

PENGARUH PENAMBAHAN KARBON PADA FOTOKATALIST BERBAHAN DASAR TiO₂ UNTUK MENDEGRADASI METHYLENE BLUE

THE INFLUENCE OF CARBON ADDITION ON PHOTOCATALYST BASED TiO₂ TO DEGRADATE METHYLENE BLUE

Nabilla Syahvalensi¹, Mamat Rokhmat², Edy Wibowo³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹nabillasyahvalensi@gmail.com, ²mamatrokhmat76@gmail.com, ³edyw.phys@gmail.com

Abstrak

Salah satu pencemaran lingkungan yang terjadi saat ini adalah pencemaran yang disebabkan oleh limbah industri tekstil. Oleh karena itu sebelum dibuang, limbah tersebut harus diolah terlebih dahulu agar tidak langsung mencemari lingkungan, karena limbah tekstil sangat berbahaya bagi kesehatan masyarakat, karena masih banyak mengandung Methylene Blue (MB). Pada penelitian ini, TiO₂ sebagai fotokatalis proses degradasi MB dicampurkan dengan karbon aktif yang konsentrasinya divariasikan sebesar 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, dan 1% dari jumlah TiO₂ yang digunakan. Kemudian ditempelkan pada permukaan kertas plastik lalu dipotong dengan ukuran 1cm x 1cm dan ditambahkan pada limbah air MB untuk mendegradasi air limbah MB dengan menjemur air limbah MB yang telah ditaburi dengan TiO₂ dan karbon tersebut di bawah lampu halogen 250 Watt. Sampel yang digunakan sebagai air limbah MB adalah campuran air dengan MB. Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan cara membandingkan sampel air limbah MB yang telah diberi TiO₂ dan karbon aktif 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8% dan 1% setiap 5 jam, selama 40 jam. Penggunaan lembar plastik yang ditemplei TiO₂ dengan sisipan bubuk karbon sebanyak 0,4% adalah yang paling efektif untuk mendegradasi sampel air limbah Methylene blue.

Kata kunci: Limbah air Metilen blue, TiO₂, karbon, fotodegradasi.

Abstract

One of the environmental pollutions that occur today is pollution caused by textile industry waste. Because before being disposed of, the waste must be processed first so as not to directly pollute the Environment, because textile waste is very dangerous for public health because it still contains a lot of Methylene Blue (MB). In this study, TiO₂ as a degradation process of MB was mixed with activated karbon whose concentration varied by 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, and 1% of the amount of TiO₂ used. Then it was affixed to the surface of the plastik paper and then cut to a size of 1 cm x 1 cm and added to MB wastewater to degrade MB wastewater by drying MB wastewater that had been sprinkled with TiO₂ and karbon under 250 Watt halogen lamps. The sample used as MB wastewater is a mixture of water with MB. Tests in this study were carried out by comparing MB wastewater samples that were given TiO₂ and activated karbon 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% and 1% every 5 hours, for 45 hours. The use of plastic sheets contained TiO₂ with 0.4% carbon powder inserts is the most effective way to degrade Methylene blue wastewater samples

Keywords: Methylene blue waterwaste, TiO₂, carbon, photodegradation.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Saat ini industri tekstil di Indonesia telah berkembang sangat pesat sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh zat pewarna dari limbah industri tekstil tersebut. Zat warna yang sering digunakan pada industri tekstil ialah methylene blue yang merupakan senyawa aromatik heterosiklik kationik. Limbah zat warna methylene blue merupakan senyawa organik yang sukar terurai, bersifat karsinogenik, dan murtagenik. Apabila limbah tersebut dibuang ke perairan terdekat maka akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Penggunaan zat warna methylene blue ini juga sangat berbahaya mengenai kulit, mata dan tertelan, dampak yang terjadi dapat berupa iritasi pada kulit hingga bahaya kanker hati [4]. Menurut Yeni Dwi Lestari dalam jurnal Degradasi Methylene Blue menggunakan fotokatalis TiO₂-N/Zeolit dengan sinar matahari, diperlukan sebuah teknologi yang mampu mengolah limbah zat warna ini dengan cara mempercepat proses penguraiannya. Salah satu metode alternatif yang dapat diterapkan adalah metode fotodegradasi menggunakan fotokatalis bahan semikonduktor. Metode ini memerlukan bahan semikonduktor TiO₂ serta radiasi dari sinar UV dan metode ini bekerja dengan cara menguraikan limbah zat warna menjadi komponen-komponen sederhana melalui oksidasi fotokatalitik sehingga membuat limbah methylene blue menjadi lebih aman bagi lingkungan.

