

Uji Aktivitas Fotokatalis Genteng Berglasir Silika/TiO₂ terhadap Degradasi Larutan Indigo Carmine, Metanil Yellow Dan Rhodamin

Maranti Sianita^a, Choiril Azmiyawati^a, Adi Darmawan^{a*}

^a Inorganic Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50275

* Corresponding author: adidarmawan@live.undip.ac.id

Article Info

Keywords:
photocatalytic,
glaze, Indigo
carmine, Methyl
Yellow, Rhodamine

Kata kunci:
fotokatalitik, glasir,
Indigo carmine,
Metil Yellow,
Rhodamine

Abstract

The mixing of silica and TiO₂ and its use as catalysts has been investigated. The purpose of this study was to test the photocatalytic activity of silica/TiO₂ glaze roof to degrade dyes, such as indigo carmine, rhodamine and methyl yellow. The glaze was made by mixing the soda ash, borax, glass powder as the source of silica and TiO₂ functioned as the photocatalyst. Calcination was conducted at 900°C. The photocatalyst activity of the resulting glaze was performed by degradation using three different dyes. The dyes were flowed on the silica/TiO₂ glaze surface for 1, 2, 3, and 4 hours. The change in dye concentration was measured by a UV-VIS spectrophotometer. The results showed that glaze production of tile could be conducted by adding TiO₂ mixture on glaze. Photocatalytic results showed indigo carmine degradation was 74.58%, methyl yellow 16.08% and rhodamine 47.56%.

Abstrak

Pencampuran silika dan TiO₂ dan penggunaan sebagai katalis telah diteliti. Tujuan dari penelitian ini adalah pengujian aktivitas fotokatalitik dari atap glasir silika/TiO₂ untuk mendegradasi zat warna, seperti indigo carmine, rhodamin dan methyl yellow. Glasir dibuat dengan mencampur abu soda, boraks, serbuk kaca yang dikenal sebagai sumber silika dan TiO₂ yang difungsikan sebagai fotokatalis. Pembakaran dilakukan dua kali pada 900°C. Aktivitas fotokatalis dari glasir yang dihasilkan dilakukan dengan uji kinerja degradasi menggunakan tiga pewarna berbeda. Pewarna dialirkan pada permukaan glasir silika / TiO₂ selama 1, 2, 3, dan 4 jam. Perubahan konsentrasi zat warna diukur dengan spektrofotometer UV-VIS. Hasil penelitian menunjukkan produksi glasir genteng dapat dilakukan dengan menambahkan campuran TiO₂ pada glasir. Hasil fotokatalitik menunjukkan degradasi indigo carmine adalah 74,58%, methanyl yellow 16,08% dan rhodamin 47,56%.

1. Pendahuluan

Penelitian yang mengkaji tentang penggunaan campuran silika/TiO₂ sebagai katalis telah banyak dilakukan. Kebanyakan campuran silika TiO₂ digunakan untuk membantu mempercepat reaksi yang melibatkan sinar UV atau yang lebih dikenal dengan proses fotokatalis. Penelitian tersebut antara lain degradasi metil yellow dan rhodamin menggunakan katalis lempung terpillar SiO₂/TiO₂ [1, 2], degradasi larutan metil orange menggunakan fotokatalis nanopartikel TiO₂/SiO₂

[3] dan adsorpsi dan dekomposisi larutan organik volatil oleh serbuk SiO₂/TiO₂. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa campuran silika/TiO₂ dapat digunakan sebagai fotokatalis, yaitu mampu mendegradasi zat warna dengan bantuan sinar UV. Selain itu, TiO₂ dapat digunakan sebagai pereduksi emisi gas buang khususnya gas NO_x dan CO, dengan prinsip fotokatalis. Fotokatalis merupakan suatu reaksi kimia yang melibatkan sinar UV dan katalis padat.

