubahan gugus fungsinya. Karakterisasi dengan menggunakan XRD dilakukan untuk melihat perubahan struktur kristalnya.

Hasil dan Pembahasan

Penentuan Serapan Maksimum Fenol

Pengukuran serapan maksimum fenol dilakukan dengan beberapa variasi konsentrasi, yaitu 10 ; 20 ; 30 ; 40 ; 50 mg/L. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada range panjang gelombang 200-400 nm.

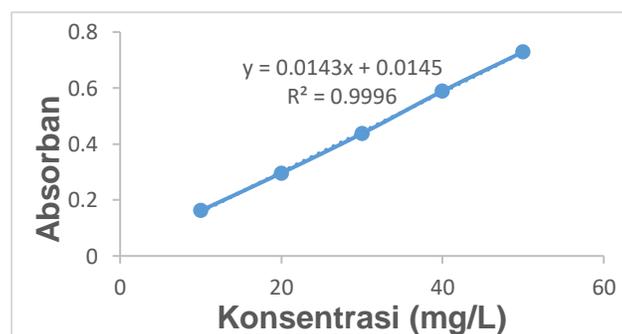


Gambar 1. Spektrum serapan fenol pada variasi konsentrasi (a) 10 mg/L, (b) 20 mg/L, (c) 30 mg/L, (d) 40 mg/L, (e) 50 mg/L

Terlihat pada Gambar 1 untuk panjang gelombang maksimum dari fenol berada pada puncak 270 nm. Panjang gelombang ini selanjutnya digunakan untuk mengukur absorbansi pada penentuan kondisi optimum dan aplikasi pada sampel air limbah karet.

Kurva Kalibrasi Larutan Standar Fenol

Pembuatan kurva kalibrasi ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi dari fenol yang ada pada air limbah karet melalui persamaan regresi yang dihasilkan. Untuk perlakuan selanjutnya digunakan larutan fenol 30 mg/L sebagai larutan awal sampel. Kurva kalibrasi larutan standar dari fenol dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 2. Kurva kalibrasi larutan standar fenol

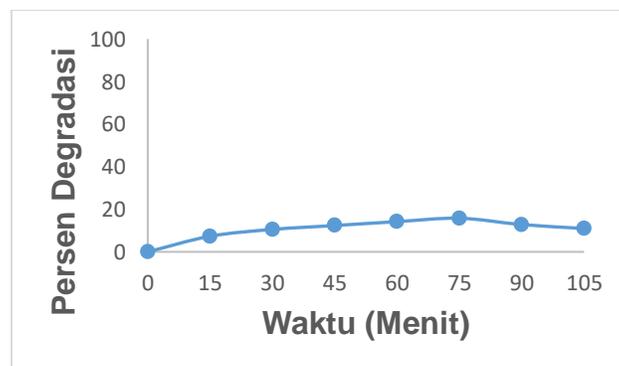
Gambar 2 menunjukkan regresi absorban larutan standar fenol dengan variasi konsentrasi 10; 20; 30; 40; 50 mg/L dengan persamaan regresi yang dihasilkan $y = 0,0143x + 0,0145$ dengan nilai $R^2 = 0,9996$. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa kurva tersebut telah linier. Hal ini sesuai dengan Hukum Lambert Beer, dimana semakin besar konsentrasi larutan maka nilai absorban juga semakin besar (Lesnussa et al., 2019).

Penentuan Kondisi Optimum Degradasi

Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Persen Degradasi Fenol Tanpa Katalis

Penentuan pengaruh waktu fotolisis terhadap persen degradasi fenol tanpa katalis dilakukan dengan mendegradasi fenol 30 mg/L sebanyak 20 mL dengan berbagai variasi waktu yaitu 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, dan 105 menit yang disinari dengan menggunakan lampu UV ($\lambda = 365$ nm). Hasil dari persen degradasi dapat dilihat pada Gambar 3.

