

Sintesis Granul TiO_2 - Fe_2O_3 -Bentonit/Alginat Untuk Fotodegradasi Metil Jingga dengan Sinar UV

Ida Rahmawati^{1*} dan Sri Wardhani², Siti Mutrofin³

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan ilmu pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145

Abstrak

Sintesis Granul TiO_2 - Fe_2O_3 -Bentonit/Alginat dilakukan untuk mendegradasi metil jingga dengan sinar UV. TiO_2 dimodifikasi dengan menambahkan dopan Fe dan diimbangkan ke bentonit. Sintesis Granul TiO_2 - Fe_2O_3 -Bentonit/Alginat dibuat dengan komposisi Fe dalam TiO_2 - Fe_2O_3 dengan perbandingan mol 97:1, 97:2, dan 97:3 yang diimpregnasikan ke dalam bentonit. Fotokatalis hasil sintesis dikarakterisasi dengan FT-IR dan XRD. Fotokatalis sebanyak 100 mg diuji aktivitasnya menggunakan 25 mL larutan metil jingga 10 mg/L. Parameter fotodegradasi yang dilakukan adalah pengaruh konsentrasi Fe (0,001 mol/g; 0,002 mol/g, dan 0,003 mol/g), lama penyinaran (1; 1,5; 2; 2,5, dan 3 jam), dan Variasi pH (2, 3, 5, 7, 9, 11). Filtrat larutan metil jingga setelah degradasi diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada $\lambda = 464$ nm untuk menentukan konsentrasi metil jingga. Karakterisasi dengan FT-IR menunjukkan adanya serapan Ti—O—Ti pada bilangan gelombang $436,42\text{ cm}^{-1}$ dan serapan Fe—O bilangan gelombang $517,71\text{ cm}^{-1}$. Karakterisasi dengan XRD diketahui struktur TiO_2 adalah anatase dan rutil pada $2\theta = 25,30^\circ$ dan $27,43^\circ$ serta terdapat nilai $2\theta = 33,50^\circ$ yang menunjukkan pola difraksi Fe_2O_3 . Uji aktivitas menunjukkan dopan Fe dapat meningkatkan aktivitas degradasi TiO_2 . Uji pengaruh konsentrasi Fe, lama penyinaran, dan pH menghasilkan konsentrasi Fe 0,001 mol/g memiliki aktivitas degradasi optimum sebesar 15,9%, lama penyinaran optimum selama 2 jam sebesar 22,7%, dan pH optimum pada pH 3 sebesar 44%.

Kata kunci: Bentonit, Fotokatalis, Metil Jingga, TiO_2 - Fe_2O_3

Abstract

Synthesis of TiO_2 - Fe_2O_3 -Bentonit/Alginat granules was carried out to degrade methyl orange in solution with UV rays. TiO_2 was modified by adding dopant Fe as dopant which then impregnated into bentonite. Synthesis of TiO_2 - Fe_2O_3 -Bentonit/Alginat granules was prepared with a composition of Fe in TiO_2 - Fe_2O_3 with molar ratio of 97:1, 97:2, dan 97:3. The photocatalysts were characterized using FT-IR and XRD. Activity of 100 mg photocatalysts was tested in a 25 mL of 10 mg/L methyl orange solution. Degradation of methyl orange was carried out by irradiation using UV rays. The filtrate of methyl orange solution after degradation was measured by UV-Vis Spectrophotometer at $\lambda = 464$ nm to determine the concentration of methyl orange. Characterization by FT-IR showed that there was absorption band at a wave number of 436.42 cm^{-1} which indicated Ti—O—Ti 517.71 cm^{-1} which shows the presence of Fe—O absorption. Characterization using XRD showed that the structure of TiO_2 is anatase and rutile ($2\theta = 25.30^\circ$ and 27.43°) and the presence of Fe-oxide was confirmed by peak at 2θ of $33,50^\circ$. The activity test result showed that Fe dopant can increase the degradation activity of TiO_2 . Effect of Fe concentration, irradiation time, and pH. The result of a Fe concentration of 0,001 mol/g having the optimum degradation activity of 15.9%, the optimum irradiation time for 2 hours of 22%, dan optimum pH at pH 3 of 44%.

