

# Optimasi Proses Degradasi Metil Violet pada Reaktor Fotokatalitik Film TiO<sub>2</sub>-PEG

Ika Sri Sulfiana<sup>1</sup>, Hardeli<sup>2</sup>, Irma Mon<sup>3</sup>

Chemistry Department, Faculty of Mathematics and Natural Science, State University of Padang  
State University of Padang, Indonesia

<sup>1</sup>chitato90@yahoo.com, <sup>2</sup>hardelil@yahoo.com, <sup>3</sup>irma-mon@yahoo.com

**Abstract** — Methyl violet is one of triphenylmethane dyes which has been used extensively in various industrial application. Significant proportion of these dye enters the environment as wastewater. Photocatalytic degradation by using TiO<sub>2</sub> under UV light irradiation has been shown to be potentially advantageous in the treatment of wastewater. This research was aimed to determine the optimum thin layers of catalyst and irradiation period of photocatalytic reactor. Modification by adding PEG was done to enhance TiO<sub>2</sub> activity. A decrease in methyl violet concentration was analysed by using UV-Vis Spectrophotometer. GC-MS was used to ensure that there were a degradation indeed. Experimental results showed the optimum thin layers was reached in 8 times and irradiation period was 5 hours. At this optimum condition, degradation percentage obtained was 79,03% with the initial concentration used was 10 mg/L and the flow rate was 110 mL/s. Identification by using GC-MS showed many peaks which proved there were degradation processes.

**Keywords** — TiO<sub>2</sub>, photocatalytic degradation, methyl violet, thin layers, irradiation period

## I. PENDAHULUAN

Limbah zat warna merupakan salah satu faktor utama penyebab pencemaran perairan. Sebanyak 10-15% zat warna dibuang langsung ke perairan akibat ketidakefisienan pemakaian dalam industri [1]. Metil violet merupakan zat warna golongan trifenilmetana yang digunakan secara intensif dalam industri tekstil, kertas, cat, tinta, plastik, kulit dan kosmetik. Dari sejumlah studi ditemukan bahwa metil violet bersifat toksik, mutagenik dan karsinogenik. Zat warna ini persisten dan sulit dibiodegradasi sehingga dapat berada di lingkungan dalam waktu lama [2].

Berbagai metode telah diupayakan untuk menghilangkan toksisitas polutan organik dalam perairan. Penanganan secara kimia dan fisika meliputi adsorpsi, pengendapan kimia, flokulasi, oksidasi dengan klorin, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>, elektrolisis, reduksi dan ekstraksi pasangan ion. Akan tetapi, metode-metode tersebut tidak efektif disebabkan biayanya yang mahal, menimbulkan masalah pembuangan akhir dan terbentuknya produk toksik [2].

Proses fotokatalitik heterogen merupakan metode yang sangat prospektif dalam mendegradasi zat warna sebelum dilepas ke lingkungan dengan aman. Pada proses ini molekul zat warna didegradasi secara bertahap sehingga tidak meninggalkan residu atau *sludge* [3]. Proses ini menggunakan katalis dari bahan semikonduktor. Semikonduktor yang sangat cocok diterapkan adalah TiO<sub>2</sub> karena bersifat stabil, inert secara kimia dan biologi, tidak larut dalam air, dan tidak beracun [4].

Pada proses fotokatalitik ketika semikonduktor TiO<sub>2</sub> menyerap sinar UV ( $\leq 390$  nm) yang berenergi sama atau lebih besar dari energi celah pitanya (3,2 eV), maka terjadi fotoeksitasi elektron. Elektron (e<sup>-</sup>) tereksitasi ke pita konduksi menghasilkan *hole* (h<sup>+</sup>) pada pita valensi. *Hole* berinteraksi

dengan air atau ion OH<sup>-</sup> menghasilkan radikal hidroksil ( $\cdot$ OH). Radikal  $\cdot$ OH kemudian menyerang molekul organik dan mendegradasinya menjadi produk akhir, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O [3].

