
Degradasi Zat Warna *Direct Red-23* Secara Fotolisis dengan Katalis C-N-codoped TiO₂

Degradation of Direct Red-23 Dye by Photolysis with The Addition of C-N-codoped TiO₂ Catalyst

Yuli Okta Fitriyani¹, Upita Septiani², Diana Vanda Wellia², Reza Audina Putri¹, Safni^{1,2}

¹Laboratorium Kimia Analisis Terapan, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

²Laboratorium Kimia Material, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

E-mail: safni@yahoo.com

Received: August 2017; Revised: October 2017; Accepted: November 2017; Available Online: November 2017

Abstrak

Zat warna *direct red-23* merupakan pewarna sintetik dengan struktur senyawa organik yang bersifat *non-biodegradable*. Zat warna *direct red-23* mengandung senyawa azo dan bersifat karsinogenik. Zat warna *direct red-23* didegradasi secara fotolisis menggunakan sinar UV (*ultraviolet*), sinar matahari, tanpa dan dengan penambahan katalis C-N-codoped TiO₂. Larutan zat warna *direct red-23* setelah dan sebelum didegradasi diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-800 nm. Penentuan berat optimum katalis C-N-codoped TiO₂ dilakukan dengan metode fotolisis sinar UV dan didapatkan berat optimum 15 mg. Persen degradasi zat warna *direct red-23* secara fotolisis sinar UV dan sinar matahari tanpa katalis C-N-codoped TiO₂ 27.47% dan 13.74%. Persen degradasi meningkat menjadi 68.68% dan 28.57% dengan penambahan 15 mg katalis C-N-codoped selama 120 menit fotolisis. Dari penelitian dapat disimpulkan metode fotolisis dengan sinar UV lebih efisien dibandingkan dengan sinar matahari.

Kata kunci: *Direct red-23*, sinar UV, sinar matahari, C-N-codoped TiO₂.

Abstract

Direct red-23 dye is a synthetic dye that is widely used in textile industry. Wastes generated from textile industrial processes are generally non-biodegradable organic compounds containing azo compounds and carcinogenic. Direct red-23 dye was degraded by photolysis UV Light method, solar irradiation, without and addition of C-N-codoped TiO₂ catalyst. The results degradation of direct red-23 were measured with a UV-Vis spectrophotometer at wavelength of 400-800 nm. Determination of optimum weight of the C-N-codoped TiO₂ catalyst was performed by photolysis UV Light method and the optimum C-N-codoped TiO₂ catalyst is obtained 15 mg. Percent degradation of direct red-23 dye by photolysis of UV light and solar irradiation without C-N-codoped TiO₂ to 27.47% and 13.74%. Percent degradation increased to 68.68% and 28.57% by adding C-N-codoped TiO₂ catalyst was adding 120 minutes of photolysis. From the research it can be concluded by photolysis with UV Light method is more efficient compared to solar radiation.

Keywords: Direct Red-23, UV-light, Solar Irradiation, C-N-codoped TiO₂.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15408/jkv.v3i2.5792>

1. PENDAHULUAN

Zat warna *direct red-23* merupakan kelompok senyawa sintetik, organik dan berwarna dengan ikatan azo (-N=N-) (Bhernama *et al.*, 2014). Zat warna azo disintesis untuk tidak mudah rusak oleh perlakuan kimia maupun perlakuan fotolitik. Untuk itu, bila dibuang ke perairan akan mengganggu estetika dan meracuni biota dalam air tersebut. Hal ini dikarenakan berkurangnya oksigen yang dihasilkan selama proses fotosintesis akibat terhalangnya sinar matahari untuk masuk ke dalam air yang disebabkan oleh keberadaan limbah zat warna. Selain itu perombakan zat warna azo secara aerobik pada dasar perairan menghasilkan senyawa amina aromatik yang kemungkinan lebih toksik dibandingkan dengan zat warna azo itu sendiri (Sukarta *et al.*, 2013).