Penelitian [4] membuktikan bahwa di bawah sinar UV, mikroba akan mati ketika bersentuhan dengan senyawa titanium oksida. Sinar ultraviolet akan mengeksitasi elektron di permukaan partikel titanium oksida dan memicu reaksi dengan molekul air di permukaan partikel. Hasilnya adalah campuran radikal hidroksil dan ion superoksida potensial, produk reaktif yang membunuh sel dengan merusak membran sehingga semua isinya akan keluar. Titanium dioksida dapat digunakan sebagai fotokatalis karena merupakan semikonduktor yang memiliki celah energi yang cocok untuk membentuk beberapa reaksi kimia. Celah energi TiO_2 mengakibatkan padatan ini mengabsorpsi radiasi elektromagnetik pada daerah UV dekat (*near UV*) [5].

Karena sifat fotokatalis tersebut, TiO_2 secara luas digunakan pada berbagai aplikasi di kehidupan sehari-hari. Pada beberapa tahun terakhir, penelitian tentang fotokatalis beralih kepada pemanfaatan TiO_2 sebagai bahan campuran untuk material bangunan. Dengan adanya TiO_2 pada material bangunan menyebabkan material bangunan memiliki efek *self-cleaning* dan *self-sterilizing* pada permukaan material bangunan tersebut yang akibatnya dapat mendegradasi beberapa kontaminan organik di lingkungan sekitarnya. Baik polutan *outdoor* maupun *indoor* dalam hal ini dapat dikurangi dengan peran pasif dari material bangunan. Pada tahun 2008, Tobaldi dkk. [6] memanfaatkan TiO_2 untuk dicampur pada adonan genteng dan digunakan untuk mendegradasi larutan *indigo carmine*.

Genteng merupakan salah satu properti rumah yang dibuat dengan bahan dasar lempung. Genteng bermutu baik apabila memenuhi sejumlah persyaratan, di antaranya adalah memiliki kuat tekan yang tinggi dan daya serap air yang rendah [7]. Sejauh ini pembuatan genteng umumnya hanya meliputi pencetakan dan pembakaran genteng serta pengglasiran genteng. Pengglasiran dilakukan untuk melapisi permukaan genteng agar genteng tampak mengkilap dan memiliki warna yang bagus, selain itu juga untuk mengurangi daya serap genteng terhadap air.

Glasir merupakan material yang terdiri dari beberapa bahan tanah atau batuan silikat yang dengan proses pembakaran akan melebur menjadi satu pada permukaan badan keramik. Glasir merupakan kombinasi seimbang dari salah satu atau lebih oksida basa (*fluks*), oksida asam (silika), dan oksida netral (alumina), ketiga bahan tersebut merupakan bahan utama pembentuk glasir yang dapat disusun dengan berbagai komposisi untuk suhu kematangan glasir yang dikehendaki. Dalam pengertian yang sederhana, untuk membuat glasir diperlukan tiga bahan utama, yaitu: silika yang berfungsi sebagai unsur pengglas (pembentuk kaca), alumina yang berfungsi sebagai unsur penguat, dan flux yang berfungsi sebagai unsur pelebur atau peleleh untuk menurunkan temperatur lebur bahan-bahan glasir [8].

Penambahan TiO_2 dalam bahan pembuat glasir akan menyebabkan glasir mempunyai manfaat tambahan sebagai fotokatalis. Dengan berfungsi sebagai fotokatalis diharapkan genteng dengan disinari

matahari dapat membersihkan polutan di udara. Ditambahkannya TiO_2 pada glasir didasarkan pada pertimbangan bahwa TiO_2 mempunyai kemampuan untuk membunuh bakteri dan polutan lain di udara dengan bantuan sinar UV. Genteng berada di atap rumah yang selalu terkena sinar matahari maka dengan adanya TiO_2 pada genteng, bila genteng terkena sinar matahari reaksi fotokatalis dapat terjadi dan polutan yang terdapat pada udara dapat berkurang.

Dalam penelitian ini diuji aktivitas fotokatalis dari genteng yang telah dilapisi glasir silika/ TiO_2 terhadap beberapa zat warna, yaitu *indigo carmine*, *metanil yellow*, dan *rhodamin*. Ketiga zat warna tersebut diatas digunakan untuk mewakili polutan udara, karena sangat sulit menganalisis persentase pengurangan konsentrasi kontaminan udara secara langsung. Oleh sebab itu, perlu dicari zat lain yang lebih mudah dianalisis persentase pengurangannya, maka pada penelitian ini digunakan zat warna sebagai model untuk menguji aktivitas fotokatalis dari genteng berglasir silika/ TiO_2 . Penelitian ini bertujuan menguji kemampuan degradasi dari genteng berglasir silika/ TiO_2 terhadap beberapa zat warna, meliputi *indigo carmine*, *rhodamin*, dan *metanil yellow*.

