

Imobilisasi Fotokatalis Komposit TiO₂- Kitosan Sebagai Pendegradasi Zat Warna *Remazol Yellow Fg*

Siti Latifah, Rosyid Ridho, Ibnatu Fajril Baiti

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas PGRI Banyuwangi. Email korespondensi*: rosyidridho@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan TiO₂-kitosan untuk fotokatalis dan pengujian aktivitas katalitiknya dalam proses fotodegradasi zat warna *Remazol Yellow F.G.* Penelitian ini bertujuan untuk membuat komposit TiO₂-Kitosan, menentukan kondisi optimum, yaitu massa TiO₂-kitosan, waktu optimum dan Konsentrasi *Remazol Yellow FG.* Metode penelitian dimulai dengan re-deasetilasi kitosan serta penentuan derajat deasetilasinya. Tahap kedua adalah pembuatan komposit TiO₂-Kitosan. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan mencampurkan 20 gr Kitosan dengan 2 gr TiO₂ ditambah 50 ml etanol sambil diaduk selama 5 jam. Kemudian disaring dengan kertas saring whatman, endapannya dikeringkan dan dikalsinasi pada suhu 200⁰C selama 10 menit. Pada penelitian ini Komposit TiO₂-kitosan yang terbentuk lalu di karakterisasi menggunakan FTIR (Fourrier Transform Infra Red) untuk mengetahui gugus fungsinya. Hasil dari FTIR menunjukkan bahwa fotokatalis TiO₂- Kitosan telah terbentuk yaitu muncul serapan O-Ti-O pada serapan sekitar 712cm⁻¹.

Sedangkan uji adsorpsi-fotokatalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Uji kemampuan TiO₂-Kitosan dalam proses adsorpsi-fotokatalisis, dilakukan dengan mendekolorisasi larutan zat warna *Remazol Yellow FG.* Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa TiO₂-Kitosan yang optimum yaitu 25 mg, waktu kontak selama 5 jam dan konsentrasi *Remazol Yellow FG* 5 ppm . Pada kondisi optimum tersebut, komposit TiO₂- Kitosan mampu mendekolorisasi zat warna *Remazol Yellow F.G* sebesar 92,98 %, hasil tersebut lebih tinggi daripada adsorben kitosan.

Kata Kunci: fotokatalisis, TiO₂-Kitosan, Remazol Yellow F.G

PENDAHULUAN

Salah satu limbah industri yang menjadi kontributor utama penyebab pencemaran air adalah limbah zat warna yang dihasilkan dari proses pencelupan pada suatu industri tekstil. Limbah zat warna seperti *Remazol Yellow FG* merupakan polutan organik yang sulit didegradasi oleh alam sehingga apabila dibuang ke badan air akan merusak estetika dan meracuni biota air di dalam di dalam badan air tersebut.

Industri tekstil merupakan salah satu bidang yang berkembang pesat di Indonesia. Seiring dengan perkembangannya industri tekstil juga menyebabkan resiko kerusakan lingkungan, karena dalam industri tekstil menggunakan bahan pewarna tekstil buatan. Salah satu pewarna tekstil buatan adalah *Remazol yellow FG*. Salah satu masalah yang paling mengganggu dari limbah industri tekstil adalah kandungan zat warna. Dalam industri tekstil, zat warna merupakan salah satu bahan baku utama, Sekitar 10-15% dari zat warna yang sudah digunakan tidak dapat dipakai ulang dan harus dibuang. Zat warna yang dikandung limbah industri tekstil dapat mengganggu kesehatan, misalnya iritasi kulit dan iritasi mata hingga menyebabkan kanker. Selain itu, zat warna juga dapat menyebabkan terjadinya mutagen (Mathur, 2005).

