

DEGRADASI ZAT WARNA **METANIL YELLOW** SECARA FOTOLISIS DAN PENYINARAN MATAHARI DENGAN PENAMBAHAN KATALIS TiO₂-**anatase** dan SnO₂

Bhayu Gita Bhernama

*Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, Uin Ar-Raniry
Banda Aceh, Aceh, Indonesia, deta.chavez1678@gmail.com*

Prof. Safni

*Laboratorium Kimia Analisis Terapan, Jurusan Kimia, FMIPA Univer-
sitas Andalas Padang, Sumatera Barat, Indonesia*

Dr. Syukri

*Laboratorium Kimia Material, Jurusan Kimia, FMIPA Universitas
Andalas Padang, Sumatera Barat, Indonesia*

Abstract : Degradation of *Metanil yellow* has been done. In this research the degradation process was done by photolysis and sunlighting method by using TiO₂-SnO₂ catalysis. The residu of *metanil yellow* was centrifuged and measured by UV/Vis Spectrophotometer at λ 300 – 600 nm after degradation. 6 mg/L of *Metanil yellow* and addition of 0,03 g TiO₂-*anatase* and SnO₂ for 150 min, gave the percentage of degradation 27,38 % and 25,00 % after photolysis. 6 mg/L of *Metanil yellow* and addition of 0,03 g TiO₂-*anatase* and SnO₂ for 150 min, gave the percentage of degradation 94,84% and 93,25% after lighted by sun with $1,13256 \times 10^{15}$ foton cm⁻²/s intensity. From the results percentage of degradation showed that degradation with the addition of TiO₂-*anatase* and SnO₂ can improve the degradation of *methanil yellow*. The percentage of degradation proves that the addition of TiO₂-*anatase* and SnO₂ which is lighted by sun is better than photolysis process.

Abstrak: Degradasi *methanil yellow* telah dilakukan. Pada penelitian ini proses degradasi *methanil yellow* dilakukan dengan metoda fotokatalisis dan penyinaran matahari menggunakan katalis TiO₂-*anatase* dan SnO₂. Sisa *methanil yellow* setelah didegradasi lalu disentrifus dan diukur dengan spektrofotometer UV/Vis pada λ 300 – 600 nm. 6 mg/L *methanil yellow* dengan penambahan 0,03 g TiO₂-*anatase* dan SnO₂ untuk 150 menit, memberikan persen degradasi 27,38 % dan 25,00 % setelah di fotolisis. 6 mg/L *methanil yellow* dengan penambahan 0,03 g TiO₂-*anatase* dan SnO₂ untuk 150 menit, memberikan persen degradasi 94,84% dan 93,25% setelah penyinaran oleh matahari dengan intensitas sinar $1,13256 \times 10^{15}$ foton cm⁻²/s. Dari hasil persen degradasi menunjukkan bahwa degradasi dengan penambahan TiO₂-*anatase* dan SnO₂ dapat meningkatkan persen degradasi *methanil yellow*. Persen degradasi lebih besar dengan penambahan katalis TiO₂-*anatase* dan SnO₂ yang disinari oleh sinar matahari daripada proses

fotokatalisis.

Keywords: methanil yellow, fotolisis, sinar matahari, katalis TiO₂-*anatase* dan katalis SnO₂,