2. Metode Penelitian

Bahan dan Alat

Genteng, bahan-bahan kimia teknis seperti TiO_2 , Natrium tetraborat, Na_2CO_3 , silika dari kaca, akuades, larutan *indigo carmine*, *metanil yellow*, dan *rhodamin*. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: peralatan gelas, oven, ayakan 100 mesh, timbangan listrik, *furnace*, pompa akuarium, dan spektrofotometer UV Vis.

Pengglasiran Genteng

Sampel berupa genteng diglasir dengan campuran silika, soda ash, boraks, dan TiO_2 dengan perbandingan silika : Soda abu : boraks : titanium dioksida = 1 : 1,5 : 1 : 0,02. Campuran digerus hingga halus kemudian sampel genteng difurnace pada suhu 900°C selama 3,5 jam.

Uji Kemampuan Fotokatalis Genteng

Aktivitas fotokatalis genteng berglasir silika/ TiO_2 diteliti berdasarkan kemampuannya dalam mendegradasi larutan warna *indigo carmine*, *metanil yellow*, dan *rhodamin*. Pengujian dilakukan di bawah sinar matahari dengan reaktor fotokatalis yang telah berisi larutan zat warna masing-masing sebanyak 4 L dengan konsentrasi 1 ppm untuk *metanil yellow*, *rhodamin*, dan *indigo carmine* selama 1, 2, 3, dan 4 jam. Larutan zat warna di tempatkan dalam suatu wadah kemudian dialirkan ke atas permukaan genteng menggunakan aerator aquarium. Perubahan konsentrasi larutan warna setiap jam dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Hasil pembacaan absorbansi dikonversi ke konsentrasi dengan bantuan larutan standar masing-masing zat warna. Sebagai pembanding dibuat juga reaktor menggunakan genteng tanpa glasir dan diberi perlakuan yang sama.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengglasiran Sampel Genteng

Bahan penyusun glasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah silika (SiO_2), Natrium tetraborat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), Soda abu (Na_2CO_3), dan TiO_2 teknis. Sumber silika yang digunakan adalah botol kaca bekas transparan (tidak berwarna) jenis soda gamping (*soda-lime glass*). Kaca yang digunakan tidak berwarna karena dengan tidak adanya warna maka akan lebih sedikit mengandung oksida-oksida logam atau garam sehingga reaksi dapat berjalan sempurna. Botol kaca bening yang sudah dibersihkan dari pengotor kemudian dihaluskan dan disaring dengan ukuran 100 mesh. Tujuan penghalusan adalah untuk menyeragamkan ukuran serbuk kaca. Selain itu agar hasil lelehan kaca sempurna dan seragam. Boraks dan Soda abu termasuk ke dalam oksida basa (*flux*), digunakan untuk menurunkan titik lebur serbuk kaca (silika) (oksida asam) dari 1.610°C – 1.710°C menjadi sekitar 900°C , sehingga akan menghemat penggunaan energi. Penambahan TiO_2 dimaksudkan untuk memberikan efek fotokatalitik.

Dalam penelitian ini digunakan genteng yang sudah jadi atau genteng yang telah dibakar terlebih dahulu. Hal ini disebabkan karena penggunaan glasir pada genteng *single firing* akan membutuhkan perlakuan yang lebih khusus, karena benda mentah dalam keadaan kering akan sangat rapuh dan apabila diglasir akan cepat menyerap air, yang dapat menyebabkan benda mentah tersebut retak dan hancur. Bila menggunakan *double firing*, silika untuk bahan glasir akan meleleh dengan lebih sempurna.

Hasil pengglasiran pada permukaan genteng walaupun menghasilkan genteng yang mengkilap dan permukaannya halus namun tidak terlalu sempurna, yaitu warna glasir yang dihasilkan adalah hitam, masih terdapat *crazing* dan *pinhole*. Menurut Chavarria [8], warna glasir yang tidak muncul dengan baik disebabkan karena lapisan glasir terlalu tipis, sementara terjadinya *crazing* (retak seribu) disebabkan karena penyusutan larutan glasir tidak sesuai, pembakaran glasir di bawah temperatur bakarnya, dan *pinhole* (lubang-lubang kecil) diakibatkan oleh pembakaran glasir yang terlalu cepat.