Untuk mengoptimalkan kemampuan sinar UV dalam degradasi zat warna *Remazol Yellow*, maka perlu digunakan fotokatalis. Titanium dioksida dikenal sebagai fotokatalis yang banyak diterapkan untuk mengatasi masalah lingkungan seperti pencemaran limbah industri yang mengandung zat warna, fenol, dan sebagainya. Penelitian mengenai penghilangan zat warna menggunakan TiO_2 telah banyak dilakukan, diantaranya Endang palupi (2006) yang telah melakukan uji kemampuan fotokatalis TiO_2 dalam menurunkan konsentrasi *Remazol Yellow FG*. Fotokatalis berbasis semikonduktor TiO_2 terbukti mampu menurunkan

konsentrasi *Remazol Yellow* dalam air. Pada tahun 2011 Basuki melakukan penyisihan zat

organik pada air limbah industri batik dengan fotokatalis TiO_2 . Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa efisiensi removal warna mencapai 50% dan removal zat organik mencapai 60%.

Uraian penelitian di atas ternyata masih menyimpan kelemahan yang mengakibatkan kurang maksimal aktivitas TiO_2 dalam menghilangkan senyawa target. Hal ini disebabkan karena TiO_2 serbuk mempunyai sifat menyebar (terdispersi) ke seluruh bagian larutan sehingga menyulitkan untuk melakukan recovery limbah. Partikel atau serbuk TiO_2 yang terdispersi terlalu keruh sehingga dapat menghalangi sinar UV dalam mengaktifkan seluruh partikel TiO_2 . Selain itu TiO_2 tidak memiliki kemampuan mengadsorpsi yang baik

sehingga mengakibatkan proses penguraian fotokatalitik tidak berjalan dengan baik karena peluang kontak TiO_2 dengan polutan kurang maksimal. Untuk menutupi kekurangan tersebut, TiO_2 dapat dimodifikasi dengan mengembangkannya pada suatu material pendukung yang memiliki kemampuan adsorpsi cukup baik (Subechi, 2011). Salah satu yang dapat digunakan untuk kepentingan tersebut adalah kitosan, karena kitosan memiliki kemampuan yang sangat baik dalam adsorpsi polutan organik maupun anorganik. Dengan keberadaannya yang melimpah sebagai limbah cangkang bekicot, kitosan sangat potensial untuk dikembangkan (Aranas dkk, 2009). Adanya fotokatalisis yang termobilisasi dalam kitosan menjadi semakin efektifnya proses adsorpsi sekaligus sebagai degradasi.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan suatu penelitian tentang **Pengaruh Pelapisan Titanium Dioksida (TiO_2) Pada Plat Kaca Terhadap Efektivitas Fotodegradasi *Methyl Orange* Menggunakan Metode Sodis (Solar Disinfection Water)**

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah dan yang digunakan meliputi erlenmeyer, pipet volum, corong gelas, labu ukur, gelas beker, kaca arloji, spatula, neraca analitik, sentrifius, dan spektrofotometri UV-Vis. adalah Remazol yellow FG, Titanium (IV) Isopropoksida, etanol absolut, kitosan, aluminium foil, kertas saring.

Deproteinase

Cangkang bekicot halus ditambahkan NaOH 2 N 1:10 (gr serbuk/ml HCl) dipanaskan pada suhu 90°C selama 1 jam. Kemudian dikeringkan pada suhu $70-80^\circ\text{C}$ selama 24 jam dalam oven.

Demineralisasi

Padatan kering hasil deproteinase selanjutnya didemineralisasi dengan menggunakan larutan HCl 1 N (perbandingan 1:10) dan di aduk pada suhu kamar selama 1 jam. Setelah disaring, padatan dicuci dengan akuades hingga pH-nya netral kemudian dikeringkan pada suhu $70-80^\circ\text{C}$ selama 24 jam dalam oven untuk mendapatkan kitin kering.

Deastilasi

Kitin dimasukkan dalam larutan NaOH 50% dengan perbandingan 1:10 (gr serbuk/ml NaOH) pada suhu $70-80^\circ\text{C}$ sambil diaduk selama 60-90 menit. Kemudian disaring dan endapan yang diperoleh dicuci dengan aquades hingga PH-nya netral. Setelah itu padatan dikeringkan pada suhu $70-80^\circ\text{C}$ dalam oven selama 24 jam. Produk hasil ini disebut kitosan.