TiO₂ adalah katalis semikonduktor yang memiliki energy gap yang cukup besar (3,0–3,2 eV) yang paling cocok untuk digunakan sebagai fotokatalis untuk metode fotodegradasi, tidak beracun dan harganya terjangkau.

Fotokatalis adalah proses transformasi kimia yang memerlukan bantu katalis dan cahaya untuk mempercepat prosesnya. Bubuk TiO₂ biasanya langsung diletakan ke dalam limbah metilen blue dan menyebabkan kekeruhan dan kemungkinan pengendapan. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan Sutisna dkk., penempelan TiO₂ pada lembaran plastik ataupun butiran plastik dilakukan dengan metode heating dan elektrostatis. Metode ini sudah sangat baik, yaitu metilen blue sudah terdegradasi. Kekurangan dari metode tersebut adalah partikel TiO₂ menempel tidak merata di atas lembaran polimer. Di samping itu, bandgap TiO₂ yang besar, yaitu 3,2 eV menyebabkan daerah kerja TiO₂ hanya berada di daerah ultra violet yang hanya 5% dari seluruh range panjang gelombang yang dipancarkan matahari. Hal tersebut dapat menyebabkan kerja TiO₂ sebagai fotokatalis masih belum optimal. Beberapa kekurangan dari penelitian sebelumnya tersebut menjadi focus utama penelitian yang akan dilakukan. Peneliti akan melakukan penelitian fotokatalis dengan bahan dasar TiO₂ dengan penempelan bahan TiO₂ pada lapisan plastik menggunakan metode thermal coating. Metode thermal coating ini dilakukan dengan proses pemanasan, sehingga dapat mempercepat proses penempelan TiO₂ pada plastik. Fokus yang kedua dalam penelitian adalah untuk memperbaiki daya serapan TiO₂ agar dapat menyerap cahaya pada daerah cahaya tampak juga. Hal tersebut dilakukan dengan menambahkan partikel karbon. Optimalisasi penpenyisipan karbon akan diteliti lebih lanjut dalam penelitian ini.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Methylene blue

Methylene Blue yang memiliki rumus kimia C₁₆H₁₈ClN₃S, adalah senyawa hidrokarbonaromatik yang beracun dan merupakan zat warna kationik dengan daya adsorpsi yang sangat kuat. Senyawa ini berupa kristal berwarna hijau gelap. Ketika dilarutkan, methylene blue dalam air ataualkohol akan menghasilkan larutan berwarna biru. Methylene blue memiliki berat molekul 319,86gr/mol, dengan titik lebur di 105°C dan daya larutsebesar 4,36 x 10⁴ mg/L.

Pada umumnya methylene blue digunakan sebagai pewarna sutra, wool, tekstil, kertas, peralatan kantor dankosmetik. Dalam industri tekstil, metilen biru merupakan salah satu zat warna thiazine yang sering digunakan, karena harganya ekonomis dan mudah diperoleh. Zat warna metilen biru merupakan zat warna dasar yang penting dalam proses pewarnaan kulit, kain mori, kain katun, dan tannin.