Aplikasi fotokatalis TiO<sub>2</sub> dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu sistem dispersi dan sistem imobilisasi. Kelemahan sistem dispersi yaitu muncul masalah dalam pemisahan antara katalis dengan senyawa yang telah didegradasi [5]. Oleh karena itu, dikembangkan suatu reaktor fotokatalitik yang terdiri dari kolom gelas yang diimobilisasikan TiO<sub>2</sub> di bagian dalamnya. Keuntungan reaktor ini di antaranya tidak membutuhkan tempat yang luas, biaya pemakaian energi yang rendah, relatif cepat, serta tidak memerlukan pemakaian bahan kimia lain. Akan tetapi, sistem ini juga memiliki kelemahan, yaitu keterbatasan proses transfer massa.

Beberapa usaha dilakukan untuk meningkatkan efisiensi fotokatalis, antara lain sintesis nanokristal TiO<sub>2</sub>, penyisipan dopan, dan penambahan sensitizer [6]. Untuk tujuan sintesis nanokristal, maka dalam penelitian ini dilakukan penambahan polietilen glikol (PEG). Dari hasil penelitian terdahulu [7], penambahan PEG dalam jumlah yang tepat dapat menghalangi pembentukan agregat TiO<sub>2</sub> sehingga memperkecil ukuran partikel TiO<sub>2</sub>. Ukuran partikel TiO<sub>2</sub> yang kecil akan memperbesar luas permukaan spesifik katalis.

Guna mendapatkan reaktor dengan kinerja optimum, maka perlu ditentukan jumlah pelapisan dan lama penyinaran optimum. Berdasarkan penelitian sebelumnya [8], jumlah pelapisan optimum degradasi fenol pada reaktor fotokatalitik TiO<sub>2</sub> diperoleh pada pelapisan 8x dengan tingkat pengisian sebesar 0,0578 mg/cm<sup>2</sup> dan persentase degradasi sebesar 93,64% pada menit ke-50.

Tebal lapisan fotokatalis mempengaruhi kontak antara molekul dengan pusat aktif katalis. Aktivitas katalis meningkat pada ketebalan tertentu, kemudian menurun. Hal

ini disebabkan daya tembus sinar UV terbatas untuk ketebalan tersebut. Sedangkan lama penyinaran berkaitan dengan banyaknya energi foton yang diadsorp katalis. Semakin lama penyinaran, radikal ·OH yang terbentuk semakin banyak sehingga meningkatkan efektivitas proses degradasi [9].

## II. METODE PENELITIAN

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor fotokatalitik yang bekerja secara sirkular. Reaktor terdiri dari 10 kolom gelas dengan panjang masing-masing 60 cm dan diameter-dalam 1,8 cm. Kolom gelas dihubungkan secara sirkular dengan pompa dan reservoir berkapasitas 10 L. Di bawah kolom gelas dipasang reflektor dari aluminium foil untuk mengoptimalkan kontak antara sinar UV yang berasal dari matahari dengan reaktor.

### A. Preparasi Katalis

Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah katalis komersial serbuk TiO<sub>2</sub> Degussa P-25. Katalis tersebut mempunyai karakteristik luas permukaan 50 ± 15 m<sup>2</sup>/g, dan distribusi kristal terdiri dari campuran 80% anatase dan 20% rutil [3]. Sedangkan PEG yang digunakan adalah PEG dengan BM 2000.

Preparasi katalis film TiO<sub>2</sub>-PEG dimulai dengan mencampurkan serbuk TiO<sub>2</sub> Degussa P-25 sebanyak 0,1 gram dalam metanol p.a sebanyak 100 mL lalu distirer selama 8 jam pada suhu 64 °C. Selanjutnya ditambahkan PEG sebanyak 15% berat TiO<sub>2</sub> dan distirer kembali selama 1 jam tanpa pemanasan. Imobilisasi katalis TiO<sub>2</sub>-PEG dimulai dengan cara mengisi sol ke dalam kolom gelas sampai penuh, didiamkan selama 5 menit dan dikeringkan pada suhu kamar selama 20 menit. Kolom gelas yang telah dilapisi dipanaskan dalam oven pada suhu 150 °C selama 1,5 jam. Pelapisan diulangi dengan variasi 2x, 4x, 6x, 8x dan 10x.

### B. Uji Aktivitas Katalis

Larutan uji metil violet dibuat dengan cara melarutkan kristal metil violet dengan aquades sehingga konsentrasinya menjadi 10 mg/L dan dimasukkan ke dalam reservoir. Pompa sirkulasi dinyalakan dan laju alir diatur sebesar 110 mL/detik. Pengambilan larutan uji dilakukan setiap 1 jam sekali selama selang waktu 6 jam.