Keywords: Bentonite, Methyl Orange, Photocatalyst, TiO_2 - Fe_2O_3

PENDAHULUAN

Metil jingga adalah salah satu dari zat warna azo yang digunakan dalam industri tekstil. Zat warna azo bersifat karsinogenik dan sulit didegradasi yang ketika dibuang ke lingkungan dapat menyebabkan kerusakan ekosistem[1]. Zat terkandung dalam limbah cair, sehingga diperlukan adanya pengolahan limbah cair terlebih dahulu sebelum limbah cair dibuang ke

lingkungan. Pengolahan limbah cair dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti dengan menggunakan membrane filtrasi, adsorpsi, eletrolisis pertukaran ion, pengendapan, dan pemanfaatan fotokatalis[2,3].

Fotokatalis merupakan substansi semikonduktor yang dapat diaktifkan secara kimiawi dengan radiasi sinar. Pada prosesnya fotokatalis akan mengalami reaksi redoks

Alamat Korespondensi Penulis:

Ida Rahmawati

Email : Rahmaida4621@gmail.com

Alamat : Jl. Veteran 37, 65145

(reduksi-oksidasi) sehingga memiliki fotoaktivitas. Penelitian – penelitian telah banyak dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis fotokatalis seperti ZnO, CdS, SnO₂, dan TiO₂. Penggunaan fotokatalis yang paling efektif dalam skala industri adalah TiO₂ dikarenakan mampu menurunkan konsentrasi zat warna sebesar 85 – 95%[4,5]. Degradasi zat warna oleh fotokatalis dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis fotokatalis, adanya dopan, pH larutan, konsentrasi larutan, konsentrasi fotokatalis, lama penyinaran, serta sumber sinar yang digunakan[5,6].

Titanium dioksida (TiO₂) telah banyak digunakan hingga saat ini sebagai salah satu teknologi remediasi untuk mendegradasi polutan dari udara dan air. Penggunaan TiO₂ dilakukan sebagai alternatif pada teknologi terapan karena adanya aktivitas foton yang superior dengan efek toksisitas yang rendah dan biaya yang murah[7]. Pada saat ini telah dilakukan modifikasi TiO₂ untuk meningkatkan sifat fotokatalitiknya. Modifikasi dapat dilakukan dengan menambahkan dopan logam atau non-logam[8]. Penambahan dopan logam seperti Cr, Mn, Fe, dan Co dapat meningkatkan aktivitas TiO₂ di bawah sinar UV[9].

Pengembangan TiO₂ pada mineral juga dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik dari TiO₂ serta dapat menjadikan fotokatalis sebagai adsorben[10]. Pembentukan TiO₂ menjadi granul dengan menggunakan alginat dapat dilakukan untuk meningkatkan aktivitas dari fotokatalis. Selain itu, bentuk granul dari fotokatalis memudahkan pemisahan fotokatalis dengan metil jingga[11].

Pada penelitian ini dilakukan sintesis fotokatalis Granul TiO₂-Fe₂O₃-Bentonit Alginat untuk degradasi metil jingga yang diharapkan dapat digunakan pada limbah cair terutama limbah cair tekstil. Parameter yang diamati dalam prosesnya antara lain, pengaruh adanya dopan, pengaruh konsentrasi Fe, pengaruh lama penyinaran, pengaruh jenis sinar, dan pengaruh pH terhadap aktivitas degradasi fotokatalis. Hasil sintesis dikarakterisasi dengan menggunakan FT-IR dan XRD.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan – bahan yang dibutuhkan antara lain, Bentonit, H₂SO₄, Akuades, TiO₂ *Farmasi*, FeCl₃·6H₂O, Natrium Alginat, Metil Jingga *Merck*, CaCl₂, HCl, NaOH.

Alat – alat yang dibutuhkan antara lain, seperangkat alat gelas, kertas saring, pemanas,

pengaduk magnet, pH meter, penggerus porselen, ayakan 200 mesh, oven *Fischer Scientific Isoterm* 655F, neraca analitik *Ohaus*, tanur 6000, spektrofotometer UV-Vis 1601 (*Shimadzu*), spektrofotometer FT-IR Merk 8400S *Shimadzu*, X-Rays Diffraction *PANalytical*, lampu UV *Evaco* 10 watt ($\lambda = 365$ nm), aluminium foil, dan Software match.