Salah satu metode yang sedang dikembangkan untuk penanganan limbah zat warna tekstil adalah metode fotolisis dengan menggunakan bahan fotokatalis dan radiasi sinar ultraviolet (Diantariani *et al.*, 2014). Metode fotolisis merupakan salah satu pengolahan limbah zat warna tekstil dimana dalam metode ini akan menguraikan zat warna organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan sinar (foton) dan dipercepat reaksinya dengan penambahan katalis (Wismayanti *et al.*, 2015). Fotokatalis adalah suatu proses degradasi zat warna yang dibantu oleh adanya cahaya dan material katalis. TiO₂ merupakan bahan semikonduktor paling sering digunakan sebagai fotokatalis dalam aplikasi reaksi fotokatalitik khususnya pengolahan limbah. Beberapa keunggulan TiO₂ dibandingkan fotokatalis semikonduktor yang lain yaitu tidak toksik (racun), memiliki stabilitas kimia yang tinggi dan murah (Aryanto *et al.*, 2015). Katalis TiO₂ memiliki *band gap* yang besar (3.2 eV untuk *anatase* dan 4.0 untuk rutil) yang hanya efektif pada daerah radiasi UV ($\lambda < 380$). Hal ini mengakibatkan katalis TiO₂ tidak mampu menyerap pada daerah sinar tampak (Wismayanti *et al.*, 2015) maka dilakukan modifikasi struktur kimia dari fotokatalis TiO₂. Salah satu cara modifikasi TiO₂ adalah pendopingan dengan unsur logam dan non logam agar dapat digunakan pada energi yang lebih rendah sehingga terjadi pergeseran serapan spektrum sinar ke daerah sinar tampak. Karbon dan nitrogen merupakan

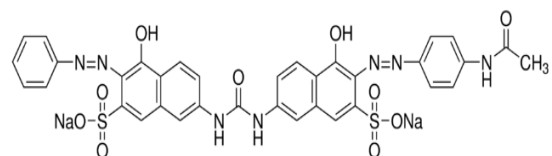
dopan yang paling efektif untuk digunakan pada katalis TiO₂ karena unsur tersebut memiliki energi ionisasi yang kecil, ukurannya tidak jauh berbeda dengan unsur oksigen dan juga dapat mempersempit energi celah (Safni *et al.*, 2015) sehingga cukup potensial digunakan untuk pembuatan katalis C-N-*codoped* TiO₂ yang diharapkan aktif pada daerah sinar tampak dan efisien menggunakan sinar matahari sebagai sumber cahaya (Riyani *et al.*, 2012).

Beberapa penelitian telah melaporkan menggunakan katalis C-N-*codoped* TiO₂ untuk mendegradasi zat warna yaitu degradasi secara fotolisis untuk beberapa zat warna, seperti *yellow-GCN* (Safni *et al.*, 2015; Safni *et al.*, 2016a), *direct red-81* dan *direct yellow-27* (Safni *et al.*, 2016b) dan *orange F3R* (Safni *et al.*, 2017) menunjukkan hasil yang bagus. Akan tetapi, belum ada yang menggunakan katalis C-N-*codoped* TiO₂ untuk degradasi zat warna *direct red-23* maka pada penelitian ini dilakukan degradasi zat warna *direct red-23* secara fotolisis menggunakan katalis C-N-*codoped* TiO₂ dibawah iradiasi sinar UV dan sinar matahari.

2. METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah Spektrofotometer Ultraviolet-Visible (Thermo Scientific Evolution 201 UV-Vis Spectrophotometer), HPLC (Agilent Technologies Standar Cell), neraca analitik (AA-200, Denver Instrument Company), *Irradiation box* yang dilengkapi dengan Lampu UV 10 watt (panjang gelombang = 254 nm), Sentrifus dengan kecepatan 4.000 rpm, *perti dish*, pipet takar, pipet gondok dan alat-alat gelas kimia lainnya. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah zat warna *direct red-23*, katalis C-N-*codoped* TiO₂ hasil sintesis dan akuades.



Gambar 1. Struktur kimia zat warna *direct red-23*

Pembuatan Larutan dan Pengukuran Serapan Spektrum Zat Warna Direct Red-23

Sebanyak 0.01 gram zat warna *direct red-23* dilarutkan dengan 100 mL akuades, sehingga dihasilkan larutan dengan konsentrasi 100 mg/L. Kemudian diencerkan menjadi beberapa variasi konsentrasi, yaitu 2, 4, 6, 8, dan 10 mg/L. Masing-masing larutan diukur serapannya dengan spektrofotometer UV-Vis. Data absorbansi diambil pada panjang gelombang yang memberikan serapan maksimum.