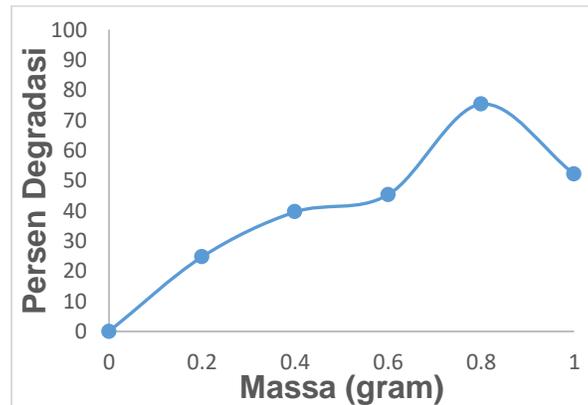
Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyinaran dengan UV maka persen degradasi dari fenol juga meningkat. Penyinaran dengan UV membentuk radikal OH dari molekul H_2O yang dapat membantu proses degradasi fenol (Deka, 2019). Semakin lama waktu penyinaran dengan UV maka radikal OH yang terbentuk akan semakin banyak dan persen degradasi yang didapatkan juga semakin besar (Fitri, 2017). Pada penelitian ini waktu optimum yang didapatkan adalah 75 menit dengan persen degradasi sebesar 15,79%



Gambar 3. Kurva pengaruh waktu fotolisis terhadap persen degradasi fenol

Pengaruh Penambahan Jumlah TiO₂/zeolit terhadap Persen Degradasi Fenol

Penentuan pengaruh penambahan jumlah TiO₂/zeolit terhadap persen degradasi fenol dilakukan dengan mendegradasi fenol 30 mg/L sebanyak 20 mL di bawah lampu UV ($\lambda=365$ nm) selama 75 menit dengan berbagai variasi massa TiO₂/zeolit yaitu 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1,0 gram. Hasil pengukuran degradasi dapat dilihat pada Gambar 4.



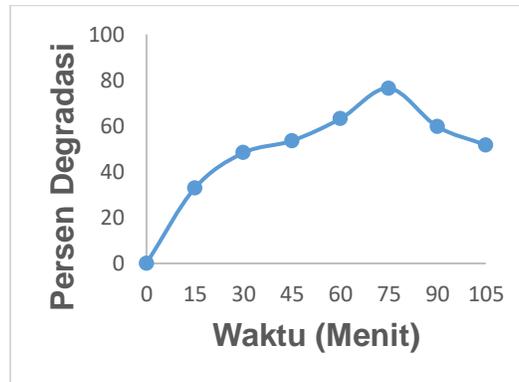
Gambar 4. Kurva pengaruh penambahan jumlah TiO₂/zeolit terhadap persen degradasi fenol

Gambar 4. menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah TiO₂/zeolit yang ditambahkan maka persen degradasi semakin besar. Peningkatan jumlah fotokatalis yang ditambahkan mengakibatkan sisi aktif yang menghasilkan radikal OH semakin banyak pula dan dapat meningkatkan persen degradasi (Julius et al., 2016; Setiyawati et al., 2020). Proses degradasi dipengaruhi oleh jumlah sisi aktif dan kemampuan penyerapan foton oleh katalis. Ketersediaan dari sisi aktif dapat meningkat dengan penambahan katalis (Lin et al., 2011). Disini terjadi proses simultan antara degradasi dan adsorpsi, dimana TiO₂ sebagai katalis dan zeolit sebagai adsorben. Pada penelitian ini massa optimum yang didapatkan adalah 0,8 gram dengan persen degradasi sebesar 75,28%. Namun setelah waktu optimum, terjadi penurunan persen degradasi dikarenakan kejenuhan larutan yang membuat larutan menjadi keruh dan menyebabkan absorban menjadi lebih besar (Yusuf & Rahmi, 2013).

Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Persen Degradasi Fenol dengan Penambahan TiO₂/Zeolit

Penentuan pengaruh waktu fotolisis terhadap persen degradasi fenol dengan penambahan TiO₂/zeolit dilakukan dengan mendegradasi fenol 30 mg/L sebanyak 20

mL yang ditambahkan TiO_2 /zeolit sebanyak 0,8 gram dengan berbagai variasi waktu yaitu 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, dan 105 menit yang disinari dengan menggunakan lampu UV ($\lambda = 365 \text{ nm}$). Hasil dari persen degradasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva pengaruh waktu fotolisis terhadap persen degradasi fenol dengan penambahan TiO_2 /zeolite

Pada Gambar 5. menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyinaran maka persen degradasi juga semakin besar. Pada penelitian ini dengan penambahan TiO_2 /zeolit sebanyak 0,8 gram, waktu optimum yang didapatkan adalah 75 menit dengan persen degradasi sebesar 76,43%. Saat permukaan fotokatalis dikenai sinar UV dengan energi foton yang lebih tinggi atau sama dengan energi pada celah pita, maka elektron pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi sehingga menimbulkan hole pada pita valensi. Hole ini bereaksi dengan molekul air menghasilkan radikal OH. Semakin lama waktu penyinaran maka radikal OH yang berperan dalam mendegradasi semakin banyak pula (Diantariani & Widihati, 2017). Zeolit yang berperan sebagai support katalis dapat meningkatkan luas permukaan TiO_2 dan dapat meningkatkan persen degradasi (Gustina et al., 2020).