Selain itu, warna glasir yang gelap juga disebabkan oleh adanya karbon yang menempel pada permukaan glasir selama proses pembakaran. Hal ini disebabkan proses pembakaran yang kurang stabil dan tidak sempurna sehingga karbon yang berasal dari bahan bakar (gas) menempel pada permukaan glasir dan menyebabkan warna glasir menjadi hitam.

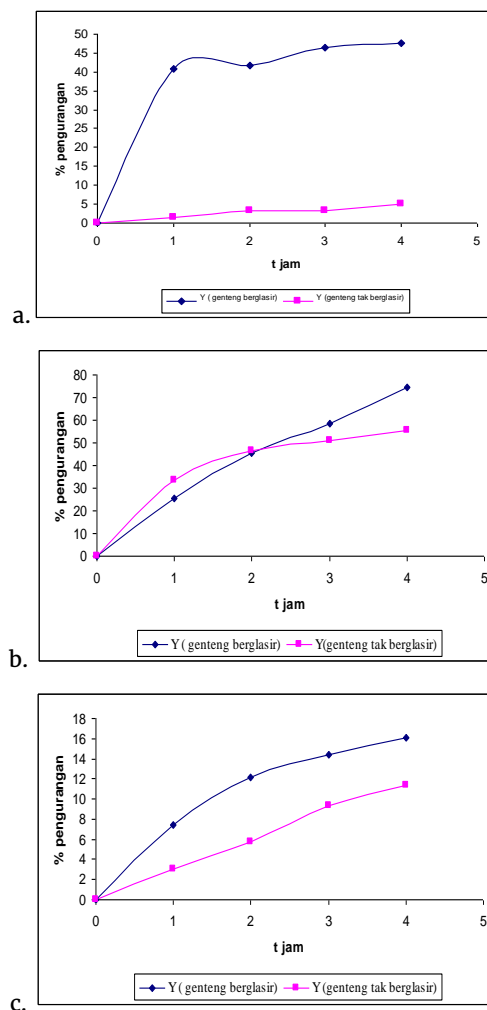
Uji Aktifitas Fotokatalis Genteng Berglasir Silika/ TiO_2 terhadap zat warna *indigo carmine*, *metanil yellow* dan *rhodamin*.

Penambahan TiO_2 sebagai bahan glasir dilakukan dengan mencampurkan serbuk TiO_2 ke dalam campuran bahan-bahan glasir lain yaitu silika, boraks, dan soda ash, kemudian dilapiskan pada permukaan genteng dan dibakar pada suhu 900°C .

Aktivitas fotokatalis TiO_2 dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satu yang terpenting adalah bentuk kristalnya. TiO_2 memiliki tiga macam bentuk kristal yaitu anatase, rutil, dan brokit. Namun hanya anatase dan rutil yang memiliki aktivitas fotokatalis. Bentuk kristal anatase diamati terbentuk pada pemanasan TiO_2 bubuk mulai dari suhu 120°C dan mencapai sempurna pada suhu 500°C . Pada suhu 700°C mulai terbentuk kristal rutil [9]. Pada suhu 900°C diperkirakan seluruh serbuk TiO_2 berbentuk kristal rutil sehingga masih memiliki karakter fotokatalis.

Menurut Wijaya dkk. [10] reaksi fotodegradasi terkatalisis memerlukan empat komponen utama, yaitu: sumber cahaya (foton), senyawa target, oksigen dan fotokatalis. Dalam penelitian ini, sumber cahaya berasal dari cahaya matahari, senyawa target adalah larutan zat warna *Indigo Carmine*, *Rhodamin*, dan *Metanil Yellow*, oksigen dari gas O_2 sebagai penangkap elektron dan glasir silika/ TiO_2 sebagai fotokatalis.

Fotodegradasi zat warna dilakukan di ruang terbuka (terkena sinar matahari). Radiasi cahaya UV berperan sebagai foton yang dapat menghasilkan radikal OH⁻ yang memiliki potensial oksidasi yang besar untuk molekul organik.