Karakterisasi Sintetis Komposit TiO₂ –Kitosan

Pembuatan TiO₂ terimpregnasi pada kitosan dilakukan dengan cara mencampurkan 20 g kitosan dengan 2 g TiO₂ ditambah 50 mL etanol absolut sambil diaduk selama 5 jam. TiO₂-kitosan dikeringkan dalam oven 120 ° C selama 5 jam kemudian ditumbuk dan diayak 200 mesh dan dikalsinasi pada temperatur 200°C selama 3 jam. Padatan yang diperoleh dianalisis dengan FTIR.

Proses Fotodegradasi

Proses fotodegradasi remazol yellow FG dilakukan dengan cara menyinari campuran yang terdiri dari larutan remazol yellow FG dan serbuk fotokatalis TiO₂ - Kitosan dengan lampu UV dalam suatu reaktor tertutup. Lampu UV ini berfungsi sebagai sumber energi foton yang diperlukan agar reaksi fotodegradasi berlangsung. Pada proses tersebut juga dilakukan pengadukan dengan pengaduk magnetik stirer agar semua reaktan dapat bercampur merata sehingga proses fotokatalitik dapat berlangsung efektif. Efektivitas fotodegradasi dinyatakan dengan % remazol yellow FG yang tereduksi, yang dihitung berdasarkan selisih antara konsentrasi remazol yellow FG awal dengan konsentrasi remazol yellow FG sisa atau yang tidak tereduksi. Penentuan konsentrasi Remazol yellow FG yang tidak tereduksi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis yang didasarkan pada kurva standar.

Pembuatan Larutan Induk Zat Warna

Larutan induk zat warna 100 ppm dibuat dengan melarutkan 10 mg *Remazol Yellow* FG dalam 100 ml aquades. Larutan induk ini kemudian digunakan dalam setiap pembuatan zat warna.

Penentuan Panjang Gelombang Optimum Remazol Yellow FG

Larutan Remazol Yellow FG dengan konsentrasi 10 ppm sebanyak 10 mL diukur absorbansinya pada variasi panjang gelombang antara 350– 450 nm dengan spektroskopi UV-VIS untuk mendapatkan panjang gelombang maksimumnya.

Pembuatan Kurva Standar Untuk Spektroskopi UV-VIS

Larutan Remazol Yellow FG dengan variasi 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm (dibuat dengan cara mengencerkan larutan induk dengan aquades) sebanyak 10 mL diukur absorbansinya dengan spektroskopi UV-VIS pada panjang gelombang optimum.

Pengaruh Variasi Massa TiO₂ - Kitosan Terhadap Efektifitas Fotodegradasi Remazol Yellow FG

Pada penelitian ini ditambahkan 5mg, 10mg, 15mg, 20mg, dan 25mg TiO₂ – kitosan

kedalam larutan Remazol Yellow 10 ppm yang kemudian disinari dengan sinar UV dan diaduk dengan magnetic stirer selama 5 jam. Hasil proses fotodegradasi terhadap variasi massa TiO_2 – kitosan. Larutan hasil penyinaran disaring dengan kertas saring Whatman 42. Setelah itu, diukur absorbansinya untuk menentukan massa TiO_2 -Kitosan yang optimum.

Pengaruh Variasi Waktu Kontak Penyinaran Terhadap Efektivitas Fotodegradasi Remazol Yellow Yang Terkatalisis TiO_2 – Kitosan

Larutan Remazol Yellow 10 ppm ditambahkan dengan massa TiO_2 -kitosan yang optimal, kemudian disinari dengan UV dan diaduk dengan magnetik stirrer dengan variasi waktu kontak 1, 2, 3, 4 dan 5 jam. Campuran hasil penyinaran dipisahkan dengan sentrifuge dan disaring dengan kertas saring whatman 42.. Setelah itu, diukur absorbansinya untuk menentukan lama waktu penyinaran yang optimum dari sinar UV.