Pengaruh Waktu Penyinaran terhadap Degradasi Zat Warna Direct Red-238 Tanpa Katalis C-N-codoped TiO₂ Secara Fotolisis

Larutan zat warna *direct red-23* dengan konsentrasi 8 mg/L dimasukkan kedalam *petridish* sebanyak 25 mL. Larutan diiradiasi dengan sinar UV dan sinar matahari selama 30, 60, 90 dan 120 menit. Serapan masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 501 nm.

Pengaruh Massa Katalis C-N-codoped TiO₂ Terhadap Degradasi Zat Warna Direct Red-23 (8 mg/L) Secara Fotolisis

Larutan zat warna *direct red-23* dengan konsentrasi 8 mg/L dimasukkan ke dalam *petri dish* sebanyak 25 mL dan ditambahkan katalis dengan variasi berat katalis: 5, 10, 15 dan 20 mg. Masing-masing larutan diiradiasi dengan sinar UV selama 60 menit dan disentrifus selama 15 menit. Serapan masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 501 nm.

Pengaruh Waktu Penyinaran terhadap Degradasi Zat Warna Direct Red-23 (8 mg/L) dengan Penambahan Katalis C-N-codoped TiO₂ Secara Fotolisis

Larutan zat warna *direct red-23* dengan konsentrasi 8 mg/L dimasukkan kedalam *petridish* sebanyak 25 mL dan ditambahkan 15 mg katalis C-N-codoped TiO₂. Larutan diiradiasi dengan sinar UV dan sinar matahari selama 30, 60, 90 dan 120 menit dan disentrifus selama 15 menit. Serapan masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 501 nm.

Pengaruh Konsentrasi Awal Degradasi Zat Warna Direct Red-23 Secara Fotolisis

Zat warna *direct red-23* dengan konsentrasi 4, 6, 8 dan 10 mg/L dimasukkan kedalam *petri dish* sebanyak 25 mL dan masing-masing larutan ditambahkan katalis C-N-codoped TiO₂ sebanyak 15 mg kemudian diiradiasi dengan sinar UV dan sinar matahari selama 120 menit dan disentrifus selama 15 menit. Serapan masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 501 nm.

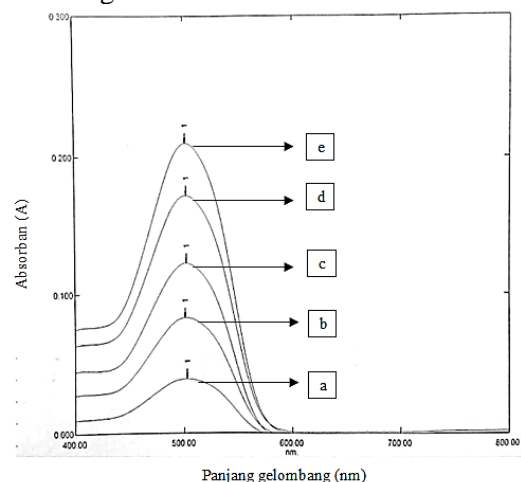
Analisis Hasil Degradasi Zat Warna Direct Red-23 (8 mg/L) Secara Fotolisis Menggunakan HPLC

Larutan yang dianalisis dengan HPLC yaitu larutan zat warna *direct red-23* dengan konsentrasi 8 mg/L tanpa fotolisis dan larutan yang telah didegradasi secara fotolisis sinar UV dengan menggunakan 15 mg katalis C-N-codoped TiO₂ selama 60 menit. Larutan zat warna *direct red-23* dianalisis dengan menggunakan detektor UV pada panjang gelombang 501 nm. Kolom kromatografi C₁₈ (150 x 4.6 mm) dengan fase gerak asetonitril dan air (60:40 v/v), volume injeksi yang digunakan 20 µm dan laju alir 1.0 mL/menit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spektrum Serapan Zat Warna Direct Red-23

Pengukuran spektrum serapan dari larutan zat warna *direct red-23* dilakukan dengan spektrofotometer pada rentang panjang gelombang 400-800 nm.