### C. Analisis Larutan Uji

Larutan uji hasil reaksi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan konsentrasi metil violet yang terdegradasi. Analisis konsentrasi dilakukan dengan menggunakan metode kurva kalibrasi pada panjang gelombang 581 nm. Persentase degradasi (D, %) dihitung dengan persamaan:

$$D = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

di mana, C<sub>0</sub> adalah konsentrasi mula-mula dan C<sub>t</sub> adalah konsentrasi pada waktu t.

Analisis GC-MS dilakukan menggunakan alat GC-MS QP 2010 Plus Shimadzu. Kolom yang digunakan adalah kolom

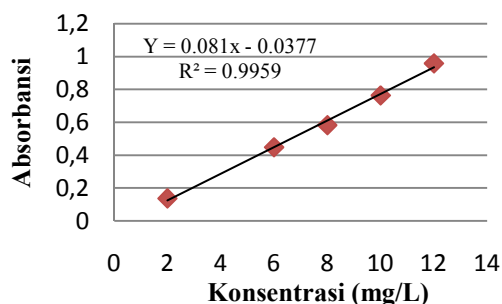
nonpolar dengan fasa diamnya terdiri dari 5% fenil dan 95% dimetil-polisiloksan. Suhu kolom mula-mula diatur 40°C (selama 10 menit) dinaikkan 10°C/menit sampai 280°C selanjutnya ditahan selama 20 menit. Kondisi spektrometri massa dengan metode EI diatur dengan suhu 250°C, energi elektron 70 eV dan arus emisi 250 A.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini diawali dengan uji blanko untuk memastikan proses degradasi berlangsung lebih baik dengan kombinasi TiO<sub>2</sub> dan sinar UV dibanding hanya dengan sinar UV. Kemudian dilakukan variasi jumlah pelapisan dan lama penyinaran untuk mendapatkan reaktor dengan kondisi optimum.

### A. Pengukuran Absorbansi Metil Violet dengan Spektrofotometer UV-Vis

Pengukuran absorbansi metil violet dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Berdasarkan hasil pengukuran, metil violet menunjukkan serapan pada daerah *visible* pada λ antara 480 nm – 640 nm dengan λ<sub>max</sub> = 581 nm. Kurva standar metil violet dibuat dengan memplot konsentrasi metil violet *versus* absorbansi seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar. 1 Kurva standar metil violet

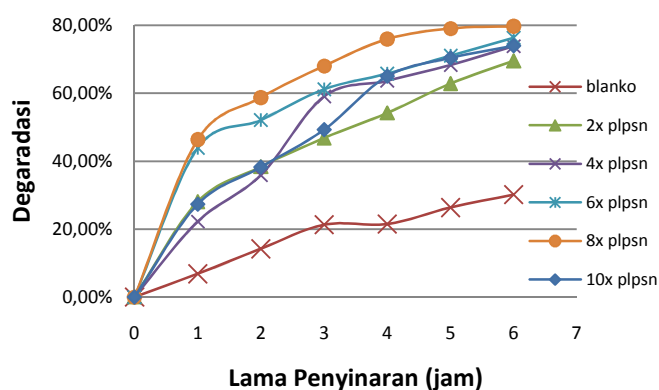
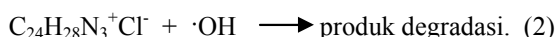
Pada Gambar 1 diperoleh persamaan regresi linier yaitu  $Y = 0,081X - 0,037$  dengan koefisien korelasi  $R^2 = 0,9959$ . Persamaan ini digunakan untuk menentukan konsentrasi awal dan konsentrasi sisa metil violet setelah proses degradasi. Data konsentrasi sisa metil violet setelah proses degradasi disajikan pada Tabel 1.

