Degradasi senyawa fenol secara fotokatalisis dengan menggunakan katalis C-doped TiO₂

Degradation of phenol by photocatalysis using C-doped TiO₂ catalyst

S Safni*¹, Vepilia Wulanda¹, K Khoiriah¹, Diana Vanda Wellia²

¹ Laboratorium Kimia Analisis Terapan, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kota Padang, Sumatera Barat 25163

² Laboratorium Kimia Material, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kota Padang, Sumatera Barat 25163

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

INFO ARTIKEL

Sejarah artikel:

Diterima:
4 Februari 2019
Direvisi:
28 Mei 2019
Diterbitkan:
28 Juni 2019

Kata kunci:

C-doped TiO₂;
degradasi;
fenol;
fotolisis

ABSTRAK

Fenol merupakan senyawa kimia yang banyak digunakan dalam proses industri. Akan tetapi fenol dalam konsentrasi berlebihan dapat menimbulkan efek buruk terhadap kehidupan manusia dan lingkungan pada umumnya. Pada penelitian ini, fenol didegradasi secara fotolisis tanpa dan dengan menggunakan katalis C-doped TiO₂ di bawah sinar UV (10 Watt, $\lambda = 365$ nm) dan sinar tampak (lampu philips LED 13 watt 1400 lux, $\lambda = 465-640$ nm). Larutan fenol yang telah didegradasi diukur dengan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-400 nm. Hasil karakterisasi XRD dan DRS UV-Vis memperlihatkan bahwa katalis modifikasi titania menggunakan unsur karbon berpotensi aktif pada sinar tampak. Aplikasi katalis C-doped TiO₂ mampu meningkatkan efisiensi dari degradasi fenol pada sistem fotolisis. Larutan fenol 8 mg/L terdegradasi sebanyak 38,98% dan 35,59% tanpa katalis dan meningkat menjadi 51,69% dan 66,10% dengan penambahan 5 mg katalis C-doped TiO₂ masing-masing di bawah sinar UV dan sinar tampak.

ABSTRACT

Keywords:

C-doped TiO₂;
degradation;
phenol;
photolysis

Phenol is a chemical compound that is widely used in industrial processes. However, phenol in excessive concentration can endanger human life and the environment. In this study, phenol was degraded without and using C-doped TiO₂ catalyst under UV-light (10 Watts, $\lambda = 365$ nm) and visible-light (13 watt Philips, lux = 1400, $\lambda = 465-640$ nm) photolysis. The degraded of phenol solution was measured by a UV-Vis spectrophotometer at a wavelength 200-400 nm. The results of XRD and DRS UV-Vis characterization show that the modified of titania catalyst using carbon potentially actives in visible-light. Application of C-doped TiO₂ catalyst can improve the efficiency of phenol degradation in photolysis system. Phenol solution with concentration 8 mg/L was degraded by 38.98% and 35.59% without catalyst and increased to be 51.69% and 66.10% in presence of 5 mg C-doped TiO₂ catalyst under UV-light and visible-light, respectively.

© 2019 Penulis. Dipublikasikan oleh Baristand Industri Padang. Akses terbuka di bawah lisensi CC BY-NC-SA

1. Pendahuluan

Fenol adalah senyawa hidroksibenzen beracun yang bersumber dari industri proses kimia seperti produksi herbisida dan fungisida, gasifikasi batubara, pabrik kertas, pabrik kokas produksi resin polimer, pemurnian minyak, industri cat, tekstil, industri pengolahan makanan dan bioteknologi (Borji et al., 2014; Jyothi, 2016). Paparan terhadap manusia dapat terjadi melalui

penyerapan melalui kulit, menelan, adsorpsi kulit, dan inhalasi (Wiley and Sons, 2003; Meena et al., 2015). Fenol juga dapat menyebabkan luka bakar pada area kulit, kelumpuhan sistem saraf pusat dan penurunan suhu tubuh yang parah, serta menyebabkan kerusakan organ dalam yaitu ginjal, hati, limpa, paru-paru dan jantung (Wiley and Sons, 2003). Toksisitas fenol dapat mempengaruhi mikroorganisme akuatik dan dapat mematikan ikan pada konsentrasi 5-25 mg/L. Oleh

karena itu, konsentrasi fenol tidak boleh melebihi 1 µg/L pada air minum dan 1 mg/L pada perairan berdasarkan peraturan yang dikeluarkan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) (Yunus et al., 2017) dan Badan Perlindungan Lingkungan (EPA) (Kumar and Min, 2011).