Aplikasi Kondisi Optimum pada Sampel Air Limbah Karet

Penentuan Kadar Fenol pada Sampel

Kadar fenol yang terkandung dalam sampel air limbah dapat diketahui dengan melakukan analisa secara kuantitatif menggunakan spektrofotometri.

Tabel 1. Hasil analisis kadar fenol pada air limbah

Parameter	Satuan	Sampel air limbah	Baku Mutu Permen LHK RI No. 6 Tahun 2021
Fenol	mg/L	10,38	0,5

Berdasarkan hasil analisis didapatkan konsentrasi fenol dalam air limbah karet sebesar 10,38 mg/L. Kadar ini melebihi dari standar baku mutu, oleh karena itu, dilakukan degradasi untuk mengurangi konsentrasi fenol pada air limbah karet.

Hasil Degradasi Sampel

Aplikasi fotolisis TiO_2 /zeolit dalam degradasi fenol pada air limbah karet dilakukan dengan menambahkan TiO_2 /zeolit sebanyak 0,8 gram ke dalam 20 mL air limbah karet lalu dilakukan penyinaran dengan lampu UV ($\lambda = 365 \text{ nm}$) selama 75 menit. Hasil degradasi dapat dilihat pada Tabel 3.2. Terjadi penurunan konsentrasi fenol dalam air limbah karet dari 10,38 mg/L menjadi 4,51 mg/L dengan persen degradasi sebesar 51,53%. Ini menunjukkan bahwa telah terjadi proses degradasi fenol di dalam air limbah. TiO_2 yang merupakan semikonduktor apabila dikenai sinar UV yang mempunyai energi sama atau lebih tinggi akan menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan menyebabkan hole pada pita valensi.

Tabel 2. Konsentrasi fenol pada air limbah sebelum dan setelah degradasi

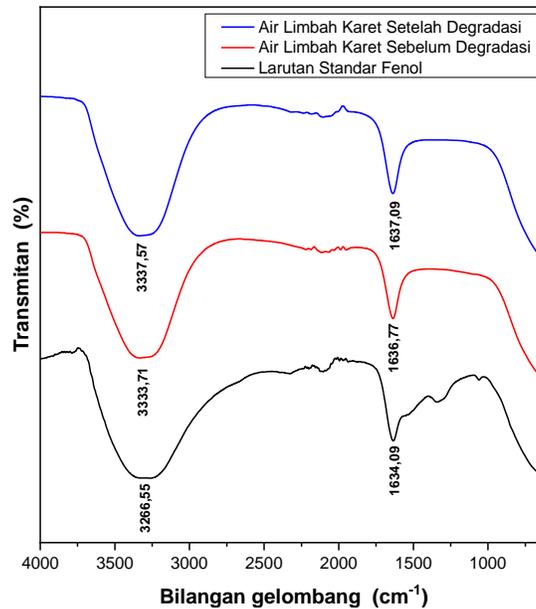
Sampel Air Limbah	Konsentrasi (mg/L)		Persen Degradasi
	Sebelum	Setelah	
Karet	10,38	4,51	51,53

Hole ini akan bereaksi dengan H_2O membentuk radikal OH. Radikal OH inilah yang mendegradasi fenol pada air limbah. Tetapi persen degradasi pada air limbah karet lebih kecil dibandingkan dengan persen degradasi larutan standar fenol, hal ini dikarenakan adanya senyawa-senyawa lain yang saling berkompetisi untuk berikatan dengan TiO_2 (Tumbel et al., 2015; Zulkarnaini et al., 2013).