TABEL I  
DATA KONSENTRASI SISA METIL VIOLET (MG/L) PADA VARIASI JUMLAH PELAPISAN DAN LAMA PENYINARAN

Jumlah Lama Penyinaran / Pelapisan	Konsentrasi Sisa Metil Violet (mg/L)					
	blanko	2x	4x	6x	8x	10x
0 jam	9.88913	9.88913	9.88913	9.88913	9.88913	9.88913
1 jam	9.21469	7.11777	7.69037	5.5546	5.31160	7.19209
2 jam	8.48802	6.09629	6.34037	4.74395	4.09037	6.11185
3 jam	7.78456	5.26061	4.04666	3.84469	3.16296	5.02037
4 jam	7.78456	4.53345	3.59888	3.39197	2.38604	3.46333
5 jam	7.28642	3.68012	3.13456	2.86679	2.07333	2.93419
6 jam	6.90666	3.01753	2.58530	2.34765	2.01222	2.57876

A. Pengaruh Jumlah Pelapisan dan Lama Penyinaran

Pada Gambar 2, persentase degradasi terlihat semakin meningkat seiring dengan bertambahnya lama penyinaran. Hal ini dikarenakan semakin lama penyinaran maka semakin lama pula waktu kontak antara foton dengan katalis sehingga semakin banyak elektron dan hole yang tergenerasi. Akibatnya, radikal OH yang dihasilkan juga semakin banyak. Radikal OH ini kemudian menyerang molekul metil violet dan mendegradasinya menjadi senyawa yang lebih sederhana secara bertahap sesuai dengan persamaan reaksi



Gambar. 2 Grafik hubungan persentase degradasi metil violet terhadap lama penyinaran pada berbagai variasi jumlah pelapisan

Adanya pengaruh jumlah pelapisan terhadap proses degradasi metil violet terlihat dari perubahan konsentrasi larutan pada masing-masing variasi pelapisan 2x, 4x, 6x, 8x dan 10x. Grafik pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa persentase degradasi cenderung meningkat dari pelapisan 2x sampai 8x. Akan tetapi, pada pelapisan 10x terjadi penurunan persentase degradasi.

Kenaikan persentase degradasi sampai pada pelapisan 8x dapat dimengerti karena lapisan tipis fotokatalis telah menutupi permukaan penyangga secara merata. Lapisan tipis ini diperkirakan membentuk pori-pori sebagai akibat penambahan zat aditif PEG sehingga memperluas permukaan spesifik katalis. Luas permukaan yang bertambah menambah situs aktif katalis yang akan berinteraksi dengan molekul sampel [10]. Namun, jika jumlah pelapisan terus ditambah, maka pori-pori yang sudah ada akan tertutupi oleh penambahan lapisan sehingga mengurangi situs aktif katalis dan menurunkan aktivitas fotokatalitik. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian [9], di mana penurunan aktivitas fotokatalitik ini dapat dijelaskan dari keterbatasan daya tembus sinar UV pada ketebalan film tertentu sehingga sebagian TiO<sub>2</sub> tidak teraktivasi oleh foton.

Persentase degradasi yang besar pada pelapisan 8x disebabkan konsentrasi metil violet dalam larutan masih tinggi sehingga masih banyak molekul yang dapat diserang oleh radikal OH serta berinteraksi dengan situs aktif katalis dan menghalangi rekombinasi elektron-hole. Sementara pada jam

ke-2 sampai ke-6, kenaikan persentase degradasi tiap jamnya mengalami penurunan disebabkan semakin berkurangnya konsentrasi metil violet karena telah terdegradasi. Selisih persentase degradasi tiap jamnya berturut-turut dari jam ke-1 sampai ke-6 adalah 46.29%, 12.35%, 9.38%, 7.85%, 3.16% dan 0.62%.

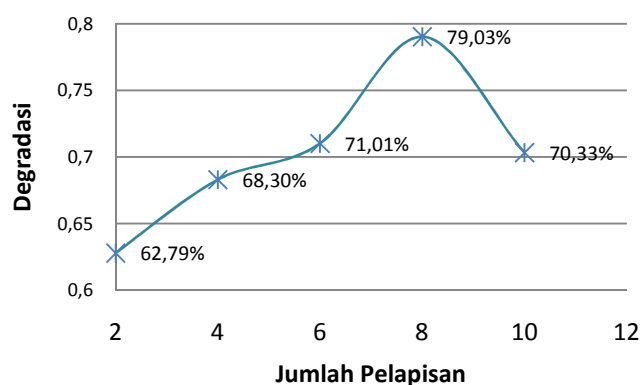
Kenaikan persentase degradasi yang sangat kecil pada jam ke-6 menandakan tidak terjadi perubahan konsentrasi metil violet yang signifikan. Menurut hasil penelitian terdahulu [11], kenaikan persen degradasi yang kecil ini disebabkan oleh sedikitnya jumlah elektron yang mencapai permukaan katalis karena terjadi proses rekombinasi elektron-hole sesuai dengan persamaan reaksi