2.2 TiO₂ (Titanium Dioksida)

2.2.1 Alasan Penggunaan Titanium Dioksida

Titanium dioksida (TiO₂) merupakan logam transisi yang termasuk golongan IV pada tabel periodik [9] disebut juga titanium anhydride, anhidrida asam titanium, titanium oksida, atau titania yang biasanya tersedia dalam serbuk putih.

Bahan memiliki banyak keunggulan dibandingkan bahan semikonduktor yang lainnya, sehingga menjadi perhatian dalam penelitian sebagai fotokatalis. Sifat-sifat tersebut diantaranya:

- mempunyai band gap yang sesuai untuk proses fotokatalis sehingga memudahkan terjadinya eksitasi elektron ke pita konduksi dan pembentukan hole pada pita valensi saat diinduksikan cahaya ultraviolet.
- Memiliki aktifitas fotokatalis yang lebih tinggi dibandingkan dengan fotokatalis lain, seperti: ZnO, CdS, WO₂, dan SnO₂.
- Mampu menyerap sinar ultraviolet dengan baik.
- Memiliki kestabilan kimia dalam interval pH yang besar (0 sampai 14).
- Tahan terhadap photodegradasi.
- Bersifat inert dan tidak larut dalam reaksi baik secara biologis maupun kimia.
- Tidak beracun.
- Memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi.
- Relatif murah

2.2.2 Struktur Titanium Dioksida (TiO₂)

Di alam TiO₂ memiliki beberapa struktur kristal, yaitu: anatase, rutil, dan brookite. Rutil adalah fasa keseimbangan semua suhu. Sedangkan anatase dan brookite adalah fasa metastabil yang dapat diubah menjadi rutil dengan proses pemanasan. Rutil dan anatase merupakan fasa yang sering diproduksi. Rutil (rutilus, bahasa Latin berarti merah) memiliki komposisi 10% besi dan sejumlah niobium serta tantalum. TiO₂ struktur rutil dan anatase berukuran nanometer dapat dihasilkan dengan unit sel yang berbentuk tetragonal melalui proses hidrotermal. Perbedaannya hanya terletak pada suhu serta waktu pengovenan.

Untuk proses fotokatalisis, struktur anatase lebih disukai karena lebih aktif dibandingkan struktur rutil. Struktur-struktur tersebut dapat digambarkan dengan TiO₆ oktahedral, setiap ion Ti⁴⁺ dikelilingi oleh enam ion O²⁻. Perbedaan dari kedua struktur kristalin terletak pada distorsi struktur oktahedronnya. Pada rutil, struktur oktahedronnya sedikit distorsi orthorombik. Sementara anatase,

distorsi jauh lebih besar, sehingga strukturnya asimetris dibandingkan orthorombik. Untuk beberapa aplikasi, rutil lebih sering digunakan karena memiliki sifat fisik yang unik, misalnya berkilau, keras dan tahan terhadap fenomena korosi. Berbeda dengan brookite, strukturnya memiliki simetri yang polimorf dan dapat berubah menjadi rutil pada temperatur sekitar 750 °C. Bentuk kristal anatase dapat diamati pada pemanasan sol TiO₂ mulai dari suhu 120 °C dan mencapai sempurna 10 pada 500 °C. Pada suhu 700 °C mulai terbentuk kristal rutil dan mulai terjadi penurunan luas permukaan serta pelemahan aktivitas fotokatalisis secara drastis.

2.3 Fotokatalisis

Fotokatalisis adalah reaksi yang melibatkan cahaya atau disebut fotoreaksi (reaksi yang memanfaatkan absorpsi energi cahaya ultraviolet (UV) yang dipercepat oleh adanya katalis untuk menurunkan energi aktivasi sehingga mempercepat proses reaksi. Reaksi fotokatalisis merupakan sistem reaksi heterogen karena limbah yang diproses berfasa cair sedangkan katalis yang digunakan berfasa padatan. Seperti sistem katalis heterogen pada umumnya, pada fotokatalisis terjadi tahap-tahap sebagai berikut.