Pendahuluan

Zat warna merupakan zat warna golongan azo yang merupakan senyawa aromatik yang kompleks yang biasanya digunakan dalam industri pewarna tekstil, makanan, kertas, dan kosmetik. Senyawa azo merupakan kelompok senyawa sintetik, organik dan berwarna dengan ikatan azo (-N=N-). Diseluruh dunia produksi zat warna ini sangat besar terutama dibidang industri tekstil, makanan, kosmetik dan kertas, dimana industri tekstil lebih banyak pemakainya. Proses produksi zat warna yang dihasilkan oleh industri tekstil menyebabkan terjadi pencemaran lingkungan, terutama pencemaran pada air, berupa limbah cair. Limbah yang dihasilkan dari proses industri zat warna umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable* yang mengandung senyawa azo dan bersifat sangat karsinogenik¹. Proses produksi zat warna ini tidak hanya menggunakan satu jenis zat warna saja, oleh karena itu penanganan limbah tekstil menjadi sangat rumit dan memerlukan beberapa langkah pengolahan sampai limbah tersebut benar-benar aman untuk dilepas ke lingkungan perairan. Pengolahan limbah zat warna secara konvensional telah banyak dilakukan misalnya cara klorinasi, penyerapan (adsorpsi) dan pengendapan oleh karbon aktif². Akan tetapi metoda tersebut kurang efektif sehingga dikhawatirkan akan menimbulkan masalah baru dilingkungan³. Alternatif lain untuk pengolahan limbah zat warna ini dengan dikembangkannya metoda fotodegradasi menggunakan bahan fotokatalis. Metode fotodegradasi ini menguraikan zat warna menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana dan lebih aman untuk lingkungan¹.

Salah satu pencemaran zat warna adalah zat warna yang umumnya terbuat dari senyawa azo dan turunannya yang merupakan gugus benzene, yaitu *metanil yellow* [C₁₈H₁₄N₃O₃SNa]. *Methanil yellow* dapat menyebabkan iritasi pada mata jika dikonsumsi dalam jangka panjang. *Methanil yellow* juga bertindak sebagai *tumor promoting agent* dan dapat menyebabkan kerusakan

hati⁵. Penambahan TiO_2 -*anatase* untuk degradasi zat warna telah pernah dilakukan sebelumnya. Zat warna yang pernah didegradasi sebelumnya seperti *Naphtol Blue Black*, Sudan I, dan Alizarin.^{5,6,7}

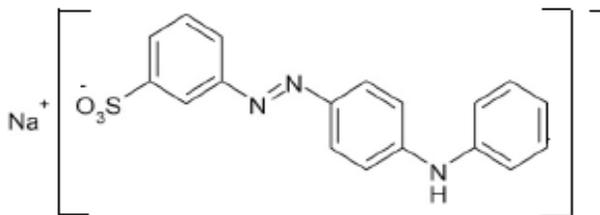
Pada penelitian yang ditulis dalam artikel ini, dipaparkan penggunaan metoda fotodegradasi pada zat warna *methanil yellow* dengan menggunakan bahan semikonduktor TiO_2 -*anatase* dan SnO_2 sebagai fotokatalis. Adapun tujuan dari penelitian yang dituliskan pada artikel ini untuk mengetahui berapa persen *metanil yellow* yang dapat didegradasi secara fotolisis, sonolisis dan penyinaran sinar matahari dengan menggunakan katalis TiO_2 -*anatase* dan SnO_2 terhadap variasi waktu degradasi.

Tinjauan kepustakaan

Metanil Yellow

Metanil yellow [$C_{18}H_{14}N_3O_3SNa$] merupakan pewarna golongan azo, dimana dalam strukturnya terdapat ikatan $N=N$ (Gambar 1) dengan nama kimia adalah Natrium 3-[(4-N-phenylamino)phenylazo]benzene sulfonat dan garam natrium dari metanilyazodiphenilamine. Metanil yellow dengan warna kuning dibuat dari asam metanilat dan difenilamin.

Metanil yellow adalah zat warna sintetik yang berbentuk serbuk berwarna kuning kecoklatan, larut dalam air, dan agak larut dalam aseton. *Metanil yellow* merupakan senyawa kimia azo aromatik amin yang dapat menyebabkan tumor dari berbagai jaringan hati, kandung kemih, saluran pencernaan, atau jaringan kulit. Metanil kuning yang dibuat dari asam metanilat dan difenilamin ini bersifat toksik. *Metanil yellow* merupakan pewarna tekstil yang sering disalahgunakan sebagai pewarna makanan.



Gambar 1 : Struktur kimia *metanil yellow*

Pewarna tersebut bersifat sangat stabil. *Metanil yellow* biasa digunakan untuk mewarnai wool, nilon, kulit, kertas, cat, aluminium, detergen, kayu, bulu, dan kosmetik. Pewarna ini merupakan *tumor promoting agent* ².