Beberapa metode konvensional seperti metode fisika (adsorpsi karbon aktif, filtrasi, dan osmosis balik), metode kimia (pertukaran ion, ekstraksi pelarut dan elektrokimia) dan metode biologi (proses aerobik dan anaerob) (Abdelwahab et al., 2009) telah dilaporkan untuk mengatasi limbah yang mengandung fenol. Akan tetapi metode-metode tersebut masih memerlukan beberapa tahap pemrosesan, biaya tinggi, efisiensi rendah dan masih menghasilkan limbah sekunder. (Borji et al., 2014).

Fotokatalisis adalah salah satu metode dari teknik proses oksidasi lanjut (AOPs) yang paling banyak dikembangkan dalam degradasi polutan organik. Metode ini dilaporkan efektif dalam degradasi zat warna (Mariappan et al., 2014; Safni et al., 2015a; Safni et al., 2015b; Safni et al., 2017) dan pestisida (Arfi et al., 2018). Sistem ini menggabungkan peran katalis semikonduktor dan cahaya sebagai sumber foton. Ketika katalis disinari energi foton yang sama atau lebih besar dari *band gap* katalis, elektron dari katalis akan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Proses ini menghasilkan *hole* dan *electron*. Selanjutnya *hole* akan bereaksi dengan gugus hidroksil dari molekul air membentuk radikal hidroksil. Radikal hidroksil akan bertindak sebagai oksidator kuat untuk degradasi senyawa fenol. Produk akhir yang diharapkan dari proses ini adalah senyawa yang lebih sederhana dan lebih ramah lingkungan seperti CO₂ dan H₂O (Safni et al., 2017; Sharma et al., 2011).

Titanium (TiO₂) adalah katalis semikonduktor yang paling umum digunakan dalam proses fotokatalisis dengan beberapa keunggulan yaitu tidak beracun, murah dan memiliki stabilitas tinggi (Wellia et al., 2018; Gupta and Tripathi, 2011). Akan tetapi titania memiliki celah pita (*band gap*) yang cukup besar (3,2 eV) dan hanya bisa aktif di bawah sinar berenergi tinggi seperti sinar UV.

Modifikasi dengan cara doping adalah salah satu opsi agar titania bisa aktif pada sinar tampak dengan harapan bisa diaplikasikan pada sumber sinar yang lebih ekonomis seperti sinar matahari. Unsur potensial yang bisa digunakan untuk modifikasi titania adalah karbon. Unsur ini memiliki energi ionisasi yang kecil, ukurannya tidak jauh berbeda dari oksigen dan juga dapat mempersempit energi celah pita sehingga dapat digunakan di bawah cahaya matahari (Teh and Mohamed, 2011). Karbon berfungsi sebagai *photosensitizer* yang menyebabkan titania sensitif terhadap cahaya sinar tampak (Khalid et al., 2017).

Sejauh ini, belum ada laporan mengenai aplikasi C-doped TiO₂ yang disintesis dengan metode *peroxo* sol-gel dalam mengatasi senyawa fenol. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah memodifikasi titania dengan karbon menggunakan metode *peroxo* sol-gel yang ramah lingkungan (bebas pelarut organik). Katalis diaplikasikan dalam mendegradasi senyawa fenol secara fotokatalisis. Beberapa parameter yang dipelajari yaitu;

pengaruh jumlah penambahan massa katalis, pengaruh jenis sumber sinar, dan pengaruh waktu iradiasi.

2. Metode

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu fenol (*Merck*), bubuk karbon (*Sigma - Aldrich*), natrium hidroksida p.a, TiCl₄ (*Merck*), hidrogen peroksida (*Merck*) dan akuades. Peralatan yang digunakan adalah Spektrofotometer Ultraviolet-Visible (*Thermo Scientific Evolution 201 UV-Vis Spectrophotometer*), neraca analitik (AA-200, *Denver Instrument Company*), Lampu UV 10 watt ($\lambda = 365$ nm), lampu sinar tampak (Philips LED 13 watt 1400 Lux, $\lambda = 465-640$ nm), sentrifus (NASCO dengan kecepatan 3000 rpm), *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC-*Shimadzu*), pH meter, pemanas, kotak iradiasi, *magnetic stirrer*.