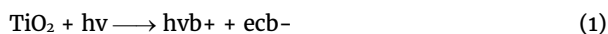


Gambar 1. Grafik persentase pengurangan konsentrasi zat warna terhadap waktu (a) *Rhodamin* (b) *indigo carmine* dan (c) *metanil yellow*

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa dengan penambahan TiO₂ pada glasir menyebabkan glasir berfungsi sebagai fotokatalis. Hal ini terbukti dari persentase pengurangan konsentrasi zat warna yang dialirkan pada permukaan genteng berglasir silika/TiO₂ lebih besar dibandingkan dengan genteng yang tidak berglasir. Genteng berglasir silika/TiO₂ lebih mampu mendegradasi zat warna.

Dari ketiga grafik di atas dapat dilihat juga bahwa dengan semakin lamanya waktu kontak glasir silika/TiO₂ dengan larutan zat warna maka% pengurangan konsentrasi zat warna akan semakin besar. Degradasi zat warna menggunakan fotokatalis TiO₂ terjadi melalui proses absorpsi zat warna ke permukaan partikel fotokatalis yang secara simultan disertai dengan proses oksidasi fotokatalitik terhadap zat warna. Menurut Gunlazuardi [11], h⁺ pada permukaan TiO₂ merupakan spesi oksidator kuat, karenanya akan mengoksidasi spesi kimia lainnya yang mempunyai potensial redoks lebih kecil, termasuk dalam hal ini molekul air dan atau gugus hidroksil yang akan menghasilkan radikal hidroksil.

Mekanisme fotokatalis semikonduktor TiO₂ dengan adanya bantuan sinar UV dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada saat Silika/TiO₂ terkena radiasi sinar UV yang memiliki energi yang bersesuaian atau bahkan melebihi energi celah pita dalam oksida titan tersebut, di dalam fotokatalis akan terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi yang akan menghasilkan e⁻, dan menyebabkan adanya kekosongan atau hole (h⁺) yang berperan sebagai muatan positif [12]. Reaksi menurut [13]Banerjee (2006) adalah sebagai berikut :



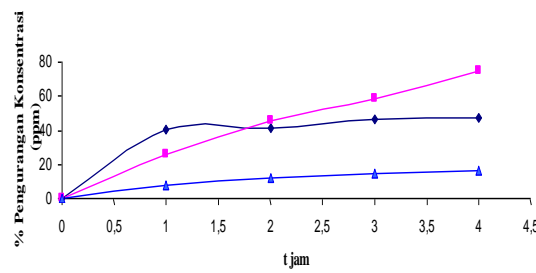
Selanjutnya hole (h⁺) akan bereaksi dengan hidroksida logam yaitu hidroksida oksida titan membentuk radikal hidroksida logam yang merupakan oksidator kuat untuk mengoksidasi zat warna. Untuk elektron yang ada pada permukaan semikonduktor akan terjebak dalam hidroksida logam dan dapat bereaksi dengan penangkap elektron yang ada dalam larutan misalnya H₂O atau O₂, membentuk radikal hidroksil (.OH) atau superoksida (.O₂⁻) yang akan mengoksidasi zat warna dalam larutan. Radikal-radikal ini akan terbentuk terus-menerus selama glasir silika/TiO₂ masih dikenai radiasi sinar UV dan akan menyerang zat warna yang ada di permukaan katalis sehingga zat warna mengalami degradasi.



Jadi dengan bertambahnya radiasi sinar UV maka foton yang mengenai glasir silika/TiO₂ akan semakin banyak sehingga zat warna yang terdegradasi akan semakin banyak. Molekul yang dihasilkan dari degradasi zat warna oleh TiO₂ akan teradsorpsi dan teroksidasi kembali oleh radikal hidroksil terus menerus hingga proses radiasi berakhir. Dalam penelitian ini glasir silika/TiO₂ dengan bantuan sinar matahari juga dapat

menghasilkan radikal hidroksil yang akan bertindak sebagai agen pengoksidasi kuat, yang mampu mendegradasi zat warna.