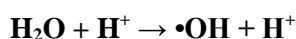


Gambar 2. Serapan spektrum larutan zat warna *direct red-23* pada variasi konsentrasi (a) 2 mg/L, (b) 4 mg/L, (c) 6 mg/L, (d) 8 mg/L dan (e) 10 mg/L

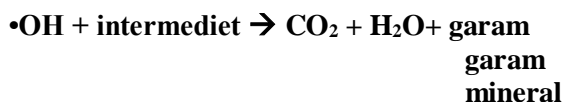
Serapan spektrum larutan zat warna *direct red-23* (Gambar 2) memperlihatkan puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 501 nm dengan absorban yang didapatkan 0.039-0.210.

Pengaruh Waktu Penyinaran Terhadap Degradasi Zat Warna *Direct Red-23* (8 mg/L) Tanpa Katalis C-N-codoped TiO₂ Secara Fotolisis

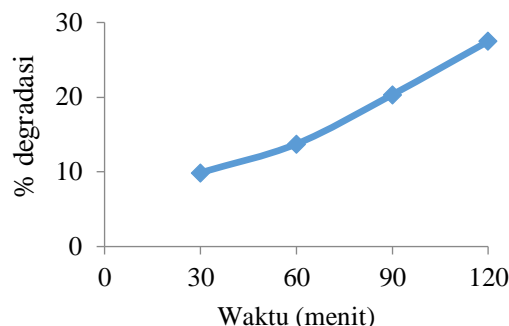
Gambar 3 dan 4 menunjukkan pengaruh waktu penyinaran terhadap persen degradasi zat warna *direct red-23* pada proses fotolisis tanpa penambahan katalis C-N-codoped TiO₂. Dari hasil, terlihat sangat jelas bahwa persen degradasi semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu penyinaran, baik iradiasi dengan sinar UV maupun sinar matahari. Hal ini dikarenakan, semakin lama waktu penyinaran maka semakin banyak jumlah radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang terbentuk (Bhernama *et al.*, 2014). Radikal hidroksil memiliki peran penting dalam mendegradasi senyawa zat warna *direct red-23* karena merupakan oksidator kuat ($E_0 = 2.28\text{eV}$) (Augugliaro *et al.*, 2012). Dengan banyaknya radikal hidroksil yang terbentuk di dalam larutan, maka akan semakin banyak molekul organik dari zat warna *direct red-23* yang terdegradasi. Proses pembentukan $\bullet\text{OH}$ dalam air yaitu:



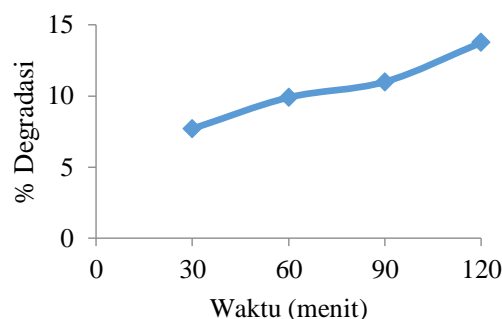
Radikal hidroksil yang terbentuk kemudian bereaksi dengan senyawa organik zat warna *direct red-23* dan membentuk senyawa intermediet. Hasil akhir reaksi menghasilkan gas karbon dioksida, air dan garam-garam mineral. Persamaan reaksi (Agustina *et al.*, 2005; Guimaraes *et al.*, 2012).



Persen degradasi zat warna *direct red-23* yang diperoleh dengan penyinaran matahari selama 120 menit yaitu 13.74% dan fotolisis sinar UV 27.47%.



Gambar 3. Pangaruh waktu penyinaran terhadap persentase degradasi zat warna *direct red-23* 8 mg/L secara fotolisis dengan sinar UV tanpa penambahan katalis C-N-codoped TiO₂

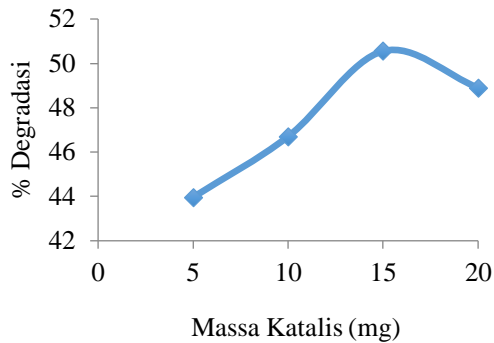


Gambar 4. Pengaruh waktu penyinaran terhadap persentase degradasi zat warna *direct red-23* 8 mg/L dengan sinar matahari tanpa penambahan katalis C-N-codoped TiO₂

Pengaruh Massa Katalis C-N-codoped TiO₂ Terhadap Degradasi Zat Warna *Direct Red-23* 8 mg/L Secara Fotolisis