2.1. Pembuatan katalis C-doped TiO₂

Bubuk karbon sebanyak 0,2616 g dilarutkan dengan akuades sebanyak 300 mL lalu diultrasonifikasi selama 1 jam. Campuran ditambahkan dengan TiCl₄ 3,6 mL setetes demi setetes dalam *ice bath* sambil diaduk. pH diatur menjadi 10 dengan penambahan NaOH 5N setetes demi setetes. Setelah 24 jam diperoleh endapan yang kemudian disentrifus dan dicuci dengan akuades berulang hingga tidak terdeteksi Cl⁻. Endapan dilarutkan dalam akuades 80 mL lalu ditambahkan H₂O₂ 28 mL setetes demi setetes ke dalam campuran sambil diaduk. Larutan dikeringkan dalam oven. Selanjutnya sampel dikalsinasi pada suhu 500°C selama 1 jam untuk memperoleh kristal C-doped TiO₂ *anatase*.

2.2. Karakterisasi katalis

Katalis yang didapatkan dilakukan karakterisasi dengan menggunakan peralatan *X-Rays Diffraction* (XRD) dan *Diffuse-Reflectance Spectrometry Ultraviolet-Visible* (DRS UV-Vis).

2.3. Pembuatan dan pengukuran spektrum serapan fenol

Fenol 0,1 g dilarutkan dalam 100 mL akuades dan didapatkan larutan induk 1000 mg/L. Larutan induk diencerkan menjadi variasi konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 mg/L. Masing-masing larutan diukur serapannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-400 nm. Data absorbansi diambil pada panjang gelombang yang memberikan serapan maksimum.

2.4. Pengaruh waktu fotolisis sinar UV

Larutan fenol 8 mg/L dimasukkan masing-masing 20 mL ke dalam 8 buah cawan petri. Larutan disinari dengan sinar UV dan sinar tampak pada variasi waktu 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 dan 240 menit. Serapan masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

2.5. Penentuan jumlah katalis optimum

Larutan fenol 8 mg/L dimasukkan masing-masing 20 mL ke dalam 4 buah cawan petri dan ditambahkan variasi katalis 1, 3, 5, dan 7 mg. Masing-masing larutan didegradasi dengan menggunakan lampu UV dan sinar tampak selama 120 menit. Setelah selesai disinari larutan disentrifus selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm. Serapan masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum, dan dihitung persen degradasinya.

2.6. Pengaruh waktu fotokatalisis sinar UV dan sinar tampak

Larutan fenol 8 mg/L dimasukkan masing-masing 20 mL ke dalam 8 buah cawan petri dan ditambahkan 5 mg katalis C-doped TiO₂. Larutan disinari dengan sinar UV dan sinar tampak pada variasi waktu 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 dan 240 menit kemudian disentrifus selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm. Serapan masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum, dan dihitung persen degradasinya.

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Karakterisasi katalis C-doped TiO₂ dengan XRD

Analisis pola difraksi sinar-X dilakukan untuk mengetahui struktur dan ukuran kristal dari fotokatalis C-doped TiO₂. Struktur kristal C-doped TiO₂ dapat diketahui dengan membandingkan difraktogram C-doped TiO₂ yang disintesis dengan difraktogram TiO₂ standar (ICSD no. 9852). Gambar 1 menunjukkan adanya kesesuaian pola difraktogram C-doped TiO₂ dengan pola dari TiO₂ standar. Puncak-puncak tersebut berada pada 2 θ : 25,2°; 37,7°; 47,9°; 53,8°; 55,1°; 62,7°; 75,2°; 82,5°. Data ini menunjukkan bahwa C-doped TiO₂ memiliki struktur kristal *anatase*.

Gambar 1. Pola XRD dari C-doped TiO₂ dan standar TiO₂ ICSD no. 9852

Struktur kristal *anatase* adalah struktur kristal TiO₂ yang diharapkan untuk proses degradasi senyawa fenol karena *anatase* memiliki luas permukaan yang lebih

besar dari *rutile* maupun *brookite*. Selain itu, struktur kristal *anatase* memiliki kestabilan pada suhu relatif lebih rendah dari *rutile* dan *brookite*, sehingga akan lebih menguntungkan bila menggunakan TiO₂ dengan struktur kristal *anatase* (Zhang et al., 2014).