Pengaruh variasi konsentrasi Remazol Yellow Terhadap Efektivitas Fotodegradasi TiO_2 – Kitosan

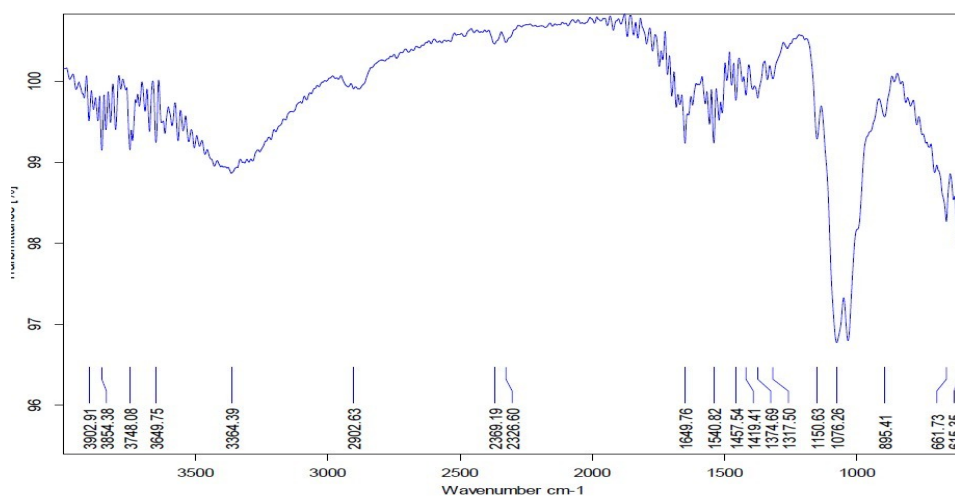
Larutan Remazol Yellow dengan variasi konsentrasi 5, 10, 15, 20, 25 ppm ditambahkan dengan massa TiO_2 -kitosan yang optimal, kemudian disinari dengan UV dan diaduk dengan magnetik stirrer dengan waktu kontak yang optimal. Kemudian campuran hasil penyinaran dipisahkan dengan sentrifuge dan disaring dengan kertas saring whatman 42. Setelah itu, diukur absorbansinya untuk menentukan konsentrasi larutan *Remazol Yellow FG* yang optimum.

PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang preparasi dan karakterisasi TiO_2 – Kitosan serta uji aktifitas sebagai fotokatalis pada proses fotodegradasi *Remazol yellow FG* dengan penyinaran sinar UV.

Analisis FTIR

Analisis FTIR pada kitin dan kitosan dari limbah kulit udang yang di bandingkan dengan kitosan standar di tunjukkan pada gambar 15 di bawah ini:



Gambar 15. Data FTIR Kitosan

Karakterisasi Kitin dari cangkang bekicot ditunjukkan dengan adanya serapan pada bilangan gelombang $895,41\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus (C-H siklo atau ring), $1457,54\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus (C-H blending), $1649,76\text{ cm}^{-1}$ (C=O (NHCOCH₃)), $2902,63\text{ cm}^{-1}$ (C-H stretching), $3364,9$ (O-H dan N-H (-NH₂) amina) sebagai akibat vibrasi ulur gugus OH. Serapan tajam pada bilangan gelombang 862 cm^{-1} memperlihatkan bahwa masih adanya mineral silika pada kitin dengan intensitas lebih rendah.

Sedangkan karakterisasi kitosan dari cangkang bekicot ditunjukkan dengan adanya serapan $861,42\text{ cm}^{-1}$ (C-H siklo atau ring), $1488,50\text{ cm}^{-1}$ (C-H bending (C-H ring; -CH₂-; -CH₃) dan C-C), 3440 cm^{-1} (O-H stretching dan N-H (-NH₂) Amina (kitosan dan kitin), sebagai hasil vibrasi rentangan gugus OH. Lebarnya serapan dan pergeseran gelombang gugus OH ini, di sebabkan tumpang tindih dengan gugus NH dari amina.