Gambar 5 menunjukkan pengaruh massa katalis C-N-codoped TiO₂ yang ditambahkan ke dalam larutan terhadap persen degradasi zat warna *direct red-23*. Dari hasil terlihat bahwa dengan bertambahnya massa katalis maka persen degradasi akan meningkat. Hal ini disebabkan oleh radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang terbentuk akan semakin banyak dengan bertambah besarnya massa katalis C-N-codoped TiO₂, sehingga molekul organik zat warna *direct red-23* akan semakin banyak yang terdegradasi. Akan tetapi pada penambahan katalis C-N-codoped TiO₂ lebih dari 15 mg akan menurunkan persen degradasi. Hal ini karena adanya peningkatan pemantulan sinar dari katalis C-N-codoped TiO₂ dan terjadi penurunan penetrasi sinar terhadap larutan zat

warna *direct red-23* yang didegradasi. Berdasarkan dari persen degradasi terbesar yang diperoleh yaitu 50.55%, maka massa katalis optimum yang digunakan untuk mendegradasi larutan zat warna *direct red-23* 8 mg/L adalah 15 mg.



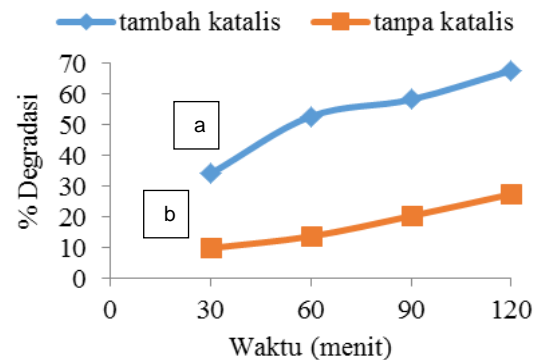
Gambar 5. Kurva hubungan antara massa katalis C-N-codoped TiO₂ dengan persentase degradasi dari zat warna *direct red-23* 8 mg/L selama 60 menit

Pengaruh Waktu Penyinaran Terhadap Degradasi Zat Warna Direct Red-23 8 mg/L Dengan Penambahan Katalis C-N-codoped TiO₂ Secara Fotolisis

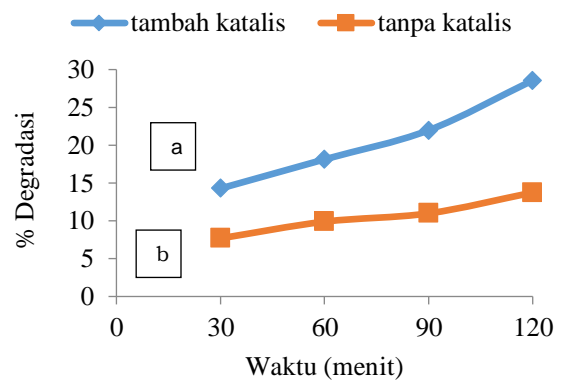
Perbandingan persen degradasi *direct red-23* antara tanpa dan dengan penambahan katalis C-N-codoped TiO₂ 15 mg secara fotolisis dengan sinar UV dapat dilihat pada Gambar 6 dan sinar matahari pada Gambar 7. Dari hasil terlihat bahwa baik tanpa ataupun dengan penambahan katalis, dengan meningkatnya waktu degradasi maka persen degradasi akan meningkat. Penambahan katalis C-N-codoped TiO₂ meningkatkan persen degradasi secara signifikan baik dengan iradiasi sinar UV maupun sinar matahari. Pada fotolisis dengan sinar UV persen degradasi menjadi 68.68% setelah penambahan katalis.

Titania (TiO₂) merupakan katalis semi-konduktor yang memiliki sifat optik cahaya yang banyak diaplikasikan dalam proses fotolisis. Ketika diiradiasi dengan sinar UV atau sinar matahari maka akan terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, sehingga akan terjadi kekosongan atau hole (h⁺) pada pita valensi yang dapat berfungsi sebagai muatan positif. Selanjutnya hole yang terbentuk bereaksi dengan H₂O yang terdapat dalam larutan membentuk radikal hidroksil (•OH) (Riyani et al., 2012). Banyak radikal hidroksil yang dihasilkan oleh katalis TiO₂

akan meningkatkan persen degradasi zat warna *direct red-23*.