Hal ini dapat dipahami sebagai akibat sedikitnya konsentrasi metil violet yang tersisa sehingga keterbatasan proses transfer massa pada reaktor fotokatalitik film membatasi interaksi molekul dengan situs aktif katalis maupun radikal OH.

B. Kondisi Optimum

Kondisi optimum merupakan suatu keadaan di mana reaktor fotokatalitik dapat bekerja secara efektif dan efisien. Dalam penelitian ini, keefektifan dan keefisienan reaktor ditentukan oleh jumlah pelapisan dan lama penyinaran. Grafik pada Gambar 3 memperlihatkan kenaikan persentase degradasi dari pelapisan 2x sampai pelapisan 8x dan kemudian menurun pada pelapisan 10x. Persentase degradasi pada pelapisan 10x relatif sama dengan persentase degradasi pada pelapisan 6x yaitu 71,01% dan 70,33% masing-masingnya. Berdasarkan grafik diperoleh kondisi optimum yaitu pada pelapisan 8x dengan persentase degradasi sebesar 79,03% dan lama penyinaran 5 jam.



Gambar. 3 Grafik hubungan jumlah pelapisan terhadap persentase degradasi pada lama penyinaran 5 jam

Jumlah pelapisan ini berkaitan dengan tingkat pengisian fotokatalis pada substrat kolom gelas. Tingkat pengisian merupakan jumlah massa TiO<sub>2</sub> yang menempel pada permukaan kolom gelas tiap sentimeter persegi yang

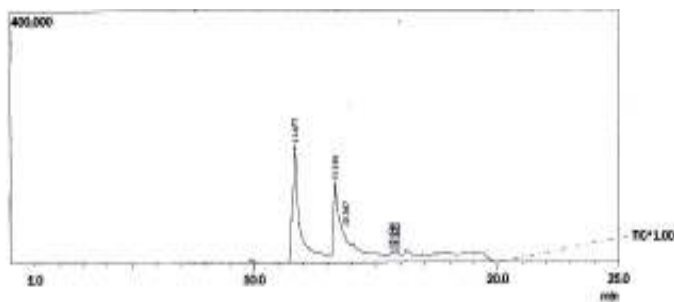
dinyatakan dalam mg/cm<sup>2</sup>. Hubungan antara jumlah pelapisan dengan tingkat pengisian disajikan pada Tabel 5. Berdasarkan data, terdapat kecenderungan meningkatnya tingkat pengisian sebanding dengan bertambahnya jumlah pelapisan. Pada pelapisan 8x, tingkat pengisian optimum yang dicapai adalah 0,0548 mg/cm<sup>2</sup>.

TABEL III  
HUBUNGAN ANTARA JUMLAH PELAPISAN DENGAN TINGKAT PENGISIAN

Jumlah Pelapisan	Tingkat Pengisian (mg/cm <sup>2</sup> )
2	0,0115
4	0,02919
6	0,04216
8	0,0548
10	0,0787