- Perpindahan massa reaktan dari fasa curah ke permukaan katalis (difusi eksternal).
- Perpindahan massa reaktan dari permukaan katalis ke pori-pori katalis (difusi internal).
- Adsorpsi reaktan.
- Reaksi permukaan.
- Desorpsi produk.
- Perpindahan massa dari pori-pori ke permukaan katalis.

Tiga komponen yang perlu ada untuk terjadinya suatu reaksi fotokatalisis:

- Foton sebagai sumber energi
- Permukaan katalis (biasanya bahan semikonduktor)
- Senyawa oksidasi yang kuat (biasanya O₂).

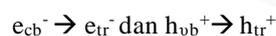
2.4 Fotodegradasi

Fotodegradasi merupakan reaksi pemecahan suatu senyawa oleh adanya cahaya. Proses fotodegradasi memerlukan suatu fotokatalis yang umumnya merupakan bahan semikonduktor. Prinsip fotodegradasi adalah loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada logam semikonduktor jika dikenai suatu energi foton. Loncatan energi ini menyebabkan timbulnya hole yang dapat berinteraksi dengan pelarut.

Zat warna dapat terurai menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana dan lebih aman bagi lingkungan dengan penggunaan metode fotodegradasi. Fenomena fotodegradasi yang terjadi pada permukaan TiO₂ dapat dijelaskan dengan gambaran reaksi kimia sebagai berikut.



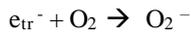
Ketika TiO₂ dikenai cahaya UV dengan energi $h\nu$ mengakibatkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, dan meninggalkan lubang pada pita valensi (h_{vb}^+).



Sebagaimana elektron pada pita konduksi (e_{cb}^-) dan lubang pada pita valensi terjebak pada permukaan semikonduktor.



lubang pada permukaan semikonduktor (h_{tr}^+) mengoksidasi air atau ion OH membentuk radikal hidroksil yang berperan sebagai agen detoksikasi.



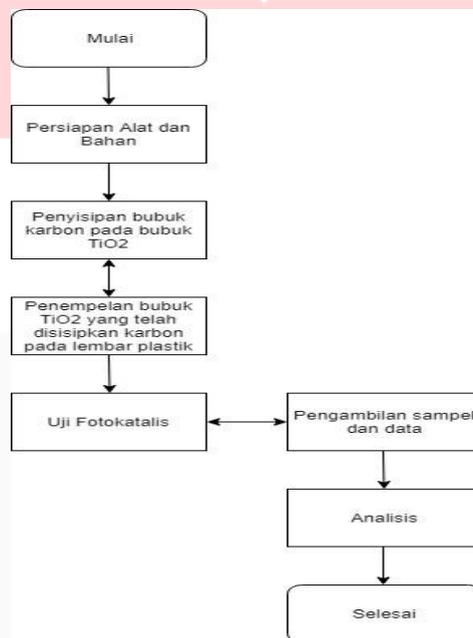
Elektron pada permukaan semikonduktor (e_{tr}^-) menangkap oksigen membentuk ion superperoksida (O_2^-) yang dapat menguraikan senyawa polutan, hal tersebut yang menyebabkan zat warna dari *Methylene blue* dapat terurai dan terdegradasi

2.5 Karbon Aktif

Karbon aktif atau arang aktif adalah senyawa amorf yang dihasilkan dari bahan yang mengandung unsur karbon atau arang yang diberikan perlakuan secara khusus atau diaktifkan untuk mendapatkan daya adsorpsi yang tinggi terhadap warna, bau, zat-zat beracun dan lainnya. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan.

Arang umumnya mempunyai daya adsorpsi yang rendah dan daya adsorpsi itu dapat diperbesar dengan cara mengaktifkan arang menggunakan uap atau bahan kimia.