Prosedur

Aktivasi Bentonit

Bentonit di giling dengan menggunakan mortar kemudian diayak dengan ayakan 200 mesh. Sebanyak 50 g bentonit yang lolos ayakan dicampur dengan H₂SO₄ 1 M 100 mL dalam gelas kimia 250 mL kemudian ditutup dengan aluminium foil. Campuran dikocok menggunakan pengocok selama 2 jam dengan kecepatan 120 rpm. Campuran dicuci dengan akuades hingga pH filtrat sama dengan pH akuades. Filtrat dipisahkan dari endapan kemudian endapan di keringkan dalam oven pada suhu 120°C hingga kering. Endapan dipanaskan dalam tanur pada temperatur 500°C selama 5 jam. Karakterisasi dengan FTIR.

Sintesis TiO₂-Fe₂O₃

TiO₂-Fe₂O₃ dibuat dengan perbandingan mol TiO₂ : mol FeCl₃·6H₂O (97 : 1; 97 : 2, dan 97 : 3). Padatan TiO₂ sebanyak 7,7 g dimasukkan kedalam 20 mL larutan FeCl₃·6H₂O. Campuran diaduk dan dipanaskan dengan pengaduk magnet pada temperatur 110°C. Campuran dipanaskan dalam oven pada temperatur 120°C selama 1 jam. Padatan di panaskan dalam tanur pada temperatur 600°C selama 2 jam. Fotokatalis dengan perbandingan yang lain dengan cara yang sama. Karakterisasi dengan XRD dilakukan pada fotokatalis dengan perbandingan 97 : 1. Semua fotokatalis dikarakterisasi dengan FTIR.

Impregnasi TiO₂-Fe₂O₃-Bentonit

TiO₂-Fe₂O₃-Bentonit dibuat dengan mencampurkan 1,8 g TiO₂-Fe₂O₃ kedalam 3 g bentonit teraktivasi. Etanol sebanyak 10 mL ditambahkan kedalam gelas kimia yang berisi campuran padatan. Campuran di aduk dengan menggunakan pengaduk magnet selama 5 jam. Campuran dikeringkan pada temperatur 120°C selama 5 jam. Padatan dipanaskan dalam tanur selama 5 jam pada temperatur 500°C.

Sintesis TiO₂-Fe₂O₃-Bentonit Alginat.

TiO₂-Fe₂O₃-Bentonit/Alginat dibuat dengan 1 natrium alginat yang dilarutkan dalam 13 mL akuades. Fotokatalis TiO₂-Fe₂O₃-Bentonit

ditambahkan ke dalam nya dan diaduk hingga tercampur. Granul dibuat dengan diinjeksikan ke dalam larutan Kalsium Klorida 10%. Komplek $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Bentonit}$ yang terbentuk dipisahkan dan dikeringkan pada temperatur 120°C hingga kering. Granul $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Bentonit/Alginat}$ (97:1) dikarakterisasi dengan menggunakan FT-IR.

Uji Fotokatalis

Uji Pengaruh Dopan

Uji pengaruh dopan dilakukan dengan menggunakan 25 mL larutan metil jingga 10 ppm dan 100 mg fotokatalis granul $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Bentonit}$ Alginat (97:1) dan fotokatalis granul $\text{TiO}_2\text{-Bentonit}$. Larutan metil jingga yang berisi granul di sinari dengan sinar UV selama 2 jam. Filtrate dipisahkan dari fotokatalis dengan menggunakan kertas saring. Filtrat di ukur absorbansi dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 464 nm. Uji fotokatalis dilakukan duplo.

Uji Pengaruh Konsentrasi FeCl_3 dalam TiO_2 Terhadap Aktivitas Degradasi Metil Jingga

Uji pengaruh konsentrasi Fe dilakukan dengan menggunakan 25 mL larutan metil jingga 10 ppm dan 100 mg fotokatalis granul $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Bentonit}$ Alginat (97:1; 97:2; dan 97:3). Larutan metil jingga yang berisi granul di sinari dengan sinar UV selama 1 jam. Filtrat di ukur absorbansi dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 464 nm. Uji dilakukan duplo.

Uji Pengaruh Lama Penyinaran

Uji pengaruh lama penyinaran dilakukan dengan menggunakan 25 mL larutan metil jingga 10 ppm dan 100 mg fotokatalis granul $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Bentonit}$ Alginat (97:1). Larutan metil jingga yang berisi granul di sinari dengan sinar UV selama 1; 1,5; 2; 2,5; dan 3 jam. Filtrat di ukur absorbansi dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 464 nm. Uji dilakukan duplo.