Analisis Sampel Sebelum dan Setelah Degradasi Menggunakan FTIR

Pada penelitian ini dilakukan analisis gugus fungsi pada air limbah karet sebelum dan setelah degradasi dengan menggunakan FTIR. Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar 6 merupakan spektrum FTIR dari air limbah karet sampel sebelum dan setelah degradasi. Terlihat pada gambar bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan pada puncak sebelum dan setelah degradasi. Pada puncak $1636,77 \text{ cm}^{-1}$ mengalami pergeseran ke $1637,09 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus C=C

aromatik. Pada puncak $3333,71\text{ cm}^{-1}$ mengalami pergeseran ke $3337,57\text{ cm}^{-1}$ yang mengidentifikasi vibrasi -OH dari molekul H_2O , dimana pita vibrasi pada rentang $3000\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$.

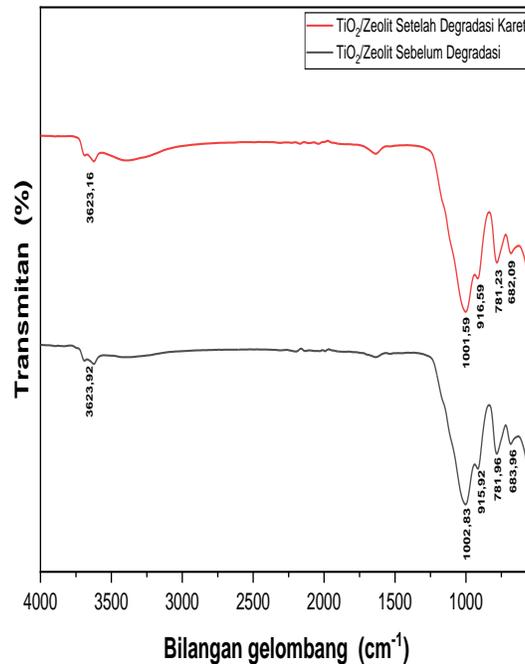


Gambar 6. Spektrum FTIR air limbah karet sebelum dan setelah degradasi

Karakterisasi $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ Sebelum dan Setelah Degradasi Air Limbah Karet dengan Menggunakan FTIR dan XRD

Analisis Gugus Fungsi Katalis Sebelum dan Setelah Degradasi dengan FTIR

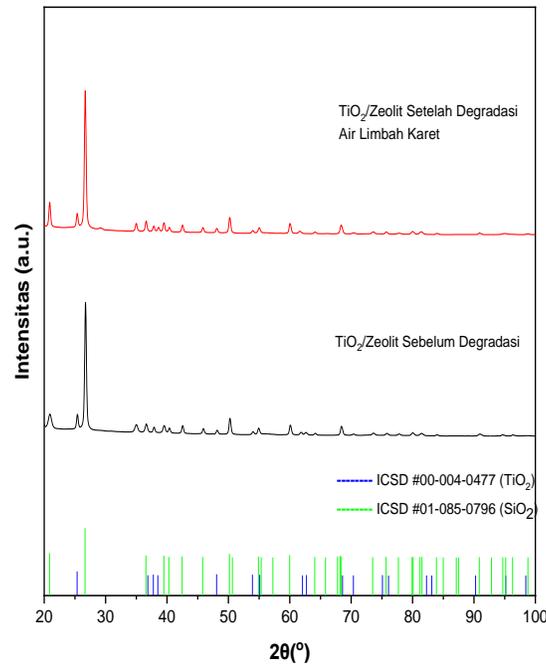
Analisis karakterisasi katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ sebelum dan setelah degradasi dilakukan untuk membandingkan pergeseran puncak dari katalis pada sebelum dan setelah degradasi, ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada spektrum FTIR katalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ sebelum dan setelah degradasi air limbah karet. Adanya TiO_2 ditunjukkan pada bilangan gelombang $683,96\text{ cm}^{-1}$. Pada puncak $1002,83\text{ cm}^{-1}$ dan $781,96\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya regangan T-O-T dan O-T-O, dimana T adalah atom Si atau Al dari zeolite. Pada puncak $915,92\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan Ti-O-Si. Selain itu, pada bilangan gelombang $3623,92\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi regangan O-H dari molekul H_2O (Kannaiyan et al., 2010; Kiswandono et al., 2021; Utubira et al., 2010).