3.2 Karakterisasi katalis C-doped TiO₂ dengan DRS UV-Vis

Katalis C-doped TiO₂ dikarakterisasi dengan *Diffuse Reflectance Spectra* UV-Vis (DRS UV-Vis) untuk menentukan *band gap* dan pergeseran intensitas penyerapan setelah dimodifikasi. Gambar 2 menunjukkan intensitas penyerapan titania terdapat pada panjang gelombang di daerah sinar tampak. Hal ini menandakan keberhasilan karbon dalam modifikasi titania. Keberhasilan ini didukung dengan laporan yang menyatakan bahwa TiO₂ hanya menyerap pada sinar UV dan karbon dapat menggeser intensitas penyerapan TiO₂ ke arah sinar tampak (Wellia et al., 2018).

Gambar 2. Pola serapan katalis C-doped TiO₂ pada DRS UV-Vis

Pergeseran serapan titania ke daerah sinar tampak disebabkan oleh pengaruh modifikasi, dimana keadaan dasar dari elektron yang tersebar pada *band gap* mengalami pergeseran penyerapan spektrum sehingga nilai *band gap* mengalami penurunan dibandingkan dengan tanpa modifikasi. Hal ini dapat memenuhi kebutuhan pembuatan katalis titania yang mampu menyerap dan aktif pada sinar tampak (Gupta and Tripathi, 2011).

3.3 Pengukuran spektrum serapan senyawa fenol

Pada Gambar 3 memperlihatkan hasil pengukuran serapan senyawa fenol dan didapatkan serapan maksimum pada panjang gelombang 269 nm (Steiner, 2017). Pada pengukuran larutan fenol menggunakan spektrofotometer UV-Vis, nilai absorbansi yang didapatkan pada konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 mg/L secara berturut-turut adalah 0,016; 0,047; 0,085; 0,118; dan 0,154. Untuk perlakuan selanjutnya digunakan larutan fenol 8 mg/L sebagai konsentrasi awal sampel

untuk didegradasi secara fotolisis di bawah sinar UV ($\lambda = 365$ nm) dan sinar tampak.

Gambar 3. Spektrum serapan maksimum larutan standar fenol pada konsentrasi (a) 2 mg/L, (b) 4 mg/L, (c) 6 mg/L, (d) 8 mg/L, (e) 10 mg/L pada panjang gelombang 269 nm.

3.4 Pengaruh waktu terhadap degradasi fenol secara fotolisis

Fotolisis dilakukan terhadap larutan fenol pada konsentrasi 8 mg/L dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, dan 240 menit menggunakan sumber lampu UV ($\lambda = 365$ nm) dan sinar tampak. Pengaruh waktu fotolisis dengan lampu UV ($\lambda = 365$ nm) dan lampu sinar tampak terhadap persen degradasi dapat diamati pada Gambar 4.

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin lama proses degradasi maka persentase degradasi semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin lama penyinaran maka semakin banyak senyawa-senyawa yang mengalami penguraian oleh energi foton dari sinar UV dan sinar tampak (Alalm and Tawfik, 2014). Persen degradasi fenol dengan penyinaran selama 240 menit menggunakan sinar tampak yaitu sebesar 35,59 % dan pada penyinaran sinar UV ($\lambda = 365$ nm) sebesar 38,98%.

Gambar 4. Pengaruh waktu dan sumber sinar terhadap degradasi 8 mg/L fenol selama (30-240) menit fotolisis

3.5 Pengaruh sumber sinar terhadap persen degradasi fenol tanpa katalis

Persen degradasi fenol secara fotolisis di bawah penyinaran lampu UV ($\lambda = 365$ nm) dan lampu sinar

tampak tanpa penambahan katalis dapat dilihat pada Gambar 4. Persen degradasi fenol dengan lampu sinar tampak lebih kecil jika dibandingkan dengan lampu UV. Hal ini dikarenakan lampu sinar tampak memiliki energi yang lebih kecil dibandingkan sinar UV sehingga kemampuan untuk mendegradasi senyawa organik juga rendah (Reza et al., 2015). Sesuai dengan hukum *Planck* yang menyatakan bahwa energi foton berbanding terbalik dengan panjang gelombang, dimana sinar UV yang digunakan memiliki panjang gelombang pendek (365 nm) dari pada sinar tampak (400-800nm). Peneliti lainnya melaporkan hanya 2% dan 16 % fenol yang terdegradasi secara fotolisis UV (Mohamed et al., 2015; Mu et al., 2016). Perbedaan hasil yang didapatkan kemungkinan disebabkan oleh kondisi eksperimen yang berbeda.