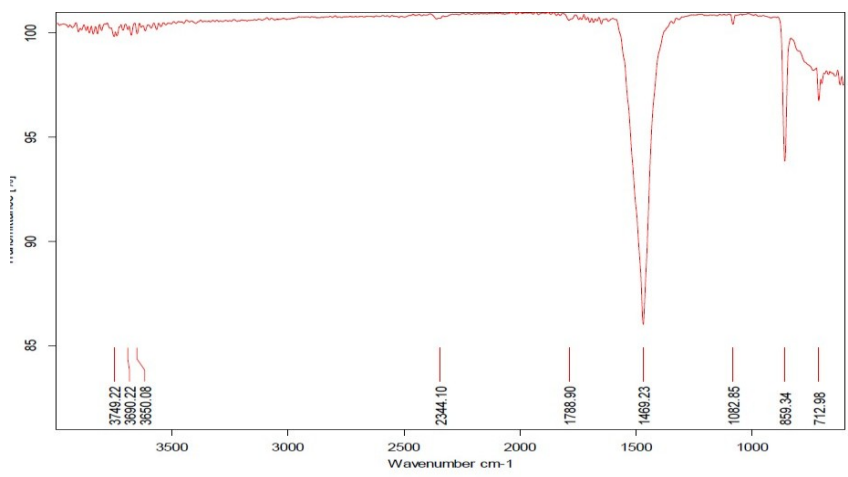
Preparasi Fotokatalis TiO₂-Kitosan

Preparasi TiO₂-Kitosan dilakukan dengan menggunakan 50 gram Kitosan sebagai pengemban dan 5 mg Titanium Dioksida (TiO₂) yang ditambahkan 50 ml etanol. Kemudian di aduk selama 24 jam setelah itu di saring dengan menggunakan kertas Whatman ukuran 42 sehingga diperoleh filtrat dan padatan. Padatannya di keringkan dan di kalsinasi pada suhu 200°C .

Karakterisasi Fotokatalis TiO₂ –Kitosan

Serbuk TiO₂-kitosan dikarakterisasi dengan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam serbuk TiO₂-kitosan dan menentukan spektrum O-Ti-O. Dari hasil

interpretasi gugus fungsi spectra inframerah dapat dilihat bahwa pada semua serbukTiO₂-kitosan muncul serapan di daerah sekitar (3000–3750) cm⁻¹, ini menandakan bahwa terdapat gugus hidroksil (-OH) dan NH₂ (amin primer) yang merupakan gugus aktif pada kitosan. Spektrum serapan dapat dilihat pada Gambar 17 .



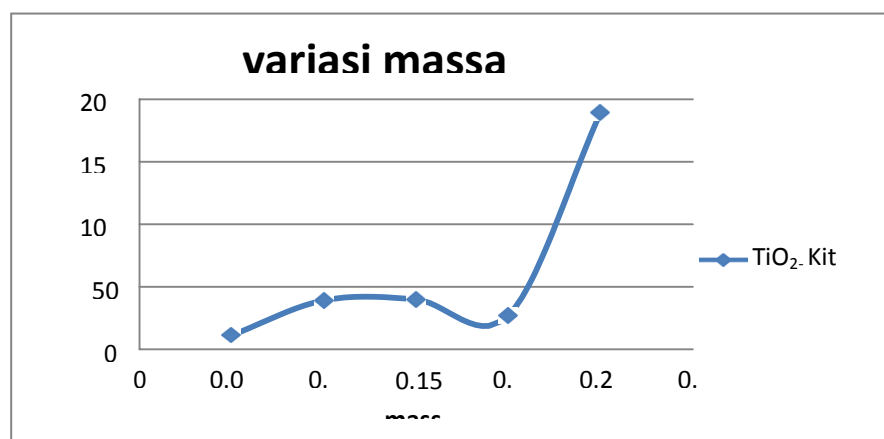
Gambar 17. Data FTIR TiO₂ – kitosan

Pada daerah serapan 2344 cm⁻¹ muncul serapan yang menandakan adanya vibrasi rentangan -CH (metilen). Pada daerah serapan sekitar 1469 cm⁻¹ muncul serapan yang mengindikasikan adanya gugus metil (-CH₃) dan (-CH) di daerah 1082 cm⁻¹. Pada daerah serapan sekitar 1788 cm⁻¹ muncul serapan menandakan adanya vibrasi tekuk -NH amida. Berdasarkan data di atas, dapat juga dilihat serapan O-Ti-O. Pada TiO₂-kitosan variasi serapan O-Ti-O muncul pada serapan sekitar 712 cm⁻¹.