Fotolisis

Fotolisis adalah suatu proses degradasi zat yang dibantu oleh adanya cahaya dan material katalis. Ketika material fotolisis disinari cahaya, material tersebut menyerap energi foton dan menyebabkan berbagai reaksi kimia. Kompleks logam dan katalis.

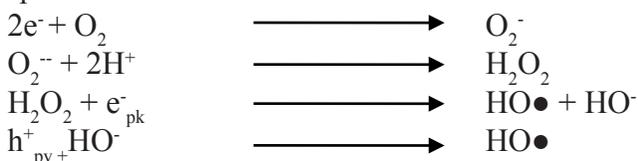
Penyerapan sinar matahari (UV) oleh partikel fotokatalis akan membentuk 2 pasang elektron dan hole¹.

Elektron akan bereaksi dengan oksigen dari larutan membentuk anion (O²⁻) yang mana akan mengoksidasi secara kuat hidroksil radikal (OH⁻). Sedangkan hole akan mengoksidasi hidroksil yang terlarut dan membuatnya menjadi radikal dengan energi yang besar. Hidroksil radikal yang memiliki energi yang besar akan mengubah polutan organik menjadi zat yang tidak berbahaya¹. Pada tahap awal terjadi penyerapan foton berfrekuensi ν dengan energinya yang besar atau sama dengan energi celah antara p_v dan p_k , selanjutnya sebuah elektron pada p_v tereksitasi ke p_k meninggalkan lubang atau hole yang bermuatan positif. Elektron pada p_k ditangkap dengan senyawa akseptor electron (oks) sedangkan hole pada p_v diisi oleh elektron dari senyawa donor elektron (red). Senyawa terakhir menjadi reaktif dan terdekomposisi kebentuk mineralisasi¹.

Reaksi yang terjadi pada proses fotokatalisis :



Electron pada pita konduksi ditangkap oleh oksigen terlarut sebagai spesies oksidator.



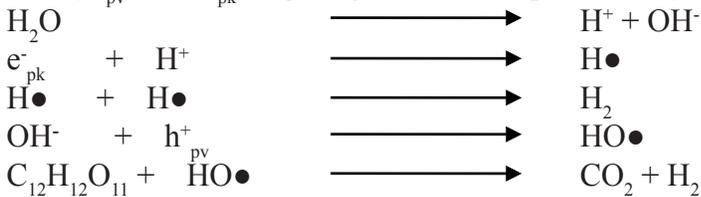
hole pada pita valensi dinetralkan muatannya oleh spesies reduktor.



Selanjutnya $\text{R}\bullet^+$ bereaksi dengan radikal hidroksil (HO \bullet) untuk membentuk produk-produk mineralisasi seperti air dan CO₂.

$\text{HO}\bullet$ Inilah yang berperan dalam mendegradasi senyawa. Dalam mekanisme pembentukan gas hidrogen (H_2) e^-_{pk} akan bereaksi dengan H^+ yang dihasilkan dari proses fotolisis air¹.

Hidrogen yang dihasilkan akan meningkat dengan adanya senyawa alkohol tersebut dapat mencegah bereaksinya kembali hole (h^+_{pv}) dan e^-_{pk} (terjadinya kombinasi permukaan).



Metoda Penelitian

Alat dan Bahan

Alat

Alat yang digunakan adalah Spektrofotometer UV/Vis (SIMANDSU), Sarcelles Perancis), Ultrasonik (Kerry Pulsatron Sonics, Inggris, frekuensi 50 kHz), Lampu UV (Germicidal CE G 13 Base 8FC11004, $\lambda = 365$ nm, 220 watt), Neraca analitik (AA-200, Denver instrument Company), sentrifus, pipet takar, labu ukur, botol, thermometer, pH meter dan peralatan gelas lainnya.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Metanil yellow*, TiO_2 -*anatase* (Ishihara Sangyo, Ltd. Japan), SnO_2 (Merch), uranil asetat (Merch), asam oksalat (Merch), Natrium oksalat (Merch), kalium permanganat (Merch), dan akuades.