3.6 Penentuan massa optimum katalis C-doped TiO₂ dalam proses degradasi

Massa katalis C-doped TiO₂ yang digunakan dalam proses degradasi ditentukan dengan memvariasikan massa katalis C-doped TiO₂ yaitu 1, 3, 5, dan 7 mg. Fenol didegradasi secara fotokatalisis dengan menambahkan 1-7 mg katalis C-doped TiO₂ selama 120 menit iradiasi. Pengaruh massa katalis C-doped TiO₂ terhadap persen degradasi fenol dapat dilihat pada Gambar 5. Pada grafik memperlihatkan bahwa persentase degradasi meningkat secara signifikan dengan bertambahnya jumlah katalis dari 1 - 5 mg. Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah katalis menyebabkan sisi aktif permukaan meningkat sehingga jumlah foton dan molekul senyawa fenol yang diadsorpsi di permukaan katalis juga semakin banyak (Alalm and Tawfik, 2014). Akan tetapi, pada penambahan 7 mg katalis, tidak terjadi kenaikan persen degradasi yang terlalu besar/tidak signifikan. Hal ini terjadi karena katalis yang diberikan dalam jumlah banyak menyebabkan larutan menjadi jenuh dan keruh, penghamburan sinar, dan penurunan penetrasi sinar sehingga menurunkan efisiensi degradasi (Alalm and Tawfik, 2014). Persentase degradasi senyawa fenol dengan penambahan katalis 5 mg secara fotolisis selama 120 menit sebesar 24,57% pada penyinaran sinar UV dan 33,05% pada penyinaran sinar tampak.

Gambar 5. Pengaruh massa katalis terhadap degradasi 8 mg/L fenol menggunakan 5 mg katalis C-doped TiO₂ selama 120 menit fotokatalisis

3.7 Pengaruh katalis terhadap persen degradasi fenol

Perbandingan persen degradasi fenol tanpa katalis dan dengan penambahan 5 mg katalis C-doped TiO₂ secara fotokatalisis dengan lampu UV ($\lambda = 365$ nm) dan lampu sinar tampak dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.

Gambar 6. Pengaruh katalis terhadap degradasi 8 mg/L fenol secara fotolisis dan fotokatalisis menggunakan 5 mg katalis C-doped TiO₂ diiradiasi sinar tampak

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa jumlah degradasi fenol meningkat dengan adanya penambahan katalis dan peningkatan waktu iradiasi. Fenol terdegradasi sebanyak 35,59% tanpa katalis di bawah sinar tampak, dan meningkat menjadi 66,10% dengan penambahan katalis. Ketika katalis C-doped TiO₂ disinari dengan sinar tampak, elektron TiO₂ akan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi yang menghasilkan radikal OH•. Spesies reaktif inilah yang mengoksidasi fenol sehingga ketika ditambahkan katalis pada sistem fotokatalisis, konsentrasi radikal menjadi meningkat dan menyebabkan peningkatan persen degradasi fenol.

Gambar 7. Pengaruh katalis terhadap degradasi 8 mg/L fenol secara fotolisis dan fotokatalisis menggunakan 5 mg katalis C-doped TiO₂ yang diiradiasi dengan sinar UV

Pada penyinaran 30 menit, fenol terdegradasi 12,7% meningkat menjadi 66,10% pada 240 menit fotokatalisis. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu penyinaran maka semakin banyak sinar tampak yang mengenai katalis C-doped TiO₂, sehingga semakin

banyak OH• yang dihasilkan untuk mendegradasi fenol (Alalm and Tawfik, 2014).

Pola yang sama juga didapatkan pada degradasi fenol di bawah sinar UV bahwa efisiensi degradasi meningkat dengan adanya katalis dan lama waktu iradiasi. Persen degradasi fenol pada penyinaran 30-240 menit adalah 10,17% - 51,69% seperti yang tergambar pada Gambar 7. Hasil membuktikan bahwa lama penyinaran mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitik C-doped TiO₂ dan katalis berperan penting dalam proses degradasi karena persen degradasi yang didapatkan lebih besar dibandingkan pada sistem tanpa penambahan katalis C-doped TiO₂ (Alalm and Tawfik, 2014). Persen degradasi yang dihasilkan dari proses tanpa katalis 38,98% dan dengan penambahan katalis sebesar 51,69 % selama 240 menit fotokatalisis di bawah sinar UV.