Gambar 6. Pengaruh waktu penyinaran terhadap persen degradasi zat warna *direct red-23* (8 mg/L) pada fotolisis sinar UV (a) dengan penambahan katalis C-N-codoped TiO₂ 15 mg (b) tanpa penambahan katalis

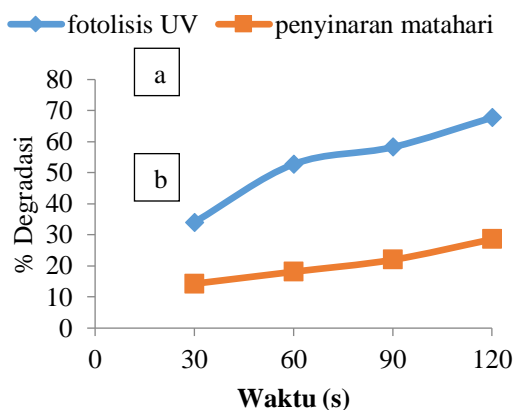


Gambar 7. Pengaruh waktu penyinaran terhadap persen degradasi zat warna *direct red-23* (8 mg/L) pada fotolisis sinar matahari (a) dengan penambahan katalis C-N-codoped TiO₂ 15 mg (b) tanpa penambahan katalis

Pengaruh Sumber Sinar pada Fotolisis Zat Warna Direct Red-23

Gambar 8 menunjukkan perbandingan persen degradasi zat warna *direct red-23* secara fotolisis pada iradiasi sinar UV dan sinar matahari dengan penambahan 15 mg katalis C-N-codoped TiO₂. Dari hasil terlihat bahwa, persen degradasi lebih rendah pada metode fotolisis dengan iradiasi sinar matahari dibandingkan dengan sinar UV. Hal ini tidak sesuai dengan hasil yang didapatkan oleh Safni dkk dimana persen degradasi dengan fotolisis sinar matahari lebih besar dari pada sinar UV

(Safni *et al.*, 2015). Hal ini disebabkan adanya perbedaan suhu dan intensitas sinar matahari saat dilakukannya proses fotolisis, sehingga jumlah radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang dihasilkan tidak sama saat pengerjaan. Perbedaan intensitas sinar matahari yang sampai ke bumi dipengaruhi oleh musim dan keberadaan awan (Lestari *et al.*, 2015). Persen degradasi zat warna *direct red-23* (8 mg/L) pada iradiasi sinar matahari selama 120 menit dengan penambahan katalis C-N-codoped TiO_2 15 mg yaitu 26.37% dan fotolisis sinar UV sebesar 65.93%.

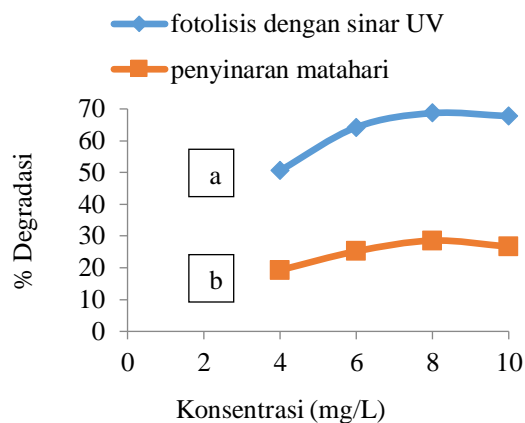


Gambar 8. Pengaruh sumber sinar pada fotolisis zat warna *direct red-23*(8 mg/L) terhadap persen degradasi dengan penambahan 15 mg katalis C-N-codoped TiO_2 (a). Sinar UV (b). Sinar matahari

Pengaruh Konsentrasi Awal Zat Warna Direct Red-23 pada Proses Fotolisis

Konsentrasi awal zat warna *direct red-23* merupakan parameter yang penting untuk dipelajari dari mendegradasi zat warna. Gambar 9 menunjukkan pengaruh konsentrasi terhadap persen degradasi zat warna *direct red-23*. Persen degradasi zat warna *direct red-23* pada konsentrasi 4 mg/L sampai 8 mg/L mengalami peningkatan yaitu, 50.60% hingga 68.68% pada iradiasi sinar UV sedangkan 19.28% hingga 28.57% pada iradiasi sinar matahari. Akan tetapi pada konsentrasi 10 mg/L persen degradasi zat warna *direct red-23* mengalami penurunan 67.72% dengan sinar UV dan 26.67% dengan sinar matahari karena dengan penambahan massa katalis C-N-codoped TiO_2 yang tetap maka akan