Uji Pengaruh pH

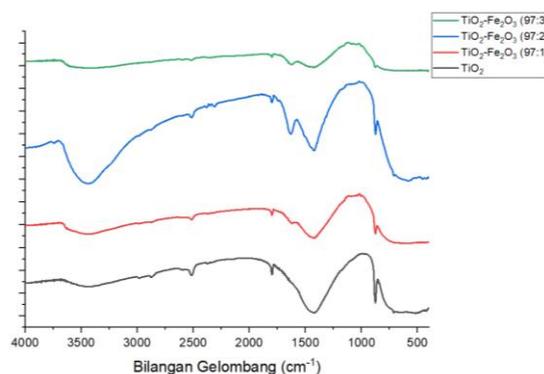
Uji pengaruh pH dilakukan dengan menggunakan 25 mL larutan metil jingga 10 ppm dan 100 mg fotokatalis granul $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Bentonit}$ Alginat (97 : 1). Larutan metil jingga dikondisikan pada pH 2, 3, 5, 7, 9, dan 11. Larutan metil jingga yang berisi granul di sinari dengan sinar UV selama 2 jam. pH filtrat diukur dan disamakan dengan pH kurva baku. Filtrat yang telah diatur pH nya di ukur absorbansi dengan menggunakan

Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 464 nm. Uji dilakukan duplo.

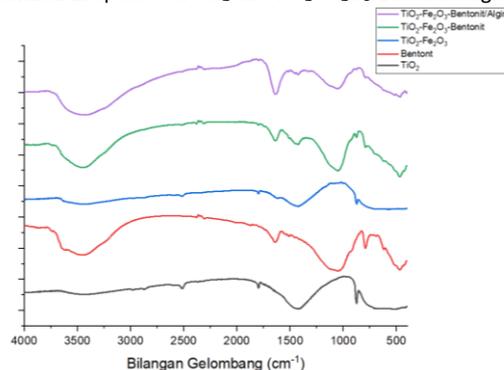
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi dengan FT-IR

Karakterisasi TiO_2 , $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Bentonit}$, dan Granul $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Bentonit/Alginat}$ dengan menggunakan FT-IR diperoleh serapan pada bilangan gelombang $3451,43\text{ cm}^{-1}$, $1635,86\text{ cm}^{-1}$, serapan oleh gugus -OH pada permukaan TiO_2 yang mengalami vibrasi ulur dan tekuk[12]. Serapan pada bilangan gelombang $1055,40\text{ cm}^{-1}$ Si-O dari bentonit yang mengalami vibrasi ulur[13]. Adanya serapan pada bilangan gelombang $791,55\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya serapan oleh Ti_2O fasa anatase, dan serapan pada bilangan gelombang $517,71\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya serapan oleh gugus Fe oksida[14,15].



Gambar 1. Spektra IR TiO_2 dan $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Bentonit}$ Alginat.



Gambar 2. Spektra IR Bentonit, TiO_2 , $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Bentonit}$, dan Granul $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Bentonit}$ Alginat.

Seperti yang terlihat pada Tabel.1, terjadi pergeseran panjang gelombang serapan TiO_2 yang terjadi karena adanya dopan logam selain itu terbentuk puncak serapan baru. Pergeseran panjang gelombang terjadi karena adanya substitusi Ti(IV) dengan Fe(III) yang menyebabkan elektron pada orbital $3d^64s^2$ dapat menyerap foton sehingga transmisi meningkat dan terjadi pergeseran serapan pada puncak spesifik[16].

Tabel 1. Data Serapan FT-IR [14–16]

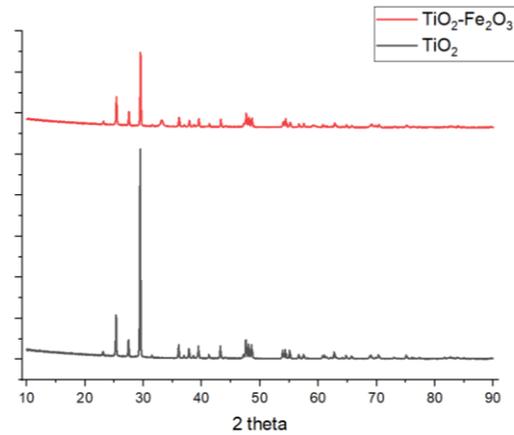
| Bentonit (Cm ⁻¹) | TiO ₂ (Cm ⁻¹) | TiO ₂ -Fe ₂ O ₃ Bentonit (Cm ⁻¹) | TiO ₂ -Fe ₂ O ₃ Bentonit/Alginat (Cm ⁻¹) | Interpretasi |
|------------------------------|--------------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| - | 430,72 | 436,42 | - | Vibrasi gugus Ti—O |
| 469,22 | - | - | 469,22 | Vibrasi tekuk dari Si—O—Si |
| - | - | 579,04 | - | Vibrasi Fe—O |
| 618,98 | - | - | 617,55 | Vibrasi tekuk dari Al—O—Si |
| - | 707,40 | 707,40 | 705,97 | Vibrasi Ti—O—Ti |
| 794,40 | - | - | 791,55 | Simetri Si—O—Si |
| 1049,69 | - | - | 1051,12 | Vibrasi ulur gugus Si—O |
| - | - | 1620,18 | - | Vibrasi gugus Fe—O |
| 1644,42 | - | - | 1644,42 | Vibrasi tekuk gugus —OH |
| - | 2515,84 | 2515,84 | - | Serapan Ti—O |
| 3464,27 | 3442,87 | 3435,74 | 3444,30 | Vibrasi ulur gugus —OH |
| 3618,30 | - | - | - | Vibrasi ulur gugus —OH pada permukaan |