Aplikasi Fotokatalis TiO₂-Kitosan Sebagai pendegradasi *Remazol yellow FG*

Proses fotodegradasi *Remazol Yellow FG* dilakukan dengan cara menyinari campuran *Remazol Yellow FG* dengan serbuk TiO₂- Kitosan dengan penyinaran menggunakan sinar UV dan dilakukan dengan 3 tahap variasi yaitu variasi massa TiO₂, penyinaran optimum dan variasi konsentrasi *Remazol Yellow FG*. Efektivitas fotodegradasi dinyatakan dengan % *Remazol Yellow FG* terdegradasi yang dihitung berdasarkan selisih antara konsentrasi *Remazol Yellow FG* mula-mula dengan konsentrasi *Remazol Yellow* sisa atau yang tak terdegradasi. Penentuan konsentrasi *Remazol Yellow FG* yang tidak tereduksi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometri UV-VIS. Proses fotodegradasi terkatalisis TiO₂ yaitu proses degradasi yang diinduksi oleh energi foton atau cahaya ultraviolet dan dipercepat oleh TiO₂ sebagai fotokatalis. Penggunaan fotokatalis TiO₂ pada fotodegradasi *Remazol Yellow FG* Penentuan Massa TiO₂ - kitosan Optimum dengan Sinar UV Penentuan

massa optimum dilakukan dengan menambahkan variasi massa TiO_2 - Kitosan 5mg, 10mg, 15mg, 20mg, dan 25mg ke dalam erlenmeyer yang berisi larutan *remazol yellow FG* dengan konsentrasi 10 ppm, kemudian disinari dengan sinar UV selama 5 jam. Setelah proses penyinaran dilakukan penyaringan dengan kertas Whatman 42 untuk pemisahan filtrat dari padatan fotokatalis. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis untuk menentukan konsentrasi *Remazol Yellow FG* sisa atau tidak terdegradasi. Pada penelitian ini menggunakan fotokatalis TiO_2 -Kitosan sehingga dapat diketahui efektivitas fotokatalis yang paling optimum dalam proses degradasi *Remazol Yellow FG*. Data penentuan massa TiO_2 – Kitosan optimum dengan penyinaran sinar UV ditunjukkan pada Gambar 18Berikut:



Gambar 18. Pengaruh massa TiO_2 -Kitosan terhadap % Degradasi *Remazol Yellow FG*

Dari gambar di atas terlihat bahwa semakin banyak massa TiO_2 -Kitosan maka efektivitas fotodegradasi *Remazol Yellow FG* semakin tinggi, hal ini karena dengan

meningkatnya jumlah TiO_2 -Kitosan berarti semakin banyak pula sisi aktif permukaan TiO_2 - sehingga jumlah foton yang dapat diabsorpsi dan jumlah molekul zat warna yang dapat diabsorpsi semakin meningkat. Peningkatan jumlah foton yang dapat diabsorpsi menyebabkan semakin banyak elektron (e^-) pada pita valensi (Valence band, VB) yang akan tereksitasi ke pita konduksi (Conduction band, CB), dengan meninggalkan lubang positif (hole, h^+). Lubang positif yang terbentuk berinteraksi dengan air / ion OH^- menghasilkan radikal hidroksil (OH), dimana radikal hidroksil inilah yang nantinya akan mendegradasi molekul zat warna. Sedangkan dengan meningkatnya jumlah molekul zat warna yang dapat diadsorpsi pada permukaan katalis akan meningkatkan efisiensi proses degradasi.