3. Metode penelitian



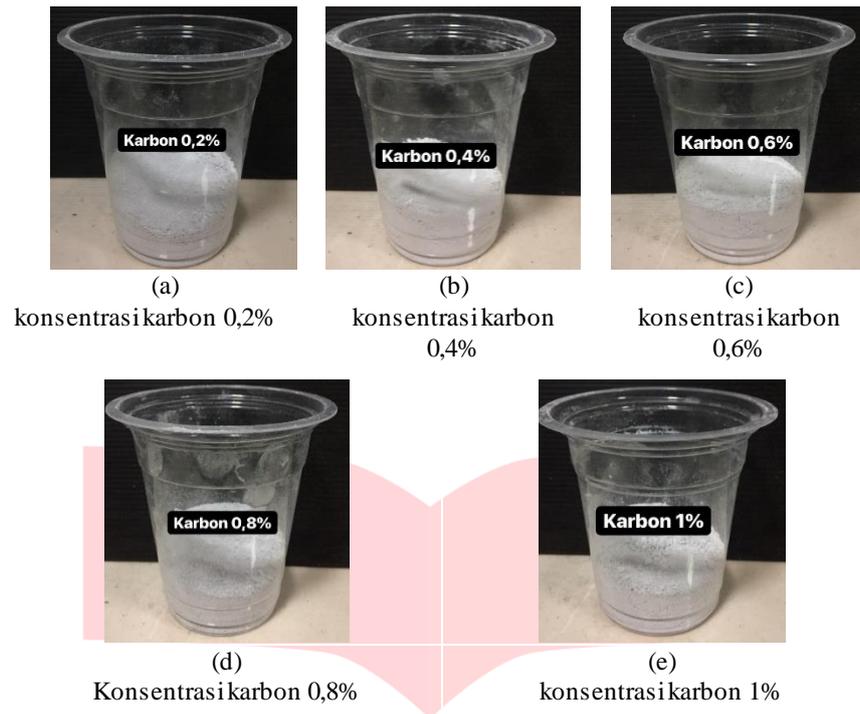
Gambar 3.1 Skema tahap penelitian

3.1 Langkah penelitian

1. Penyisipan bubuk karbon pada TiO₂
Langkah pertama yang dilakukan adalah mencampurkan bahan TiO₂ dengan karbon aktif yang divariasikan menjadi 5 variasi massa karbon aktif yang berbeda, yaitu 0,1g, 0,2g, 0,3g, 0,4g, dan 0,5g untuk setiap 50g massa bubuk TiO₂ yang digunakan.

Tabel 3.1 Variasi campuran TiO₂ dan karbon aktif

Massa TiO ₂ (g)	Massa Karbon (g)
50	0,1
50	0,2
50	0,3
50	0,4
50	0,5



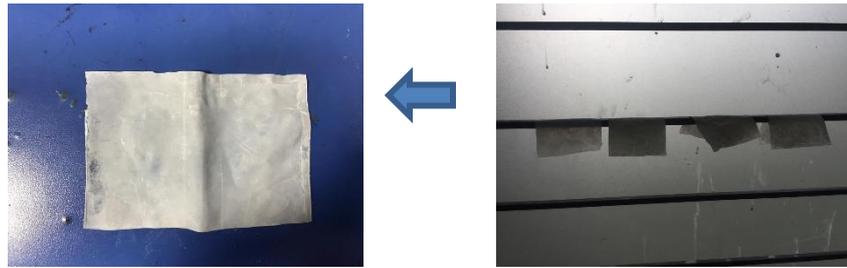
Gambar 3.1 Variasi konsentrasi bubuk karbon untuk proses penyisipan