Karakterisasi TiO₂-Fe₂O₃ dengan Difraksi X-Ray (XRD)

Karakterisasi XRD pada TiO₂-Fe₂O₃ menunjukkan beberapa nilai 2θ = 25,30°, 27,43°, dan 36,96° yang menunjukkan fasa anatase pada TiO₂ (JCPDS NO. 21-1227) dan berdasarkan JCPDS

No. 39-1346 nilai 2θ = 33, 50°, 36°, 39°, dan 50° menunjukkan difraksi karena adanya Fe₂O₃[15].

Analisis dengan *Software Match* telah dilakukan dan dihasilkan bahwa TiO₂ yang terkandung memiliki struktur anatase dan rutil, sedangkan Fe₂O₃ yang terbentuk memiliki struktur hematit, dan maghemit.



Gambar 3. Pola difraksi X-Rays TiO₂ dan TiO₂-Fe₂O₃.

Tabel 2. Perbandingan 2θ [17]

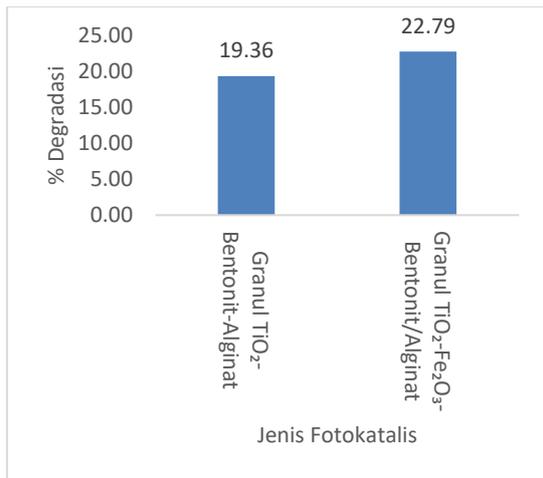
| 2θ | |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Sampel Fe ₂ O ₃ | Sampel TiO ₂ |
| 25,30 | 25,30 |
| 27,43 | 27,43 |
| 36,00 | |
| 36,03 | 36,03 |
| 37,78 | 37,79 |
| 39,43 | |
| | 41,24 |
| 48,04 | 48,04 |
| 53,88 | 53,90 |
| 54,32 | 54,32 |
| 56,61 | |
| 57,43 | |
| | 62,70 |
| 64,69 | |

Uji Fotokatalis

Pengaruh Dopan terhadap Aktivitas Degradasi Fotokatalis

Hasil uji pengaruh dopan menunjukkan adanya peningkatan aktivitas degradasi dari fotokatalis, seperti pada Gambar. 4 dengan nilai standar deviasi 0,005 untuk Granul TiO₂-Bentonit/Alginat dan 0,0035 untuk Granul TiO₂-Fe₂O₃-Bentonit/Alginat. Kenaikan persentase degradasi terjadi karena adanya penurunan