Penentuan Waktu Penyinaran Optimum dengan SinarUV

Penentuan waktu penyinaran optimum dilakukan dengan menambahkan 25 mg fotokatalis ke dalam erlenmeyer yang berisi larutan *Remazol Yellow FG* dengan konsentrasi

10 ppm, kemudian disinari dengan sinar UV selama 1, 2, 3, 4 dan 5 jam. Kemudian disaring untuk memperoleh padatan fotokatalis dan dianalisis dengan UV-Vis untuk menentukan konsentrasi *Remazol Yellow FG* sisa atau tidak terdegradasi. Pada penelitian ini menggunakan fotokatalis TiO_2 -Kitosan sehingga dapat diketahui efektivitas fotokatalis yang paling optimum dalam proses degradasi *remazol yellow FG*. Di bawah ini data penentuan penyinaran optimum dengan menggunakan sinar matahari ditunjukkan pada Gambar 19 Berikut:



Gambar 19. Pengaruh waktu penyinaran sinar matahari terhadap % Degradasi *Remazol Yellow FG* dengan fotokatalis TiO_2 -Kitosan

Dari gambar di atas terlihat bahwa persen % terdegradasi terbesar terletak pada penyinaran UV selama 5 jam. Penurunan zat warna semakin besar seiring dengan bertambahnya waktu penyinaran. Hal ini dikarenakan semakin lama penyinaran sinar UV, maka semakin banyak elektron yang terus tereksitasi sehingga semakin banyak pula h^+ yang terbentuk. Semakin banyak h^+ maka radikal hidroksil juga akan semakin banyak yang akan berperan dalam proses fotodegradasi zat warna *Remazol Yellow FG*.



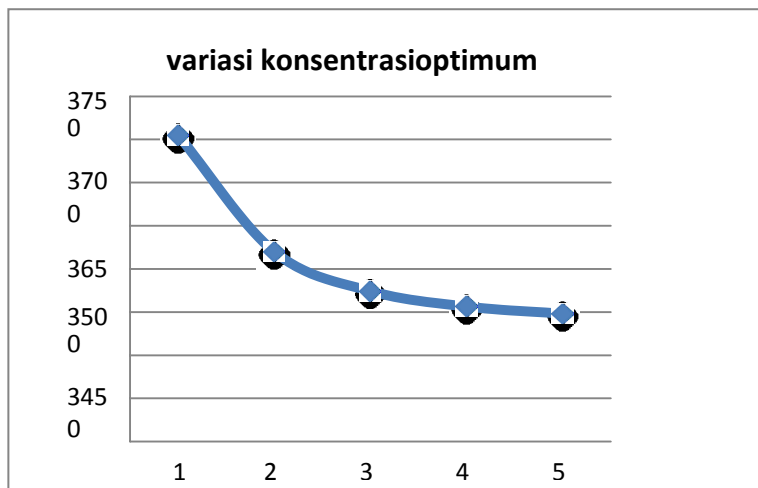
Dari analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa waktu penyinaran berpengaruh signifikan terhadap tingkat fotodegradasi zat warna *Remazol Yellow FG* dan waktu optimum adalah sebesar 5 jam.

Pengaruh Konsentrasi Awal Remazol Yellow FG terhadap Efektivitas Fotodegradasi

***Remazol Yellow FG* Terkatalisis TiO_2 -Kitosan dengan Penyinaran Sinar UV**

Pengaruh konsentrasi awal larutan *Remazol Yellow FG* dengan penyinaran sinar UV menggunakan fotokatalis Di bawah ini data penentuan konsentrasi optimum dengan

menggunakan sinar UV ditunjukkan pada Gambar 20Berikut:



Gambar 20. Pengaruh konsentrasi terhadap % Degradasi *Remazol Yellow FG* dengan fotokatalis TiO_2 -Kitosan