2. Deposisi TiO₂

Pada tahap ini akan dilakukan penempelan TiO₂ murni dan TiO₂ yang disisipkan bubuk karbon pada lembar plastik dengan metode *thermal coating*. Adapun tahapan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Lembar plastik dipotong menjadi ukuran 7 cm x 10 cm
2. 50 gram TiO₂ dimasukan ke dalam gelas ukur dan dicampur dengan bubuk karbon yang massanya divariasikan sesuai dengan Tabel 4.1, kemudian diaduk rata dengan menggunakan pengaduk kaca
3. Pengkondisian kompor listrik.
4. TiO₂ yang telah disisipkan bubuk karbon dimasukan ke dalam plat aluminium, kemudian dipanaskan menggunakan kompor listrik.
5. Lembar plastik diletakan di atas plat aluminium berisi TiO₂ yang telah disisipkan bubuk karbon
6. TiO₂ yang telah disisipkan bubuk karbon diratakan ke permukaan lembar plastik dengan cara tekan berulang-ulang disetiap sisi lembar plastik
7. Lembar plastik yang telah ditemplei TiO₂ dan karbon dicuci dengan menggunakan aquades
8. Lembar plastik yang telah ditemplei TO₂ dan karbon dijemur selama 5 jam.
9. Lembar plastik yang telah ditemplei TiO₂ dan karbon dipotong-potong dengan ukuran 1 cm x 1 cm
10. Ulangi langkah 2 – 9 dengan mengganti konsentrasi bubuk karbon.





Gambar 3.2 Proses penempelan TiO₂ dan karbon pada lembar plastik

3. Pembuatan sampel air limbah MB

Pada tahap ini akan dilakukan pembuatan sampel air limbah MB dengan menggunakan MB dan air dengan massa MB sebesar 0,0015625g.

1. 0,0015625 g MB dimasukkan ke dalam gelas plastik
2. Air 200ml dimasukkan ke dalam gelas plastik yang telah berisi *Methylene Blue*.
3. Air yang telah bercampur dengan *Methylene blue* diaduk rata dengan menggunakan pengaduk kaca.
4. Sampel dibuat sebanyak 5 gelas



Gambar 3.3 Sampel air limbah Methylene Blue

3.2 Tahap pengujian

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian fotodegradasi terhadap larutan *Methylene blue*, dengan tahapan sebagai berikut :

1. Potongan lembar plastik yang telah ditempel TiO₂ dan karbon dimasukkan ke dalam gelas yang berisi air limbah *Methylene Blue*.
2. Diamkan di bawah sinar lampu halogen 500W selama 40 jam untuk setiap sampel.
3. Ambil sampel data setiap 5 jam, kemudian sampel disimpan di wadah yang kedap cahaya.



Gambar 3.4 Uji Fotokatalis

4. Hasil dan kesimpulan

4.1 Hasil

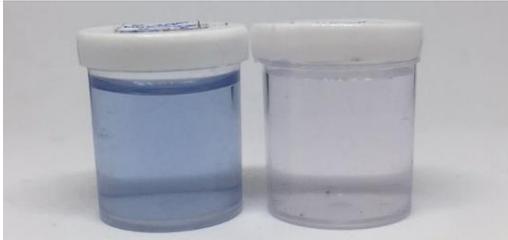
Pada proses pengamatan uji fotokatalis, telah diambil sampel setiap 5 jam sekali selama 40 jam untuk setiap variasi sampel.



Gambar 4.1 Hasil penyinaran limbah air Methylene blue dengan TiO₂ murni tanpa sisipan bubuk karbon



Gambar 4.2 Hasil penyinaran limbah air Methylene blue dengan TiO₂ yang disisipi bubuk karbon sebanyak 0,1g



Gambar 4.3 Hasil penyinaran limbah air Methylene blue dengan TiO₂ yang disisipi bubuk karbon sebanyak 0,2g



Gambar 4.4 Hasil penyinaran limbah air Methylene blue dengan TiO₂ yang disisipi bubuk karbon sebanyak 0,3g



Gambar 4.5 Hasil penyinaran limbah air Methylene blue dengan TiO₂ yang disisipi bubuk karbon sebanyak 0,4g