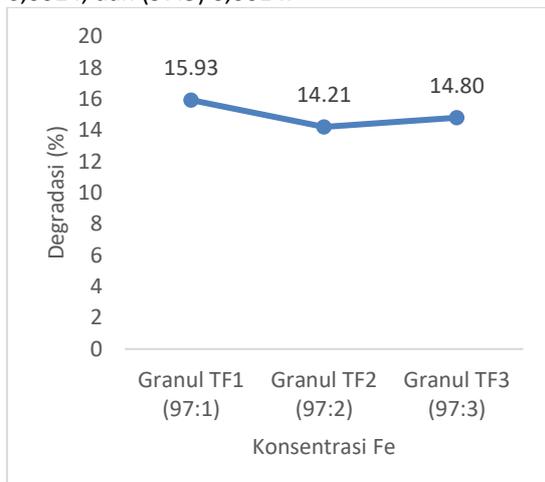
bandgap dari fotokatalis TiO_2 [9] sehingga energi yang dibutuhkan oleh elektron untuk mengalami eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi lebih sedikit. Ketika energi yang lebih sedikit dibutuhkan elektron untuk mengalami eksitasi, maka akan mempercepat terjadinya eksitasi elektron sehingga semakin banyak radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) (reaksi no. 7) dan superperoksida yang terbentuk ($\bullet\text{O}_2^-$) seperti pada reaksi no. 3.(9).



Gambar 4. Kurva hubungan antara jenis fotokatalis dan degradasi (%)

Pengaruh Konsentrasi FeCl_3 Terhadap Aktivitas Degradasi Fotokatalis

Uji pengaruh konsentrasi Fe didapatkan hasil degradasi terbesar dengan menggunakan granul TiO_2 - Fe_2O_3 Bentonit Alginat perbandingan (97 : 1) sebesar 15,93 % dan mengalami penurunan pada konsentrasi Fe yang lebih besar dengan nilai standar Deviasi (97:1) 0,0049. (97:2) 0,0014, dan (97:3) 0,0014.

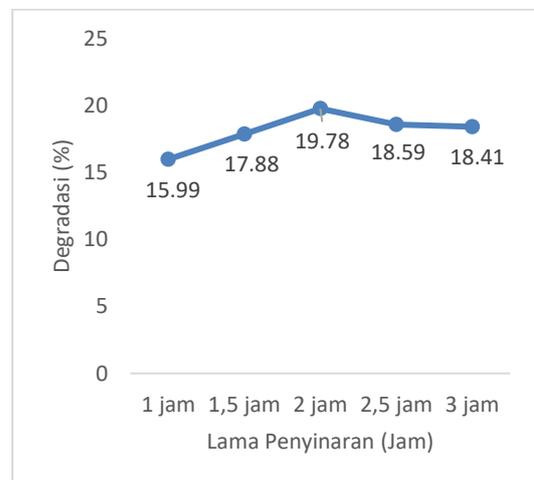


Gambar 5. Kurva hubungan antara konsentrasi mol (mol/g) dan degradasi (%)

Penurunan persentase degradasi dari metil jingga dikarenakan terjadinya perubahan fasa kristal TiO_2 dari anatase menjadi rutil karena adanya difusi ion Fe^{3+} ke kisi TiO_2 [18]. Selain itu, terjadinya sintering karena terlalu banyak logam Fe yang di gunakan sehingga menurunkan permukaan efektif dari TiO_2 . Uji statistik menunjukkan nilai F hitung > F tabel dan uji BNT menunjukkan bahwa konsentrasi Fe tidak berpengaruh secara signifikan terhadap aktivitas degradasi fotokatalis.

Pengaruh Lama Penyinaran Terhadap Aktivitas Degradasi Fotokatalis

Uji pengaruh lama penyinaran menunjukkan bahwa waktu optimum degradasi metil jingga adalah 2 jam. Degradasi metil jingga mengalami kenaikan dari menit ke 60, 90, dan 120 (19,78%). Pada penyinaran 150 dan 180 menit mengalami penurunan degradasi metil jingga yaitu sebesar 18,59 % dan 18,41 % dengan nilai standar deviasi 0,0014 (60 menit), 0,004 (90 menit), 0,0056 (120 menit), 0 (150 menit), dan 0,0007 (180 menit). Hal ini terjadi akibat dari semakin lama dilakukan penyinaran maka energi dari Sinar UV yang diserap akan semakin besar dan suhu akan naik. Kenaikan suhu dapat menguapkan akuades yang berfungsi sebagai pelarut sehingga zat warna mengalami pemekatan[19].