Pembuatan Larutan Standar

Metanil yellow sebanyak 0,100 gram dilarutkan dalam 100 mL aquadest untuk mendapatkan larutan induk *Metanil yellow* 1000 mg/L. Kemudian larutan induk *Metanil yellow* 1000 mg/L diencerkan menjadi 5 variasi konsentrasi 2, 4, 6, 8 dan 10 mg/L.

Prosedur Kerja

Pengukuran spektrum serapan *metanil yellow*

Kelima variasi konsentrasi larutan standar masing-masing diukur spektrum serapan dengan spektrofotometer UV/Vis pada λ maksimum 300-600 nm. Kemudian diambil data absorban pada panjang gelombang yang memberikan serapan maksimum

Penentuan waktu degradasi metanil yellow 6, 8 dan 10 mg/L secara fotolisis, sonolisis dan penyinaran matahari

a. Secara fotolisis

Larutan *metanil yellow* 6, 8, dan 10 mg/L dimasukkan ke dalam petridish sebanyak 25 ml, kemudian difotolisis dengan beberapa variasi waktu yaitu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Lalu diukur absorban dengan UV-VIS

b. Secara penyinaran matahari

Larutan *metanil yellow* 6, 8, dan 10 mg/L dimasukkan ke dalam petridish sebanyak 25 ml, kemudian disinari dengan sinar matahari pada beberapa variasi waktu yaitu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Lalu diukur absorban dengan UV-VIS.

*Degradasi zat warna metanil yellow 6, 8 dan 10 mg/L dengan penambahan katalis TiO_2 -*anatase**

a. Secara fotolisis

Larutan *metanil yellow* 6, 8, dan 10 mg/L dimasukkan ke dalam petridish sebanyak 25 ml. Selanjutnya ditambahkan 0,03 g TiO_2 -*anatase*. Larutan diiradiasi dengan sinar UV selama 150 menit. Hasil fotolisis disentrifus selama 20 menit untuk memisahkan TiO_2 -*anatase* dari larutan. Kemudian diukur spektrum serapan masing-masing larutan dengan spektrofotometer UV/Vis pada λ 300-600 nm. Kemudian diambil data absorban pada λ maksimum yang memberikan serapan maksimum.

b. Secara penyinaran matahari

Larutan *metanil yellow* 6, 8, dan 10 mg/L dimasukkan ke dalam petridish sebanyak 25 ml. Selanjutnya ditambahkan 0,03 g TiO_2 -*anatase*. Larutan disinari dengan sinar matahari selama 150 menit. Hasil penyinaran disentrifus selama 20 menit untuk memisahkan TiO_2 -*anatase* dari larutan. Kemudian diukur spektrum serapan

masing-masing larutan dengan spektrofotometer UV/Vis pada λ 300-600 nm. Kemudian diambil data absorban pada λ maksimum yang memberikan serapan maksimum.

Degradasi zat warna metanil yellow 6, 8 dan 10 mg/L dengan penambahan katalis SnO_2

a. Secara fotolisis

Larutan *metanil yellow* 6, 8, dan 10 mg/L dimasukkan ke dalam petridish sebanyak 25 ml. Selanjutnya ditambahkan 0,03 g SnO_2 . Larutan diiradiasi dengan sinar UV selama 150 menit. Hasil fotolisis disentrifus selama 20 menit untuk memisahkan TiO_2 -*anatase* dari larutan. Kemudian diukur spektrum serapan masing-masing larutan dengan spektrofotometer UV/Vis pada λ 300-600 nm. Kemudian diambil data absorban pada λ maksimum yang memberikan serapan maksimum.

b. Secara penyinaran matahari

Larutan *metanil yellow* 6, 8, dan 10 mg/L dimasukkan ke dalam petridish sebanyak 25 ml. Selanjutnya ditambahkan 0,03 g SnO_2 . Larutan disinari dengan sinar matahari selama 150 menit. Hasil penyinaran disentrifus selama 20 menit untuk memisahkan TiO_2 -*anatase* dari larutan. Kemudian diukur spektrum serapan masing-masing larutan dengan spektrofotometer UV/Vis pada λ 300-600 nm. Kemudian diambil data absorban pada λ maksimum yang memberikan serapan maksimum.