3.8 Pengaruh sinar terhadap persentase degradasi fenol dengan penambahan katalis C-doped TiO₂

Fotokatalisis dilakukan terhadap larutan fenol pada konsentrasi 8 mg/L dengan massa katalis 5 mg dan dilakukan pada variasi waktu 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, dan 240 menit menggunakan sumber lampu UV ($\lambda = 365$ nm) dan sinar tampak, serta tanpa sinar.

Gambar 8. Perbandingan persentase degradasi 8 mg/L fenol secara fotokatalisis menggunakan 5 mg katalis C-doped TiO₂ di bawah sinar UV, sinar tampak dan tanpa sinar

Perbandingan persen degradasi fenol secara fotokatalisis dengan lampu UV ($\lambda = 365$ nm) dan lampu sinar tampak dapat dilihat pada Gambar 8. Fotokatalis C-doped TiO₂ dapat mendegradasi dengan baik di bawah sinar tampak. Hal ini disebabkan oleh keberadaan karbon yang berhasil menurunkan *band gap* TiO₂ sehingga TiO₂ dapat diaktivasi di bawah sinar tampak dan proses degradasi fenol menjadi lebih maksimal. Selain itu, peran lain dari karbon adalah berperan sebagai *photosensitizer* yang dapat menangkap cahaya pada daerah panjang gelombang sinar tampak (Wu et al., 2011). Sebagai kontrol, kemampuan adsorpsi dari katalis juga dilakukan. Hasil adsorpsi fenol terhadap katalis adalah sebesar 0 – 2,54% selama 30 - 240 menit. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa degradasi fenol dominan dari proses oksidasi oleh radikal OH• yang dihasilkan

dari reaksi katalis dan sinar tampak pada sistem fotokatalisis di bawah sinar tampak.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa katalis modifikasi titania dengan karbon (C-doped TiO₂) menggunakan metode *peroxo* sol-gel dapat diaplikasikan untuk degradasi senyawa fenol. Katalis ini dapat aktif pada sinar UV dan sinar tampak, serta mampu meningkatkan efisiensi degradasi fenol pada sistem fotokatalisis. Larutan fenol 8 mg/L terdegradasi sebanyak 38,98% dan 35,59% tanpa katalis dan meningkat menjadi 51,69% dan 66,10% dengan penambahan 5 mg katalis C-doped TiO₂ masing-masing di bawah sinar UV dan sinar tampak selama 240 menit penyinaran. Degradasi fenol sangat dipengaruhi oleh massa katalis, sumber sinar dan waktu iradiasi. Peningkatan efisiensi degradasi dengan adanya katalis mampu memberikan sumber produksi radikal OH• yang lebih banyak. Keberadaan unsur karbon menyebabkan penurunan *band gap* TiO₂ sehingga katalis mampu menyerap sinar tampak dan proses degradasi fenol menjadi lebih maksimal di bawah sinar tampak.