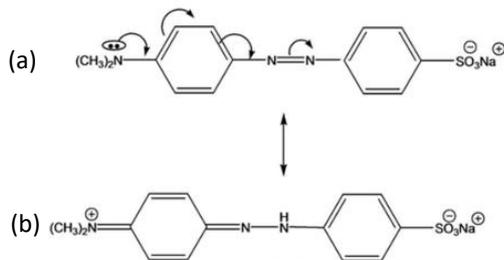


Gambar 6. Kurva hubungan antara lama penyinaran dan degradasi (%)

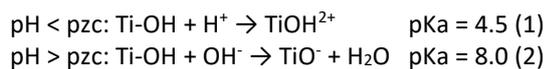
Pengaruh pH Terhadap Aktivitas Degradasi Aktivitas Fotokatalis

Uji pengaruh pH terhadap aktivitas degradasi fotokatalis menunjukkan bahwa degradasi terbesar terjadi pada metil jingga pH 3 sebesar 44, 047 % (Gambar.6) dengan nilai standar deviasi 0,0021. Hal ini terjadi dikarenakan

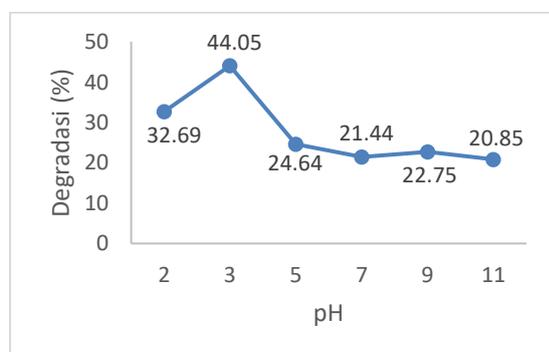
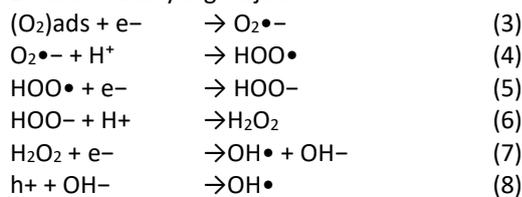
metil jingga merupakan salah satu zat warna anionik yang pada pH asam akan membentuk struktur anionnya seperti pada Gambar 7. dan TiO₂ pada keadaan asam akan membentuk struktur kation (reaksi 1)[20] sehingga proses adsorpsi metil jingga oleh TiO₂ maksimal. Selain itu, fotokatalis Fe₂O₃ pada keadaan asam akan berbentuk kation dimana hal ini juga meningkatkan adsorpsi metil jingga oleh Fe₂O₃[19,21].



Gambar 7. Struktur Metil Jingga Pada Keadaan a) Basa (Kuning), b) Asam (Merah)(22)



Ketika dalam kondisi asam H⁺ yang terkandung akan semakin banyak. Adanya H⁺ akan bereaksi dengan radikal superperoksida ($\bullet\text{O}_2^-$) yang akan membentuk H₂O₂ dalam reaksi. Adanya H₂O₂ yang terbentuk akan meningkatkan aktivitas degradasi dari fotokatalis karena semakin banyak radikal hidroksil yang terbentuk ($\text{OH}\bullet$)[21]. Berikut reaksi yang terjadi :



Gambar 4. Kurva hubungan pH metil jingga dan degradasi (%)

KESIMPULAN

Sintesis Granul TiO₂-Fe₂O₃-Bentonit telah dilakukan. Hasil karakterisasi dengan Ft-IR menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang karena adanya ion logam yang tersubstitusi ke kisi TiO₂. Hasil XRD menunjukkan adanya pola difraksi Fe₂O₃ pada 2θ 36°. Adanya dopan dapat meningkatkan aktivitas degradasi dari fotokatalis Granul TiO₂-Bentonit. Hasil degradasi optimum terjadi ketika pH metil jingga berada pada pH asam dengan lama penyinaran selama 2 jam yaitu sebesar 44,047 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh staff Laboratorium Anorganik dan Instrumen Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya dan Laboratorium Sentral Ilmu Hayati, Universitas Brawijaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Risca Fraditasari, Sri Wardhani*, dan MMK. Degradasi Methyl Orange Menggunakan Fotokatalis TiO₂-N : Kajian Pengaruh Sinar Dan Konsentrasi TiO₂-N. *Kim Student Journal*. 2015;1(1):606–12.
- [2] Sarkar S, Banerjee A, Halder U, Biswas R, Bandopadhyay R. Degradation of Synthetic Azo Dyes of Textile Industry: a Sustainable Approach Using Microbial Enzymes. *Water Conservation Science Engineering*. 2017;2(4):121–31.
- [3] Selvaraj V, Swarna Karthika T, Mansiya C, Alagar M. An over review on recently developed techniques, mechanisms and intermediate involved in the advanced azo dye degradation for industrial applications. *Journal of Molecular Structur*. 2021;1224:129195.
- [4] Ohama Y, Gemert D Van. 2011. Application of Titanium Dioxide Photocatalysis to Construction Materials. Springer Science+Business Media. London
- [5] Weldegebrieal GK. Synthesis method, antibacterial and photocatalytic activity of ZnO nanoparticles for azo dyes in wastewater treatment: A review. *Inorganic Chemistry Communications*. 2020;120(July):108140.
- [6] Kiriakidou F, Kondarides DI, Verykios XE. The effect of operational parameters and TiO₂-doping on the photocatalytic