Gambar diatas menjelaskan. Pada awal konsentrasi *Remazol Yellow FG* yaitu 5 – 10 ppm mengalami degradasi sangat tinggi . Hal ini dikarenakan pada larutan zat warna dengan konsentrasi tinggi, sinar UV diserap lebih banyak oleh molekul zat warna daripada oleh partikel TiO_2 sehingga mengurangi konsentrasi $\cdot\text{OH}$ dan $\text{O}_2\cdot$ Dan menyebabkan penurunan efisiensi dari reaksi katalitik. Oleh karena konsentrasi *Remazol Yellow FG* yang didegradasi secara maksimum pada proses fotokatalitik ini adalah sebesar 5 ppm.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang kami dapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Variasi massa TiO_2 -kitosan yang optimum terdapat pada massa 25 mg, karena terdegradasi paling signifikan sehingga didapatkan massa optimum sebanyak 25mg.
2. kondisi degradasi fotokatalitik zat warna *Remazol Yellow FG* adalah menggunakan waktu radiasi selama 5jam.
3. Semakin tinggi konsentrasi maka efektivitas degradasi semakin rendah. Konsentrasi larutan zat warna *Remazol Yellow FG* yang didegradasi secara maksimal adalah 5ppm

Saran

Sebagai upaya pengembangan penelitian ini, perlu dilakukan analisis dengan menggunakan media lain untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Christie, R.M. 2001. Colour Chemistry RSC Paperback, The Royal Society of Chemistry, UK.
- Hakala, T.K. 2007. *Characterization Of The Lignin-Modifying Enzymes of The Selective White-Rot Fungus Physisporinus Rivulosus*. Disertasi. Department of Applied Chemistry and Microbiology. University of Helsinki.
- Hoffman, M.R., S.T. Martin, W.J. Choi, D.W. Bahnemann. 1995, **Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis**, *Chem.Rev.*, 95, Hal 69-96.
- Linsebigler, A.L., G. Lu, J.T. Yates. 1995, **Photocatalysis on TiO₂ Surfaces: Principles, Mechanism, and Selected Result**, *Chem. Rev.*, 95, Hal 735-758.
- Martins, C.R; G. Ruggeri dan M.A.D. Paoli. 2003 Synthesis in Pilot Scale and Physical Properties of Sulfonated Polystyrene Vol.14 No.5 : 797 -802
- Mattioli, D., Malpei, F., Bortone, G., and Rozzi, A. 2002. "Water Minization and Reuse In Textile Industry: Analysis, Technologies And Implementation". IWA Publishing, Cornwall, UK.
- Park, N.G., G. Schlichthorl, J. Van de Lagemaat, H.M. Cheong, A. Mascarenhas, A.J. Frank. 2004, **Morphological and Photoelectrochemical Characterization of Core-Shell Nanoparticle Film for Dye-Sensitized Solar Cells: Zn-O Type Shell on SnO₂ and TiO₂ Cores**, *Langmuir.*, 20, Hal 4246-4253.
- Odian, G. 1988, Synthesis and characterization of cross – Linked Sulfonated Pinto, B.P; L.C.S. Maria dan M.E.Sena. 2006 Sulfonated Polyb(Ether Imide) : a Versatile Route to Prepare Functionalized Polymers by Homogenous Sulfonation. Elsevier. 61 : 2540 – 2543.
- Sastrawidana, I D. K. 2009. *Isolasi bakteri dari Lumpur Limbah Tekstil dan Aplikasinya untuk Pengolahan Limbah Tekstil Menggunakan System Kombinasi Anaerob-Aerob*. Disertasi Doktor Ilmu Lingkungan (Spesialisasi Pencemaran Lingkungan). IPB: Bogor.
- Zhou, N.C ; W.R. Burghardt dan K.I. Winey. 2006. Phase Behaviour Of Sulfonated Polystyrene Systems. U.S : Army Research Office.
- Hoffman, M.R ., *et al.* environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis. *Chem. Rev.*, (1995), 95, 69-96. Kabra, k., R. Chaudhary, R.L. Swahney. Treatment of Hazardous Organic and Inorganic Compound through Aqueous-Phase Photocatalysis: A Review. *Ind. Eng. Chem. Res.*, (2004), 43, 7683-7696.

Brugnerotto *et al.*, 2001; Ming *et al.*, 2001; Fernandes *et al.*, 2004; Gyliene *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2006; Khan *et al.*, 2002; Tretenichenko *et al.*, 2006.