Penentuan Intensitas Sinar Matahari

Penentuan intensitas sinar matahari dilakukan dengan menggunakan metoda aktinometri uranil oksalat. Adapun caranya sebagai berikut:

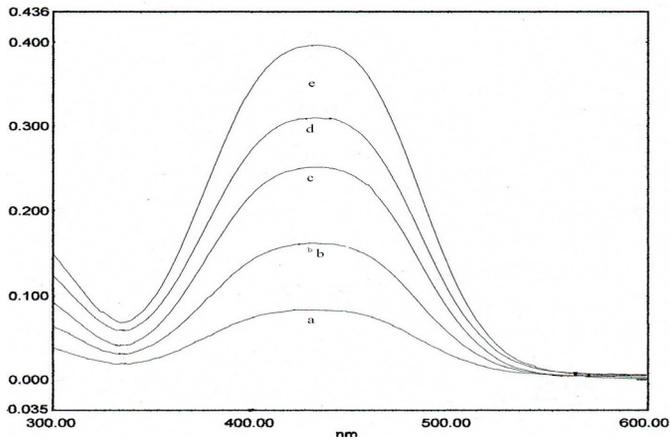
- a. 50 ml larutan *uranil asetat* 0,02 M (larutan A) ditambahkan 50 ml larutan *asam oksalat* 0,06 M (larutan B) perbandingan larutan A dan larutan B, 1 : 1.
- b. 5 ml larutan campuran diatas dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 3 tetes asam sulfat pekat lalu dipanaskan. Dalam keadaan panas dititrasi dengan larutan kalium permanganat 0,02 M sampai warna kalium permanganat tepat

- tidak hilang oleh pengocokan selanjutnya, lalu catat volume kalium permanganat yang terpakai (sebagai blanko).
- c. Selanjutnya 25 ml larutan campuran (a) diambil lagi dan dituangkan ke dalam petridish, sinari dengan sinar matahari selama 5 menit.
 - d. 5 ml larutan hasil penyinaran dimasukkan ke dalam erlenmeyer, ditambahkan 3 tetes asam sulfat pekat dan dipanaskan. Dalam keadaan panas titrasi dengan kalium permanganat sampai warna tepat tidak hilang oleh pengocokan selanjutnya, volume kalium permanganat yang terpakai dicatat.
 - e. Berdasarkan selisih konsentrasi oksalat antara blanko yang tidak disinari dengan larutan dan yang telah disinari, besarnya intensitas sinar matahari dapat ditentukan.

Hasil Dan Pembahasan

Pengukuran Spektrum Serapan Metanil yellow

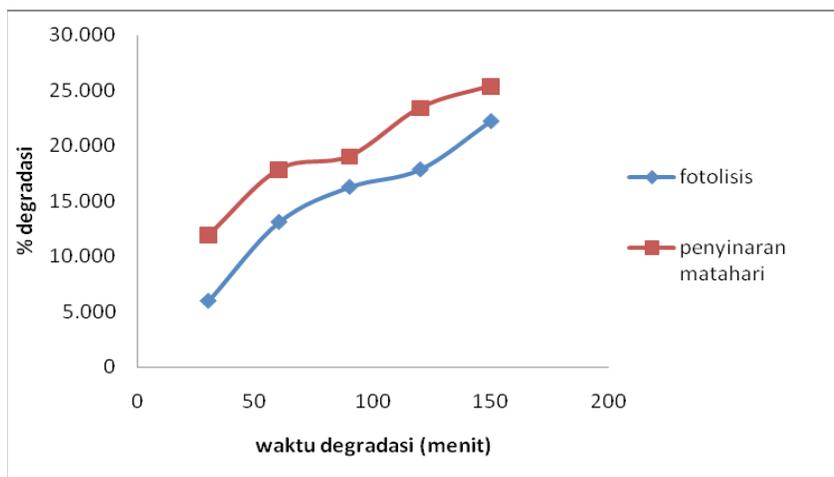
Berdasarkan nilai serapan dari *metanil yellow* pada hasil pengukuran spektrum UV-Vis dapat dihitung nilai absorpsitivitas molar (ϵ) dari metanil yellow. Perhitungan dilakukan berdasarkan Hukum Lambert Beer dengan tebal kuver (b) yang digunakan 1 cm dan konsentrasi metanil yellow 2, 4, 6, 8, 10 mg/L. Dari perhitungan didapat nilai absorpsitivitas molar (ϵ) *metanil yellow* adalah $14445,2996 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, ini menunjukkan kesensitifan pendeteksian yang cukup tinggi. Dimana nilai absorban yang baik sesuai dengan Hukum Lambert Beer berada antara 0,2 sampai 0,8. Dalam penelitian selanjutnya digunakan larutan *Metanil yellow* 6, 8, 10 mg/L dengan absorban 0,252, 0,310, 0,396 sebagai larutan yang akan didegradasi secara fotolisis, sonolisis, dan penyinaran matahari.