C. Identifikasi dengan GC MS

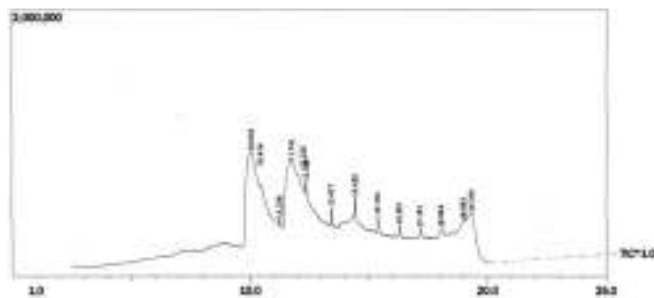
Metil violet merupakan campuran senyawa organik pararosnilin tetrametil (Mr = 379,5), pentametil (Mr = 393,5) dan heksametil (Mr = 407,5) [12]. Zat warna ini dikenal dalam bentuk garamnya (C<sup>+</sup>D<sup>-</sup>) dengan rumus molekul C<sub>23</sub>H<sub>26</sub>N<sub>3</sub><sup>+</sup>Cl<sup>-</sup>, C<sub>24</sub>H<sub>28</sub>N<sub>3</sub><sup>+</sup>Cl<sup>-</sup>, dan C<sub>25</sub>H<sub>30</sub>N<sub>3</sub><sup>+</sup>Cl<sup>-</sup>. Senyawa-senyawa yang teridentifikasi dari hasil analisa GC-MS dalam larutan metil violet yang belum mengalami proses degradasi ditunjukkan oleh Gambar 4. Pada Gambar 4 terlihat dua puncak utama dengan waktu retensi (RT) masing-masingnya 11,677 dan 13,316 menit.



Gambar. 4 Kromatogram metil violet sebelum proses degradasi

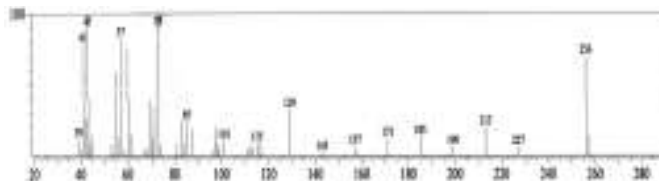
Identifikasi dengan GC-MS dilakukan untuk mengonfirmasi adanya produk degradasi metil violet yang terbentuk setelah proses degradasi. Dari hasil identifikasi dengan GC-MS diperoleh bentuk kromatogram seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5 terlihat banyak puncak yang saling tumpang tindih yang menandakan bahwa produk degradasi tidak terpisah dengan baik. Hal ini dikarenakan larutan uji yang telah mengalami proses

fotokatalisis mengandung bermacam-macam produk degradasi sehingga sulit dilakukan pemisahan dengan GC.

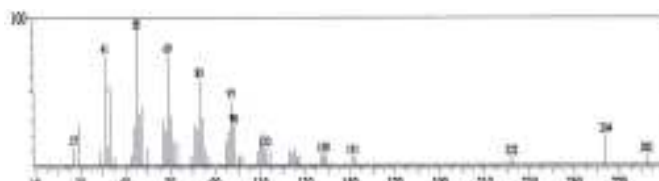


Gambar. 5 Kromatogram metil violet setelah proses degradasi

Berdasarkan hasil MS, puncak-puncak yang terelusi pada RT = 10,414 dan 11,983 menit teridentifikasi merupakan senyawa dengan m/z sebesar 256 dan 282 seperti ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Spektrum pada Gambar 7 memperlihatkan ion molekul dengan m/z = 256 terpecah menjadi ion fragmen dengan m/z = 227. Kehilangan massa molekul sebesar 29 diduga karena lepasnya radikal [CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>]<sup>•</sup> atau [COH]<sup>•</sup>. Radikal ini tidak terdeteksi oleh MS. Ion fragmen kemudian terpecah menjadi fragmen-fragmen lain dengan m/z yang lebih kecil berturut-turut 213, 199, 185, 171, 157, 143, 129, 115 dan 101. Setiap ion fragmen kehilangan massa molekul sebesar 14 yang diperkirakan akibat lepasnya [CH<sub>2</sub>]<sup>•</sup>. Sementara itu, ion fragmen dengan m/z = 101 yang pecah menjadi ion fragmen dengan m/z = 85 kehilangan massa molekul sebesar 16 yang diduga karena lepasnya radikal [NH<sub>2</sub>]<sup>•</sup> atau [O]<sup>•</sup>.