Pada permukaan glasir silika/TiO₂ terjadi adsorpsi dari molekul-molekul zat warna. Sehingga absorpsi dari zat warna yang telah dialirkan di atas glasir menurun dibandingkan dengan sampel genteng tanpa glasir silika/TiO₂. Keberadaan TiO₂ sebagai fotokatalis tentu saja memiliki peranan yang sangat penting dalam reaksi fotodegradasi zat warna, karena dengan adanya TiO₂ dapat menjadi katalis dalam terbentuknya radikal OH⁻ yang berperan dalam degradasi zat warna.



Gambar 2. Grafik perbandingan persentase pengurangan zat warna terhadap waktu

Setiap zat warna mempunyai serapan warna pada panjang gelombang yang berbeda-beda. Pada pengukuran menggunakan spektrofotometer menunjukkan bahwa gelombang maksimum yang paling besar dimiliki oleh indigo carmine, yaitu pada panjang gelombang 580 nm, sedangkan untuk rhodamin dan metanil yellow masing-masing mempunyai panjang gelombang 540 nm dan 480 nm.

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara konsentrasi sebelum dan setelah proses degradasi. Pada pengukuran persentase degradasi didapatkan persentase senyawa indigo carmine sebesar 74,58% dan rhodamin sebesar 47,56%. Sedangkan metanil yellow menunjukkan persentase degradasi yang paling kecil yaitu sebesar 16,08%. Hal ini sesuai dengan penelitian [1] yang menyatakan katalis TiO₂ kurang signifikan dalam mendegradasi Metil yellow. Namun hasil persentase degradasi untuk indigo carmine dan rhodamin pada penelitian ini tidak sesuai dengan penelitian [14], di mana pada penelitian ini persentase degradasi TiO₂ terhadap indigo carmine lebih besar dibandingkan dengan persentase degradasi TiO₂ terhadap rhodamin.

Pada penelitian [14], dinyatakan bahwa persentase degradasi TiO₂ terhadap rhodamin lebih besar dibandingkan persentase degradasi indigo carmine. Rhodamin lebih mudah didegradasi oleh TiO₂ dibandingkan dengan metanil yellow dan indigo carmine karena perbedaan struktur molekul ketiga zat warna tersebut. Zat warna indigo carmine dan metanil yellow memiliki struktur memanjang sedangkan rhodamin memiliki struktur yang cenderung rapat. Hal ini dimungkinkan akan mempengaruhi mudahnya zat warna ini masuk ke dalam pori TiO₂ dan kemudian akan bereaksi dengan radikal OH⁻ dan menyebabkan zat

warna terdegradasi. Molekul zat warna yang merapat cenderung mempunyai ukuran yang lebih kecil sehingga akan mudah masuk ke dalam pori-pori gelasir. Sedangkan *indigo carmine* dan *metanil yellow* mempunyai ikatan memanjang dan mempunyai molekul yang besar pula sehingga sukar masuk ke dalam pori-pori gelasir. Pernyataan ini kurang tepat, karena rhodamin sebenarnya memiliki struktur yang cukup meruah, yaitu tersusun dari beberapa cincin aromatis yang menyatu. Hal ini mengakibatkan radikal OH^- lebih sulit untuk mendegradasi rhodamin.

Faktor lain yang menyebabkan perbedaan hasil penelitian adalah kondisi lingkungan ketika melakukan penelitian yaitu perbedaan sumber cahaya UV yang digunakan. Pada penelitian Saefudin, sumber UV yang digunakan adalah lampu ultraviolet, sedangkan pada penelitian ini menggunakan sinar matahari. Selain itu pada penelitian Saefudin TiO_2 diimpregnasikan pada lempung. Perbedaan lainnya adalah luas permukaan katalis yang digunakan, hal ini menyebabkan perbedaan besarnya persentase degradasi zat warna.