Gambar 2 : Spektrum serapan *metanil yellow* pada variasi konsentrasi. Ket : (a) *metanil yellow* 2 mg/L, (b) *metanil yellow* 4 mg/L, (c) *metanil yellow* 6 mg/L, (d) *metanil yellow* 8 mg/L, (e) *metanil yellow* 10 mg/L.

Penentuan waktu degradasi zat warna metanil yellow secara Fotolisis dan Penyerapan matahari

Untuk melihat pengaruh kondisi penyerapan dilakukan uji degradasi larutan zat warna metanil yellow dengan konsentrasi 6 mg/L, pengujian dengan variasi waktu. Larutan *metanil yellow* dengan konsentrasi 6 mg/L, yang difotolisis dan disinari matahari masing-masing selama 30, 60, 90, 120 dan 150 menit dan daya lampu UV 220 watt $\lambda = 365$ nm.



Gambar 3. Kurva pengaruh waktu degradasi metanil yellow 6 mg/L secara fotolisis dan penyinaran matahari

Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat bahwa pada waktu 30 menit penyinaran secara fotolisis dan penyinaran matahari didapatkan persen degradasi 5,952% dan 11,905%. Proses degradasi terbesar terjadi pada penyinaran secara fotolisis dan penyinaran matahari pada waktu 150 menit didapatkan persen degradasi 22,222% dan 25,397%. Persentase degradasi *metanil yellow* meningkat dengan bertambahnya waktu fotolisis dan penyinaran matahari, karena semakin lama waktu semakin banyak jumlah radikal OH yang berperan dalam mendegradasi senyawa *methanil yellow*. Hal ini disebabkan radikal hidrosil ($\bullet\text{OH}$) yang dihasilkan dalam larutan berair akan menyerang senyawa organik untuk mengawali proses mineralisasi¹. Proses tersebut berupa :



Radikal hidroksil inilah yang berperan dalam menguraikan zat warna *metanil yellow*.

Degradasi zat warna metanil yellow 6, 8 dan 10 mg/L dengan penambahan katalis TiO₂-anatase

Pengaruh penambahan massa katalis TiO₂-anatase terhadap degradasi *metanil yellow* dengan konsentrasi 6, 8 dan 10 mg/L dan massa 0,03 gram pada waktu 150 menit dengan daya lampu UV

220 watt $\lambda = 365$ nm. Untuk melihat pengaruh konsentrasi dalam larutan metanil yellow dengan berat katalis TiO₂-anatase 0,03 g, dilakukan pengujian dengan variasi 6, 8 dan 10 mg/L. Berdasarkan hasil analisis pada penelitian ini, dapat dilihat bahwa persentase degradasi zat warna *metanil yellow* menurun seiring besarnya konsentrasi. Penyinaran larutan metanil yellow dengan konsentrasi 6, 8 dan 10 mg/L secara fotolisis didapatkan persen degradasi 27,381 %, 25,484 %, dan 23,485%. Penyinaran larutan metanil yellow dengan konsentrasi 6, 8 dan 10 mg/L dan disinari oleh sinar matahari, didapatkan persen degradasi 94,841%, 94,194%, dan 94,192%.