Gambar 6. Spektrum Massa Produk Degradasi dengan RT = 10,414 menit



Gambar 7. Spektrum Massa Produk Degradasi dengan RT = 11,983 menit

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan:

- 1) Jumlah pelapisan berpengaruh terhadap proses degradasi metil violet. Jumlah pelapisan yang terlalu sedikit atau terlalu banyak menyebabkan proses

- degradasi tidak berlangsung efektif. Jumlah pelapisan optimum yang diperoleh yaitu pada pelapisan 8x;
- 2) Semakin lama penyinaran maka hasil degradasi semakin baik. Akan tetapi, setelah mencapai waktu tertentu hasil degradasi cenderung konstan. Lama penyinaran optimum yang diperoleh yaitu 5 jam;
  - 3) Reaktor fotokatalitik TiO<sub>2</sub>-PEG dengan jumlah pelapisan 8x dan lama penyinaran 5 jam menghasilkan persentase degradasi metil violet sebesar 79,03%.
  - 4) Dari hasil identifikasi menggunakan GC-MS diperoleh banyak puncak yang mengonfirmasikan bahwa telah terjadi degradasi pada molekul metil violet.
- [12] Daria, C., Han, N., Marina, B., Lorenzo, F., Albert, J.K., Rene, M.W., Maarten, R., 2010, *Crystal Violet: Study of the Photo-fading of An Early Synthetic Dye Aqueous Solution and on Paper with HPLC-PDA, LC-MS, and FORS*, Journal of Physics, 231 (2010) 012011.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana atas dukungan berupa sarana dan fasilitas dari laboratorium kimia Jurusan Kimia FMIPA UNP. Peneliti berterimakasih kepada Badan Laboratorium Kesehatan Gunung Pangilun Padang yang bersedia mengidentifikasi sampel metil violet dengan GC MS.

## REFERENSI

- [1] Abedin, R.M.A., 2008. *Decolorization and Biodegradation of Crystal Violet and Malachite Green by Fusarium solani (Martius) Saccardo*. "A Comparative Study on Biosorption of Dyes by the Dead Fungal Biomass." American-Eurasian Journal of Botany, Vol.1, No.2, pp 17-31.
- [2] Azmi, W., Rajesh, K.S., Banerjee, U.C., 1998. *Biodegradation of Triphenylmethane Dyes*. Enzyme and Microbial Technology Elsevier Science, Vol.22, pp 185-191.
- [3] Ghanbarian, M., Nabizadeh, R., Mahvi, A.H., Nasser, S., Naddafi, K., 2011. *Photocatalytic Degradation of Linear Alkylbenzene Sulfonate from Aqueous Solution by TiO<sub>2</sub> Nanoparticle*, Iran Journal of Environmental Health Science English, Vol.8, No.4, pp 309-316.
- [4] Linsebigler, A. L., Lu Guanguan and Yates Jr, J.T. 1995. *Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> Surface: Principles, Mechanisms, and Selected Result*, Chem.Rev. 95, pp.735-758.
- [5] Philippopoulos, C.J., and Nikolaki, M.D., 2008. *Photocatalytic Processes on the Oxidation of Organic Compounds in Water*. National Technical University of Athens, Chemical Process Engineering Laboratory: Greece. Vol.6, pp 89-106.
- [6] Thahjanto, R.T., dan Gunlazuardi, J., 2001, *Preparasi Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub>; Keterkaitan antara Ketebalan dan Aktifitas Katalisis*. Makara, Jurnal Penelitian Universitas Indonesia, Vol.5, No.2, Hlm 81-91.
- [7] Chen, R.F., dan Zhang, C.X., 2008, *Preparation and Photocatalytic Activity of TiO<sub>2</sub> Films on Silica Glass Substrate by Assembly Technique*. Journal of the Chinese Chemical Society, Vol.55, No.5, pp 1055-1061.
- [8] Hayati, Silvia., 2011. "Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Fenol Pada Reaktor Fotokatalitik TiO<sub>2</sub>." *Skripsi*, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia, 2011.
- [9] Slamet dan Finaty, B.B., 2006, *Pengolahan Limbah Cr(IV) dan Fenol serta Disinfeksi Bakteri E.coli secara Simultan Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Film*, Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia, Palembang, 19-20 Juli 2006.
- [10] Abdollahi, Y., Abdullah, A.H., Zainal, Z., Yusof, N.A., 2011, *Photodegradation of m-cresol by Zinc Oxide under Visible-light Irradiation*. International Journal of Chemistry, Vol.3, No.3, pp 31-43.
- [11] Slamet., Arbianti, R., Wilyani. *Pengolahan Limbah Cr(IV), Fenol dan Hg(II) dengan Fotokatalis Serbuk TiO<sub>2</sub> dan ZnO/TiO<sub>2</sub>*. Departemen Teknik Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, Indonesia.