Gambar 7. Spektrum FTIR katalis TiO₂/zeolit sebelum dan setelah degradasi air limbah karet

Analisis Karakterisasi dengan XRD

Analisis karakterisasi XRD dilakukan untuk membandingkan puncak difraksi TiO₂/zeolit sebelum dan setelah degradasi, ditunjukkan pada Gambar 3.8. Pada Gambar 3.8 terlihat bahwa muncul puncak pada 2θ yaitu $20,912^\circ$, $26,699^\circ$ dan $50,215^\circ$ merupakan puncak dari SiO₂ (ICSD 01-085-0796) yang merupakan salah satu komposisi dari zeolit. Puncak yang muncul pada $25,339^\circ$, $37,761^\circ$, dan $48,242^\circ$ merupakan puncak TiO₂ dengan fasa anatase (ICSD 00-004-0477). Pada difraktogram XRD sebelum dan setelah degradasi tidak terjadi perubahan struktur katalis TiO₂/zeolit secara signifikan.



Gambar 8. Difraktogram XRD katalis TiO₂/zeolit sebelum dan setelah degradasi air limbah karet

Elemen		Geology		Oxides	
Compound	Conc	Compound	Conc	Compound	Conc
Al	18,309 %	Al ₂ O ₃	21,379 %	Al ₂ O ₃	21,33 %
Si	64,674 %	SiO ₂	69,962 %	SiO ₂	69,743 %
P	1,307 %	P ₂ O ₅	1,23 %	P ₂ O ₅	1,225 %
Cl	0,156 %	Cl	0,063 %	K ₂ O	4,092 %
K	8,65 %	K ₂ O	4,11 %	TiO ₂	0,66 %
Ti	1,081 %	Ti	0,397 %	V ₂ O ₅	0,023 %
V	0,035 %	V	0,013 %	Cr ₂ O ₃	0,007 %
Cr	0,013 %	Cr	0,005 %	MnO	0,003 %
Mn	0,007 %	Mn	0,003 %	Fe ₂ O ₃	2,569 %
Fe	5,093 %	Fe ₂ O ₃	2,581 %	NiO	0,003 %
Ni	0,007 %	Ni	0,002 %	CuO	0,011 %
Cu	0,025 %	Cu	0,009 %	ZnO	0,01 %
Zn	0,024 %	Zn	0,008 %	Ga ₂ O ₃	0,003 %
Ga	0,006 %	Ga	0,002 %	As ₂ O ₃	0,002 %
As	0,004 %	As	0,001 %	Rb ₂ O	0,016 %
Rb	0,043 %	Rb	0,014 %	SrO	0,005 %
Sr	0,013 %	Sr	0,004 %	Y ₂ O ₃	0,003 %
Y	0,008 %	Y	0,003 %	ZrO ₂	0,017 %
Zr	0,038 %	Zr	0,013 %	Ag ₂ O	0,203 %
Ag	0,475 %	Ag	0,19 %	Eu ₂ O ₃	0,012 %
Eu	0,029 %	Pb	0,001 %	Yb ₂ O ₃	0 %
Yb	0 %	Eu	0,011 %	IrO ₂	0 %
Re	0 %	Yb	0 %	PbO	0,001 %
Ir	0 %	Re	0 %	Cl	0,063 %
Pb	0,003 %	Ir	0 %	Re	0 %

Ket. Element: dihitung sebagai unsur
 Geology : keadaan alami sampel
 Oxides : dihitung sebagai oksida

Hasil analisis zeolite menggunakan XRF didapatkan adanya oksida Al₂O₃ sebanyak 21,33% dan SiO₂ sebanyak 69,74 % . Komponen dari Al₂O₂ dan SiO₂ adalah 1:3 berarti mineral yang terbentuk adalah zeolite.

Kesimpulan

TiO₂ yang telah disupport dengan zeolit dapat meningkatkan kemampuan degradasi fenol. Hasil persen degradasi fenol tanpa katalis dengan waktu penyinaran 75 menit adalah 15,79%. Penambahan TiO₂/zeolit sebanyak 0,8 gram didapatkan persen degradasi sebesar 76,43% dengan waktu penyinaran 75 menit. Aplikasi dilakukan pada air limbah karet yaitu dengan penambahan TiO₂/zeolit sebanyak 0,8 gram dengan waktu penyinaran 75 menit memiliki persen degradasi sebesar 51,53%. Karakterisasi air limbah sebelum dan sesudah degradasi dengan FTIR terjadi pergeseran bilangan gelombang yang menunjukkan bahwa telah terjadinya degradasi. Karakterisasi katalis sebelum dan setelah degradasi dengan menggunakan FTIR dan XRD menunjukkan tidak terjadinya perubahan struktur yang signifikan.