Tabel 1. Persen degradasi metanil yellow 6, 8 dan 10 mg/L secara fotolisis dan penyinaran matahari dengan penambahan 0,03 g katalis TiO₂-*anatase* selama 150 menit.

No.	Konsentrasi (mg/L)	% degradasi fotolisis	% degradasi penyinaran matahari
1	6	24.600	94.194
2	8	23.871	94.192
3	10	23.233	94.841

TiO₂ yang disinari UV, menyebabkan elektron (e⁻) tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi, dengan meninggalkan lubang positif atau *hole* (h⁺). *Hole* yang terbentuk berinteraksi dengan air atau ion OH⁻ menghasilkan radikal hidroksil (•OH⁻). Radikal hidroksil inilah yang akan menguraikan atau mendegradasi molekul zat warna. Meningkatnya jumlah molekul zat warna yang dapat di adsorpsi pada permukaan katalis dapat meningkatkan efisiensi proses degradasi. Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa penurunan konsentrasi *metanil yellow* melalui proses fotokatalisis lebih tinggi^{1,2}.

Degradasi zat warna metanil yellow 6, 8 dan 10 mg/L dengan penambahan katalis SnO_2

Tabel 2. Persen degradasi metanil yellow 6, 8 dan 10 mg/L secara fotolisis dan penyinaran matahari dengan penambahan 0,03 g katalis SnO_2 selama 150 menit

No.	Konsentrasi (mg/L)	% degradasi secara fotolisis	% degradasi dengan penyinaran matahari
1	6	25.000	93.250
2	8	21.612	93.226
3	10	21.212	93.182

Pengaruh penambahan massa katalis SnO_2 terhadap degradasi *metanil yellow* dengan konsentrasi 6, 8 dan 10 mg/L dan massa 0,03 gram pada waktu 150 menit dengan daya lampu UV 220 watt $\lambda = 365$ nm didapatkan persen degradasi dalam larutan metanil yellow 6, 8 dan 10 mg/L menurun, dikarenakan konsentrasi larutan *metanil yellow* yang besar disinari dengan cahaya sinar UV pada $\lambda = 365$ nm. SnO_2 yang tidak memiliki sifat fotokatalitik di bawah sinar tampak ternyata di bawah sinar matahari dapat memiliki sifat fotokatalitik. Berbeda dengan penyinaran menggunakan lampu UV secara fotokatalis, sifat fotokatalitik SnO_2 lebih kecil dibandingkan dengan penyinaran dengan sinar matahari¹.

Larutan metanil yellow didegradasi dengan penyinaran sinar matahari lebih besar persen degradasi dikarenakan sinar matahari memiliki panjang gelombang UV yang banyak dibandingkan fotolisis yang hanya menggunakan satu panjang gelombang dari sinar lampu UV.

Penentuan Intensitas Sinar Matahari

Nilai intensitas matahari (I) yang ditentukan melalui metoda aktinometri uranil oksalat didapatkan $1,13256 \times 10^{15}$ foton $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan dengan menggunakan katalis TiO_2 -anatase dan SnO_2 dapat digunakan untuk mendegradasi zat warna *metanil yellow*. Hasil degradasi zat warna *metanil yellow* 6, 8 dan 10 mg/L selama 150

menit penambahan 0,03 g TiO_2 -anatase dan SnO_2 memperlihatkan bahwa larutan metanil yellow dengan menggunakan katalis dapat terdegradasi lebih cepat daripada tanpa katalis. Larutan metanil yellow menggunakan TiO_2 -anatase lebih cepat terdegradasi dibandingkan dengan menggunakan katalis SnO_2 , hal ini karena SnO_2 tidak memiliki sifat fotokatalitik di bawah sinar tampak. Larutan metanil yellow didegradasi dengan menggunakan sinar matahari lebih cepat dibandingkan secara fotolisis.