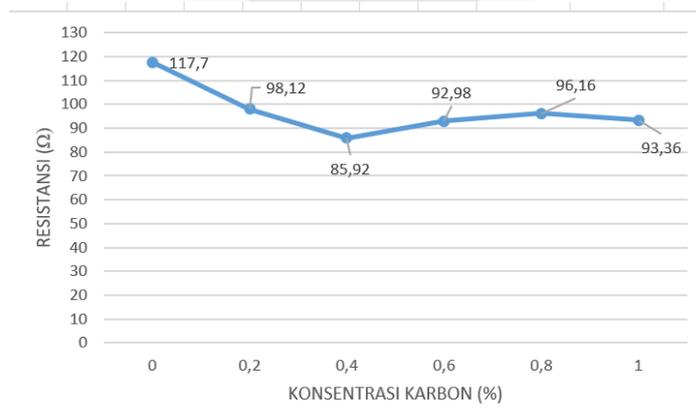


Gambar 4.6 Hasil penyinaran limbah air Methylene blue dengan TiO₂ yang disisipi bubuk karbon sebanyak 0,5g

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa air limbah *Methylene Blue* mengalami penurunan zat warna secara bertahap terhadap waktu yang disebabkan oleh penambahan lembar plastik TiO₂ yang disisipi bubuk karbon pada permukaan air limbah. Jika dianalisis secara visual, TiO₂ yang disisipi karbon dapat mengurangi zat warna *Methylene blue*. Hasil percobaan penyinaran limbah air *Methylene blue* dengan TiO₂ yang disisipi bubuk karbon sebanyak 0,4% menunjukkan penurunan zat warna pada sampel limbah air *Methylene blue* paling optimal, dimana sejak jam ke-25 hingga jam ke-40 menunjukkan penurunan zat warna yang signifikan.

Setelah melakukan pengujian terhadap sampel air limbah *Methylene blue*, hal selanjutnya yang dilakukan adalah pengambilan data resistansi air limbah tersebut menggunakan alat *spektrofotometer*. Semakin kecil nilai resistansi menunjukkan semakin sedikit zat warna *Methylene blue* yang terlarut dalam air limbah. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali untuk setiap sampelnya, kemudian data yang telah diambil dirata-ratakan.

Gambar 4.7 grafik hasil resistansi sampel air limbah *Methylene blue*



4.2 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penempelan TiO₂ yang disisipkan dengan bubuk karbon dapat dilakukan dengan metode termal coating, dimana saat penempelan, bubuk TiO₂, bubuk karbon dan lembar plastik dipanaskan disaat yang bersamaan, sehingga menyebabkan bubuk TiO₂ dan bubuk karbon dapat dengan mudah menempel pada lembar plastik.
2. Perbedaan proses fotodegradasi air limbah *Methylene blue* antara menggunakan TiO₂ murni dan dengan menggunakan TiO₂ yang disisipi bubuk karbon dengan variasi 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8% dan 1% dari total berat TiO₂ adalah proses fotodegradasi dengan menggunakan TiO₂ yang disisipi bubuk karbon dimungkinkan lebih efektif karena mempercepat proses fotodegradasinya, karena keberadaan karbon dapat menggeser daerah kerja TiO₂.
3. Parameter paling optimum yang ditunjukkan oleh penelitian ini adalah TiO₂ yang disisipi bubuk karbon dengan konsentrasi 0,4% dari massa TiO₂ yang digunakan.

4.3 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perlu dilakukan pengembangan pada metode penempelan bubuk TiO₂ dan bubuk karbon hupada lembar plastik agar lebih cepat dan efektif. Selain itu, diperlukan pula pengujian lain untuk mendapatkan parameter-parameter yang lebih baik.