Metanil yellow mempunyai tingkat degradasi yang paling kecil karena dipengaruhi gugus azo pada struktur molekulnya. Gugus azo ($\text{N}=\text{N}$) pada zat warna *metanil yellow* akan mudah putus dikarenakan gugus benzene yang mengapitnya merupakan penarik elektron yang baik. Gugus N mempunyai pasangan elektron bebas sehingga akan mampu menarik molekul air. Zat warna *metanil yellow* mempunyai gugus yang kemungkinan dapat mengikat molekul air yang paling banyak, yaitu pada gugus azo pada bagian tengah dan pada gugus N-H. Karena mengikat banyak molekul air ini maka zat warna *metanil yellow* akan lebih sulit masuk ke dalam pori-pori gelasir dan akan lebih sulit terdegradasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa genteng yang dilapisi gelasir silika/ TiO_2 memiliki aktivitas sebagai fotokatalis dan kemampuan degradasi dari genteng bergelasir silika/ TiO_2 terhadap zat warna indigo carmine sebesar 74,58% , metanil yellow 16,08%, dan rhodamin sebesar 47,56%.

5. Referensi

- [1] Siwi Harning Pambudi, Pengaruh Surfaktan CTMA-Br (Setiltrimetilamonium-Bromida) Pada Sintesis Lempung Terpilar $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ Serta Aplikasinya Sebagai Fotokatalis Degradasi Metanil Yellow, Jurusan Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang
- [2] Ryzkyningtyas Kusumawardani, Pengaruh Surfaktan Dodesilamin pada Sintesis Lempung Terpilar $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ serta Aplikasinya sebagai Fotokatalis Degradasi Rhodamin, (2008)
- [3] Shihong Xu, Wenfeng Shangguan, Jian Yuan, Mingxia Chen, Jianwei Shi, Zhi Jiang, Synthesis and performance of novel magnetically separable nanospheres of titanium dioxide photocatalyst with egg-like structure, *Nanotechnology*, 19, 9, (2008) 095606
- [4] Tae-Kyu Lim, Tadataka Murakami, Makoto Tsuboi, Kazuharu Yamashita, Tadashi Matsunaga, Preparation of a colored conductive paint electrode for electrochemical inactivation of bacteria, *Biotechnology and bioengineering*, 81, 3, (2003) 299-304
- [5] Ismunandar, Padatan Oksida Logam, Struktur, Sintesis, dan Sifat-sifatnya, Thesis, Departemen Kimia FMIPA ITB, ITB, Bandung
- [6] DM Tobaldi, A Tucci, G Camera-Roda, G Baldi, L Esposito, Photocatalytic activity for exposed building materials, *Journal of the European Ceramic Society*, 28, 14, (2008) 2645-2652
- [7] Ambar Astuti, Pengetahuan Keramik, Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 1997.
- [8] Joaquim Chavarria, Ceramic class: Glazing techniques, in, New York: Watson-Guptill Publication, 1998.
- [9] David F Ollis, Hussain Al-Ekabi, Photocatalytic purification and treatment of water and air: proceedings of the 1st International Conference on TiO_2 Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air, London, Ontario, Canada, 8-13 November, 1992, Elsevier Science Ltd, 1993.
- [10] Karna Wijaya, Eko Sugiharto, Is Fatimah, Sri Sudiono, Dyan Kurniaysih, Utilisasi TiO_2 -Zeolit dan Sinar UV Untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red, *Berkala Ilmiah MIPA*, 16, 3, (2006)
- [11] Jarnuzi Gunlazuardi, Fotokatalisis pada Permukaan TiO_2 : Aspek Fundamental dan Aplikasinya, Seminar Nasional Kimia Fisika II, (2001).
- [12] Hinda Lachheb, Eric Puzenat, Ammar Houas, Mohamed Ksibi, Elimame Elaloui, Chantal Guillard, Jean-Marie Herrmann, Photocatalytic degradation of various types of dyes (Alizarin S, Crocein Orange G, Methyl Red, Congo Red, Methylene Blue) in water by UV-irradiated titania, *Applied Catalysis B: Environmental*, 39, 1, (2002) 75-90
- [13] S Banerjee, Judy Gopal, P Muraleedharan, AK Tyagi, Baldev Raj, Physics and chemistry of photocatalytic titanium dioxide: visualization of bactericidal activity using atomic force microscopy, *Current Science*, 90, 10, (2006) 1378-1383
- [14] Agus Saefudin, Adi Darmawan, Choiril Azmiyawati, Sintesis Lempung Terpilar TiO_2 Menggunakan Surfaktan Dodesilamin, Karakterisasi Dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis Degradasi Zat Warna Indigo Carmine, Metanil Yellow, Dan Rhodamin, (2008)