Daftar Pustaka

- [1.] Vasantha laxmi maddhini, Hima bindu vurimindi, Anjaneyulu yerramilli., *Degradation of azo dye with horse radish peroxidase (HRP)*., J. Indian Inst., Sept-Oct 2006., 86., 507-514
- [2.] Mane, U.V., Gurau, P.N., Deshmukh., A.M and Govindwar., S.P., *Degradation of textile dye reactive navy-blue Rx (Reactive blue-59)*., Malaysian Journal of mikrobiologi., Vol. 4(2) 2008., pp 1-5
- [3.] Karna wijaya, eko sugiharto, is fatimah, sri sudiono, dyan kurniaysih., *Utilisasi TiO_2 -zeolit dan sinar UV untuk fotodegradasi zat warna cango red.*, berkala MIPA 16(3)., september 2006
- [4.] Mohamad Steiman, Daniel Vildoza, Corinne Ferronato, Jean-Marck Chovelon, 2007, *Photocatalytic degradation of azo dye Metanil Yellow: Optimization and Kinetic Modeling using a chemometric approach*, Elsevier, Vol. 10. No. 1016 : 06.015
- [5.] Safni, Sari, F. Maizatrisna, dan Zulfarman, 2009, *Degradasi Zat Warna Metanil Yellow Secara Sonolisis dan Fotolisis dengan Penambahan TiO_2 Anatase*, J. Sains Material Indonesia, 11(1) : 47 – 51.
- [6.] Safni, Maizatrisna, Zulfarman, dan T. Sakai, 2007, *Degradasi Zat Warna Naphtol Blue Black Secara Sonolisis dan Fotolisis dengan Penambahan TiO_2 -anatase*, J. Ris. Kim, 1(1) : 43 – 49.
- [7.] Safni, U.Loekman, , dan F. Febrianti, 2008, *Degradasi Zat Warna Sudan I Secara Sonolisis dan Fotolisis dengan Penambahan TiO_2 -anatase*, J. Ris. Kim, 1(2) : 164 – 170.
- [8.] Safni, Zuki Z, Cheri Haryati, dan Maizatrisna, 2008, *Degradasi Zat Warna Alizarin Secara Sonolisis dan Fotolisis dengan Penambahan TiO_2 -anatase*, J. Pilar Sains, 17(1) : 31 – 36.
- [9.] Azkia alma ayesha., Akmal Mukhtar., pepi Helza Yanti., *Degradasi senyawa metanil yellow secara fotokatalitik menggunakan TiO_2 dan HNO_3* ., JOM FMIPA Volume 2 No. 1 Februari 2015

- [10.] Safni, D. F. Wulandari, Zulfarman, Maizatitsna, 2008, *Degradasi Indigo Carmin secara sonolisis dan fotolisis dengan penambahan TiO_2 -anatase*, *J. Sains MIPA*, 14(3). 143 – 149.
- [11.] G, Jarnuzi, 2001, *Fotokatalis Pada Permukaan TiO_2* , Seminar Kimia Fisika II.
- [12.] L. N. Stock, P. Jullie, Vinadgopal, V. K., 2000, *Prashant Combinative Sonolysis & Photocatalysis for Textile Dye Degradation*, *J. Environ. Sci. Technology*, 34: 1747-1750.
- [13.] M. Christina, P. Mu'nisatun, S. Saptaji, R., 2007, *Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Metil Orange dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Bekas Elektron 350 keV/10mA*, *JFN*, Vol. 1. No. 1. 1978-8738.
- [14.] Z. Zhang, C. Wang, R. Zakaria, and J. Y. Ying. 1998. *Role of particle Size in Nanocrystalline TiO_2 -based Photocatalist*. *Journal of Physical and Chemistry B.*, 102; 10871-10878
- [15.] B. Xin, L. Jing, 2005, *Effects of Simultaneously Doped and Deposition Ag on The Photocatalytic Activiti and Surface State of TiO_2* , *Journal of Physical and Chemistry B*, 109; 2805-2809
- [16.] Othani, Bunsho, 1997, *Photocatalytic Activity of Amorphous Anatase Mixture of Titanium Oxide*, *J. Phys. Chem*, 101.3746-3752.
- [17.] Mao, Y and A. Bakac, 1996, *Photocatalytic Oxidation of Toluene to Benzaldehyde by Molecular Oxygen*, *J. Phys. Chem*, 100. 10. p 4219.