5. Daftar Pustaka

- [1] Yeni Dwi Lestari, Sri Wardhani*, Mohammad Misbah Khunur. (2015). Degradasi Methylene Blue Dengan Menggunakan Tio₂-N/Zeolit Dengan Sinar Matahari. *Kimia.Studentjournal*, Vol.1, No. 1, Pp. 592 - 598, Universitas Brawijaya Malang, 592.
- [2] Nevi Dwi Andari Dan Sri Wardhani. (2014). Fotokatalis Tio₂-Zeolit Untuk Degradasi Metilen Biru. 9.
- [3] Ida Ayu Gede Widihati, Ni Putu Diantariani, Dan Yuliana Farhatun Nikmah. (2011). Fotodegradasi Metilen Biru Dengan Sinar Uv Dan Katalis Al₂O₃. *Issn 1907-9850*, 31.
- [4] Sismiyati. (2017). Uji Fotodegradasi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Tio₂-Zeolit Dengan Perlakuan Aerasi Sederhana. 2.
- [5] Sutisna, Mamat Rokhmat, Edy Wibowo, Khairurrijal, Mikrajuddin Abdullah. (2017). Coating Tio₂ Nanoparticles On The Surface Of Transparent Plastik Granules Using Combined Electrostatic And Heating Methods For The Photocatalytic Degradation Of Organic Pollutants In Water.
- [6] Yeni Dwi Lestari, Sri Wardhani*, Mohammad Misbah Khunur. (2015). Degradasi Methylene Blue Dengan Menggunakan Tio₂-N/Zeolit Dengan Sinar Matahari. *Kimia.Studentjournal*, Vol.1, No. 1, Pp. 592 - 598, Universitas Brawijaya Malang, 592.
- [7] Mariah, Rihan Fasyir. (2012). Dsorpsi Pewarna Methylene Blue Menggunakan Pasir. Yogyakarta.
- [8] Hamdaoui O, Chicha M. (2006). Removal Of Methylene Blue From Aqueous Solutions. 407-418.
- [9] Maryanti, R. S. (2012). Sintesis Dan Karakterisasi Titania Silika Berbasis Titanium.
- [10] Maryanti, R. S. (2012). Sintesis Dan Karakterisasi Titania Silika Berbasis Titanium.
- [11] N. N. Greenwood A. Earnshaw. (1984). *Global Production Estimation Of Rare Earth Elements And Their Environmental Impacts On Soils*. Oxford.
- [12] M. Zainul Asrori, Andry Permana, Devi Sukma, Darminto. (2015). Pengembangannanokomposit Pani(Hcl)-Tio₂ sebagai Material pelapis anti Korosi, 275-281.
- [13] Listra Yehezkiel Ginting, Mohammad Kemal Agusta, Hermawan K. (2014). Fotokatalis Tio₂ Anatase Dengan Pengotor, 95-98.
- [14] Rachmat Triandi Tjahjanto, Jarnuzi Gunlazuardi. (2001). Preparasi Lapisan Tipis Tio₂ Sebagai Fotokatalis: Keterkaitan Antara Ketebalan Dan Aktivitas Fotokatalisis, 81-91.
- [15] Christmas Togasa, Audy Wuntua, Harry Koleangan. (2014). *Fotodegradasi Zat Warna Metanil Yellow Menggunakan*, 87-91.
- [16] Karna Wijayaa, Eko Sugiharto, Is Fatimah, Iqmal Tahir, Rudatiningsih. (2006). *Fotodegradasi Zat Warna Alizarin S Menggunakan Tio₂-Zeolit Dan Sinar Uv*, 32-37.
- [17] Erna, M. (2014). *Karakterisasi Arang Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivator Zncl₂ Sebagai Adsorben Senyawa Fenol*.
- [18] Irianty, R. S. (2010). *Pembuatan Arang Aktif Dari Arang Sisa Pembuatan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit Dengan Metode Aktifasi Kimia-Fisika*
- [19] Yessy Meisrilestari, Rahmat Khomaini, Hesti Wijayanti. (2013). *Pembuatan Arang Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit*.