menghasilkan jumlah $\bullet\text{OH}$ radikal yang tetap, sehingga pada konsentrasi zat warna *direct red-23* 10 mg/L akan terjadi kekurangan $\bullet\text{OH}$ radikal yang menyebabkan menurunnya laju degradasi (Dini *et al.*, 2014). Dari Gambar 9 dapat diperoleh bahwa konsentrasi optimum degradasi zat warna *direct red-23* dengan secara fotolisis sinar UV dan sinar matahari selama 120 menit dengan penambahan katalis yaitu 8 mg/L.



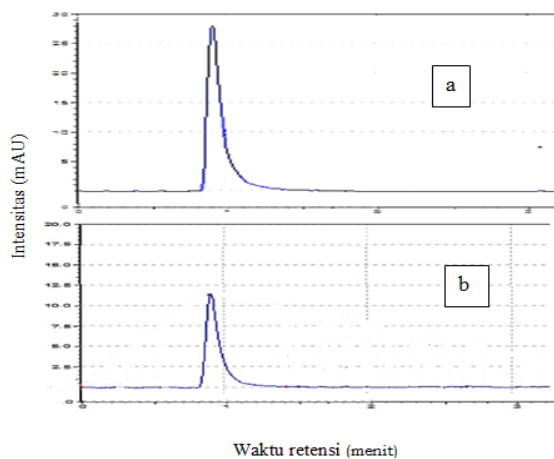
Gambar 9. Pengaruh konsentrasi awal zat warna *direct red-23* terhadap persen degradasi dengan penambahan 15 mg katalis C-N-codoped TiO_2 pada iradiasi (a) fotolisis sinar UV (b) sinar matahari selama 120 menit

Analisis Hasil Degradasi Zat Warna Direct Red-23 8 mg/L Secara Fotolisis Menggunakan HPLC

Pengukuran dilakukan dua sampel yaitu sampel zat warna *direct red-23* 8 mg/L sebelum didegradasi dan zat warna *direct red-23* (8 mg/L) setelah didegradasi dengan penambahan katalis C-N-codoped TiO_2 yang kemudian diuji dengan *high performance liquid chromatography* (HPLC). Gambar 10 menunjukkan kromatogram dari larutan *direct red-23* (8 mg/L) sebelum dan sesudah degradasi.

Intensitas dari puncak kromatogram larutan zat warna *direct red-23* 8 mg/L mengalami penurunan setelah zat warna didegradasi dengan metode fotokatalisis dengan sinar UV. Hal ini membuktikan bahwa proses fotolisis mampu mengurangi kadar senyawa organik dari zat warna *direct red-23*. Intensitas larutan sebelum didegradasi yaitu

28 pada waktu retensi 0.8 menit sedangkan setelah didegradasi intensitas mengalami penurunan menjadi 11.5 dengan waktu retensi yang sama. Dari gambar 10 dapat disimpulkan terjadi penurunan konsentrasi zat warna *direct red-23* setelah didegradasi dengan fotolisis sinar UV selama 60 menit dan tidak ada puncak dari senyawa hasil degradasi (intermediet) yang terbentuk, jikapun ada senyawa hasil degradasi (intermediet) yang terbentuk tidak dapat terdeteksi dengan HPLC yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 10. Kromatogram larutan zat warna *direct red-23* (8 mg/L) (a) sebelum degradasi (b) setelah degradasi secara fotolisis sinar UV dengan penambahan katalis C-N-codoped TiO₂ 15 mg selama 60 menit.

4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan persen degradasi zat warna *direct red-23* secara fotolisis dengan sinar UV selama 120 menit yang ditambahkan katalis C-N-codoped TiO₂ 15 mg sebesar 68.68% sedangkan dengan sinar matahari yang ditambahkan katalis C-N-codoped TiO₂ 15 mg sebesar 28.57%. Penggunaan metode fotolisis sinar UV dengan penambahan katalis C-N-codoped TiO₂ 15 mg lebih efisien dalam mendegradasi zat warna *direct red-23* dibandingkan sinar matahari yang ditambahkan katalis C-N-codoped TiO₂ 15 mg.