Daftar pustaka

- Abdelwahab, O., Amin, N.K., El-Ashtouky, E.S.Z., 2009. Electrochemical removal of phenol from oil refinery wastewater. *J. Hazard. Mater.* 163, 711–716. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.016>
- Alalm, M., Tawfik, A. 2014. Solar photocatalytic degradation of phenol in aqueous solutions using titanium dioxide. *Waset.Org* 1–4.
- Arfi, F., Safni, S., Abdullah, Z., 2018. Degradation of paraquat in gramoxone pesticide with addition of ZnO. *Molekul* 12, 159. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2017.12.2.326>
- Borji, S.H., Nasser, S., Mahvi, A.H., Nabizadeh, R., Javadi, A.H., 2014. Investigation of photocatalytic degradation of phenol by Fe(III)-doped TiO₂ and TiO₂ nanoparticles. *J. Environ. Heal. Sci. Eng.* 12, 1–10. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-101>
- Gupta, S.M., Tripathi, M., 2011. A review of TiO₂ nanoparticles. *Chinese Sci. Bull.* 56, 1639–1657. <https://doi.org/10.1007/s11434-011-4476-1>
- Jyothi, K.P., 2016. Advanced oxidation processes in wastewater treatment: Investigations on the phenomenon of oscillation in the concentration of concurrently formed H₂O₂ in sono, photo and sonophoto catalytic systems. Thesis submitted to Cochin University of Science and. Cochin University of Science and Technology.
- Khalid, N.R., Majid, A., Tahir, M.B., Niaz, N.A., Khalid, S., 2017. Carbonaceous- TiO₂ nanomaterials for photocatalytic degradation of pollutants: A review. *Ceram. Int.* 43, 14552–14571. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.08.143>
- Kumar, N.S., Min, K., 2011. Removal of phenolic compounds from aqueous solutions by biosorption onto acacia leucocephala bark powder: Equilibrium and kinetic studies. *J. Chil. Chem. Soc.* 56, 539–545.
- Mariappan, G., Vijayan, P., Suresh, C., Shanthi, K., 2014. Titania nanoparticles modified with nitrogen: enhanced visible-light photocatalytic activity. *J. Environ. Nanotechnol* 3, 2319–5541. <https://doi.org/10.13074/jent.2014.12.144111>
- Meena, M.C., Band, R., Sharma, G., 2015. Phenol and its toxicity: A case report. *Iran. J. Toxicol.* 8, 1222–1224.
- Mohamed, M.A., Salleh, W.N.W., Jaafar, J., Ismail, A.F., Nor, N.A.M., 2015. Photodegradation of phenol by N-Doped TiO₂ anatase/rutile nanorods assembled microsphere under UV and visible light irradiation. *Mater. Chem. Phys.* 162, 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2015.05.033>
- Mu, M.J., Fontelles-carceller, O., Ferrer, M., Fernández-garcía, M., Kubacka, A., 2016. Environmental disinfection capability of Ag/g-C₃N₄ composite photocatalysts under UV and visible light illumination. *Appl. Catal. B Environ.* 183, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.10.024>
- Reza, K.M., Kurny, A., Gulshan, F., 2015. Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO₂: a review. *Appl. Water Sci.* 7, 1569–1578. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0367-y>
- Safni, M., Putri, R.A., Wellia, D.V., Septiani, U., 2017. Photodegradation of Orange F3R Dyes: Effect of light sources and the addition of C, N- codoped TiO₂. 9, 1–5.
- Safni, S., Anggraini, D., Wellia, D., Khoiriah, K., 2015. Degradation of direct red-23 and direct violet dyes by ozonolysis and photolysis methods with uv light and solar irradiation using N-doped TiO₂ Catalyst. *J. Litbang Ind.* 5, 123–130.
- Safni, Wellia, D.V., Komala, P.S., Putri, R.A., 2015. Degradation of yellow-GCN by photolysis with UV-light and solar irradiation using C-N-codoped TiO₂ catalyst. *J. Chem. Pharm. Res.* 7, 306–311.
- Sharma, S., Ruparelia, J., Patel, M., 2011. A general review on advanced oxidation processes for waste water treatment. *Int. Conf. Curr. trends Technol.* 8–10.
- Steiner, M.G., 2017. Photocatalytic decomposition of phenol under visible and uv light utilizing titanium dioxide based catalysts photocatalytic decomposition of phenol under visible and UV light.
- Teh, C.M., Mohamed, A.R., 2011. Roles of titanium dioxide and ion-doped titanium dioxide on photocatalytic degradation of organic pollutants (phenolic compounds and dyes) in aqueous solutions: A review. *J. Alloys Compd.* 509, 1648–1660. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.10.181>
- Wellia, D.V., Fitria, D., Safni, S., 2018. C-N-Codoped TiO₂ synthesis by using peroxo sol gel method for photocatalytic reduction of Cr(VI). *J. Pure Appl. Chem. Res.* 7, 26–32. <https://doi.org/10.21776/ub.jpacr.2018.007.01.373>
- Wiley, J., Sons, 2003. The chemistry of phenols, Chapter 7. An Interscience® Publication.
- Wu, Y., Xing, M., Zhang, J., 2011. Gel-hydrothermal synthesis of carbon and boron co-doped TiO₂ and evaluating its photocatalytic activity. *J. Hazard. Mater.* 192, 368–373. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.05.037>

- Yunus, N.N., Hamzah, F., So'Aib, M.S., Krishnan, J., 2017. Effect of catalyst loading on photocatalytic degradation of phenol by using N, S Co-doped TiO₂. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 206. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/206/1/012092>
- Zhang, J., Zhou, P., Liu, J., Yu, J., 2014. New understanding of the difference of photocatalytic activity among anatase, rutile and brookite TiO₂. Phys. Chem. Chem. Phys. 16, 20382–20386. <https://doi.org/10.1039/c4cp02201g>