Referensi

- Deka, P. T. (2019). Perbandingan Proses Fotodegradasi Pada Zat Warna Metil Jingga Menggunakan Zeolit, Katalis Fe₂O₃-Zeolit dan Sinar UV. *Journal of Pharmacy and Science*, 4(2), 71–76. <https://doi.org/10.53342/pharmasci.v4i2.139>
- Diantariani, N. P., & Widihati, I. A. G. (2017). Fotodegradasi Fenol Menggunakan Komposit Ag/Zno Yang Disintesis Dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Kimia*, 129. <https://doi.org/10.24843/jchem.2017.v11.i02.p05>
- Fitri, C. W. (2017). *Pengaruh pH dan Lama Penyinaran terhadap Aktivitas Degradasi Fenol menggunakan Fotokatalis Lapis Tipis TiO₂-Kitosan dengan Sinar UV*.
- Gustina, L. R., Koesnarpadi, S., & Hindryawati, N. (2020). Modifikasi Zeolit Alam Dengan TiO₂ Untuk Degradasi Rhodamin B dari Limbah Sarung Tenun Secara Fotokatalisis. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 17(2), 87–93.
- Julius, M. F., Tamboesai, E. M., & Mukhtar, A. (2016). Tio₂-Zeolit Dan Sinar Uv Untuk Fotodegradasi Kandungan Zat Organik Dan Warna Pada Air Gambut. *Repository Universitas Riau*.
- Kannaiyan, D., Kochuveedu, S. T., Jang, Y. H., & Jang, Y. J. (2010). Enhanced Photophysical Properties of Nanopatterned Titania Nanodots/Nanowires upon Hybridization with Silica via Block Copolymer Templated Sol-Gel Process. *Polymers*, 2, 490–504.
- Kiswandono, A. A., Widiarto, S., Sari, D. T. E. N., Supriyanto, R., Qudus, H. I., Rinawati, R., Rahmawati, A., & Devariani, W. (2021). Kompetisi Fenol pada Limbah Buatan Menggunakan Kopolimer Eugenol Divinil Benzena 10% sebagai Senyawa Pembawa. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.20961/alchemy.18.1.45356.1-9>

- Lesnussa, T., Hattu, N., & Dulanlebit, Y. H. (2019). Analisis Kadar Kalsium (Ca) Dan Fosfor (P) Pada Daun Kecpir (*Psophocarpus Tetragonolobus* L) Di Pulau Ambon Dan Seram Bagian Barat. *Molluca Journal of Chemistry Education (MJoCE)*, 9(1), 46–54. <https://doi.org/10.30598/mjocevol9iss1pp46-54>
- Lin, S. H., Chiou, C. H., Chang, C. K., & Juang, R. S. (2011). Photocatalytic degradation of phenol on different phases of TiO₂ particles in aqueous suspensions under UV irradiation. *Journal of Environmental Management*, 92(12), 3098–3104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.024>
- Setiyawati, D., Simpen, I. N., & Ratnayani, O. (2020). Fotodegradasi Zat Warna Limbah Cair Industri Pencelupan dengan Katalis Zeolit Alam/TiO₂ dan Sinar UV. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 8(1), 16–25.
- Tumbel, E. D., Wuntu, A. D., & Abidjulu, J. (2015). Fotodegradasi Remazol Yellow menggunakan Zeolit-A / TiO₂. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 3, 238–241.
- Utubira, Y., Wijaya, K., Triyono, T., & Sugiharto, E. (2010). Preparation And Characterization Of TiO₂-Zeolite And Its Application To Degrade Textille Wastewater By Photocatalytic Method. *Indonesian Journal of Chemistry*, 6(3), 231–237. <https://doi.org/10.22146/ijc.21724>
- Yusuf, Y., & Rahmi, W. (2013). Pemanfaatan TiO₂/Zeolit Alam Sebagai Pendegradasi Pestisida (Permetrin) Secara Ozonolisis. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 477–482.
- Zilfa, Z., Safni, S., & Rahmi, F. (2021). Penggunaan ZnO/zeolit sebagai katalis dalam degradasi tartrazin secara ozonolisis. *Jurnal Riset Kimia*, 12(1), 53–64. <https://doi.org/10.25077/jrk.v12i1.387>
- Zulkarnaini, Drajat, S., & Dasra, A. (2013). *Degradasi Senyawa Fenol Pada Limbah Cair Menggunakan Fotokatalis TiO₂ Anatase*. November, 133–142.