- degradation of azo-dyes. *Catalysis Today*. 1999;54(1):119–30.
- [7] Dionysios D Dionysiou, Puma GL, Ye J, Schneider J, Bahnemann D. 2016. Photocatalysis Application. The Royal Society of Chemistry. Cambridge
- [8] Moma J, Baloyi J. Modified Titanium Dioxide for Photocatalytic Applications. *Photocatalysts Applications and Attributes*. 2018:13.
- [9] Foura G, Chouchou N, Soualah A, Kouachi K, Guidotti M, Robert D. Fe-doped TiO₂ supported on HY zeolite for solar photocatalytic treatment of dye pollutants. *Catalysts*. 2017;7(11).
- [10] Rayendra AF, Wardhani S, Tjahjanto RT. Pengaruh Komposisi TiO₂-Bentonit Terhadap Degradasi Metilen Biru. *Kimia Student Journal*. 2014;2(2):555–61.
- [11] Kurniawan MA, Wahyuningrum IR, Angraini D. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Alginat/Zeolit/Fe-Zn Sebagai Salah Satu Material Pupuk Penyimpan Fe dan Zn. *IJCR-Indonesian Journal of Chem Research*. 2018;4 (1-2):31–7.
- [12] Ganesh I, Kumar PP, Gupta AK, Sekhar PSC. Preparation and characterization of Fe-doped TiO₂ powders for solar light response and photocatalytic applications. *Processing and Application of Ceramics*. 2013;(May 2014):20–36.
- [13] Danková Z. Desalination and Water Treatment Influence of ultrasound irradiation on cadmium cations adsorption by montmorillonite. *Desalination and Water Treatment* 2014;(August 2015).
- [14] Kumar MRA, Abebe B, Nagaswarupa HP, Murthy HCA. Enhanced photocatalytic and electrochemical performance of applications in dye decolorization and as supercapacitors. *Scientific Report*. 2020;1–16.
- [15] Iqbal RM, Wardani DAP, Hakim L, Damsyik A, Safitri R, Fansuri H. The Structural and Optical Band Gap Energy Evaluation of TiO₂-Fe₂O₃ Composite. *IOP Conference Series: Material Science and Engineering*. 2020; 833:0-8
- [16] Marami MB, Farahmandjou M, Khoshnevisan B. Sol–Gel Synthesis of Fe-Doped TiO₂ Nanocrystals. *Journal of Electronic Materials*. 2018;47(7):3741–8.
- [17] Phomma S, Wutikhun T, Kasamechonchung P, Eksangsri T. applied sciences Effect of Calcination Temperature on Photocatalytic Activity of Synthesized TiO₂ Nanoparticles via Wet Ball Milling Sol-Gel Method. *Applied Science*. 2020;1-13
- [18] Mathews NR, Cortes Jacome MA, Angeles-Chavez C, Toledo Antonio JA. Fe doped TiO₂ powder synthesized by sol gel method: structural and photocatalytic characterization. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2015;26(8):5574–84.
- [19] Wardhani S, T. RT, Deka PT, Jannah AR. 2015. Sintesis Fotokatalis Fe₂O₃-Zeolit Untuk Uji Fotodegradasi Zat Warna Jingga Metil. Prosiding SEMIRATA 2015 Bid MIPA BKS-PTN Barat. Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- [20] Wardhani S, Purwonugroho D, Fitri CW, Prananto YP. Effect of pH and irradiation time on TiO₂-chitosan activity for phenol photo-degradation. *AIP Conference Proceedings*. 2018:1–7.
- [21] Aziztyana AP, Wardhani S, Prananto YP, Purwonugroho D, Darjito. Optimisation of Methyl Orange Photodegradation Using TiO₂-Zeolite Photocatalyst and H₂O₂ in Acid Condition. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;546(4).