DAFTAR PUSTAKA

Aryanto A, Irwan N. 2015. Fotodegradasi Zat Warna *Methyl Orange* dengan Komposit

TiO₂-Montmorillonit. *Seminar Nasional dan Pendidikan Kimia VI*. 205-214.

Agustina TE, Ang HM, Vareek VK. 2005. A review of synergistic effect of photocatalysis and ozonation on wastewater treatment, *Journal of photochemistry and photobiology C: Photochemistry Reviews*. 6: 264-273.

Augugliaro V, Bellardita M, Loddo V, Palmisano G, Palmisano L, Yurdakal S. 2012. Overview on oxidation mechanisms of organic compounds by TiO₂ in heterogeneous photocatalysis. *Journal Photochem. Photobiol. C*. 13: 224-245.

Bhernama BG, Safni, Syukri. 2014. Degradasi zat warna *metanil yellow* secara fotolisis dan penyinaran matahari dengan penambahan katalis TiO₂-Anatasedan SnO₂. *Journal of Islamic Science and Technology*. 1(1): 125-126.

Christina MP, Mu'nisatun S, Rany S, Djoko M. 2007. Studi pendahuluan mengenai degradasi zat warna azo (*metil orange*) dalam pelarut air menggunakan mesin berkas elektron 350 ke V/10 mA. *JFN*. 1(1): 32-33.

Diantariani NP, Widihati IAG, ratih M. 2014. Fotodegradasi metilen biru dengan sinar ultraviolet dan katalis ZnO. *Jurnal Kimia*. 1(8): 137-143.

Dini EWP, Sri W. 2014. Degradasi metilen biru menggunakan fotokatalis ZnO-Zeolit. *Chem*. 7(1): 29-33.

Lestari YD, Sri W, Mohammad MK. 2015. Degradasi methylene blue menggunakan fotokatalis TiO₂-N /Zeolit dengan sinar matahari. *Kimia Student Journal*. 1(1): 592-598.

Li LH, Lu J, Wang ZS, Yang L, Zhou XF, Han L. 2012. Fabrication of the C-N-codoped rod-like TiO₂ photo-catalyst with visible-light responsive photocatalytic activity. *Materials research bulletin*. 47: 1508-1512.

Rasoulifard MH, Mohammad HA, Elham K. 2012. Removal of *direct red dye 23* from water and wastewater using S₂O₈²⁻oxidant activated by UV irradiation: An investigation on the operational

- parameters. *Journal of Applied Chemical Research*. 6(4): 46-59.
- Riyani K, Tien S, Dian WD. 2012. Pengolahan limbah cair batik menggunakan fotokatalis TiO₂-Dopan-N dengan bantuan sinar matahari. *Valensi*. 2(5): 581-587.
- Safni, DianaVW, Putri SK, Reza AP.2015. Degradation of Yellow-GCN by photolysis with UV-light and solar irradiation using C-N-codoped TiO₂ catalyst. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 7(11): 306-311.
- Safni, Diana VW, Puti SK, Reza AP, Deliza, 2016. Photocatalytic degradation of yellow-GCN dye using C-N-codoped TiO₂ Thin film in degradation reactor using visible-light irradiation. *Der pharma chemica*. 8(19): 642-646.
- Safni, Deliza, Deby A, Rahmi SD, Hasnah U, Diana VW. 2016. Degradation of direct red-81 and direct yellow-27 by photolysis with UV-light and solar irradiation using C-N-codoped TiO₂. *Der pharma chemica*. 8(12): 30-35.
- Safni, Reza AP, Upita S, Diana VW. 2017. Photodegradation of orange F3R dyes: effect of light sources and the addition of C-N-Codoped TiO₂ catalyst. *Der pharma chemica*. 9(10): 1-5.
- Sukarta IN, Putu S. 2013. Pengaruh konsentrasi ammonium sulfat ((NH₄)₂SO₄) optimasi jamur jerami padi ILS (Isolat Lokal Singaraja) untuk biodegradasi zat warna azo jenis remazol red. *Jurnal Kimia*. 1(7): 91-100.
- WismayantiDA, Ni PD, Sri RS. 2015. Pembuatan komposit ZnO-arang aktif sebagai fotokatalis untuk mendegradasi zat warna metilen biru. *Jurnal Kimia*. 1(9): 109-116.