

Sintesis TiO₂-rGO Dengan Pereduksi Alumunium untuk Fotokatalisis Degradasi Metilen Biru dibawah Irradiasi Sinar Tampak

Anthoni Batahan Aritonang*, Putry Parwaty, M. Agus Wibowo, Puji Ardiningsih dan Adhitiyawardman

Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak 78124 Kalimantan Barat

*Email: anthoni.b.aritonang@chemistry.untan.ac.id

DOI: <https://dx.doi.org/10.20961/equilibrium.v6i2.65518>

Article History

Received: 20-09-2022, Accepted: 12-01-2023, Published: 13-01-2023

Kata kunci:

Fotokatalis, rGO,
TiO₂-rGO,
elektrokimia,
metilen biru

ABSTRAK. Sintesis TiO₂-rGO telah dilakukan dengan prekursor TiO₂ dan rGO yang disintesis dari batang grafit menggunakan metode Hidrotermal. Fotokatalis TiO₂-rGO hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan *X-ray diffractometer* (XRD), *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FT-IR) dan *Diffuse Reflectance UV-VIS* (DRUV). Sintesis rGO dengan metode elektrokimia menggunakan agen pereduksi Alumunium. Dilakukan uji aktivitas menggunakan metilen biru dengan bantuan sinar tampak. Berdasarkan data hasil perhitungan diperoleh nilai celah pita TiO₂ sebesar 3,33 eV, TiO₂-rGO sebesar 3,23 eV yang setara dengan panjang gelombang 378 nm dan 410 nm. Aktivitas fotokatalitik TiO₂ dibawah irradiasi sinar tampak mengalami peningkatan setelah dikompositkan dengan rGO membentuk komposit TiO₂-rGO mampu mendegradasi MB hingga 67,05%.

Keywords:

Photocatalyst,
rGO, TiO₂-rGO,
electrochemistry,
methylene Blue

ABSTRACT. TiO₂-rGO synthesis was carried out with TiO₂ precursor and rGO that was synthesized from a graphite rod using a hydrothermal method. Photocatalysts TiO₂-rGO were characterized by X-ray diffractometer (XRD), Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR), and Diffuse Reflectance UV-VIS (DRUV). Synthesis of rGO by the electrochemical method using reducing agent Aluminum. The activity test was carried out using methylene blue with the help of visible light. Based on the calculated data, the band gap value of TiO₂ is 3.30 eV, and TiO₂-rGO is 3.00 eV, equivalent to a wavelength of 378 nm and 410 nm. These data indicate that the rGO material reduces the band gap but the low band gap decrease. The photocatalytic activity of TiO₂ under visible light irradiation increased after being composited with rGO to form a TiO₂-rGO composite capable of degrading MB up to 67.05%

1. PENDAHULUAN

Salah satu zat warna yang umum digunakan dalam industri tekstil ialah metilen biru. Senyawa Metilen biru memiliki struktur benzena yang tidak mudah untuk diuraikan atau didegradasi [9]. Pembuangan limbah berwarna ke lingkungan merupakan sumber pencemaran dan dapat menimbulkan bahaya, efek toksik dan mengurangi penetrasi cahaya di perairan yang tercemar [13]. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup ialah Kep51/MENLH/ 10/ 1995 tentang baku kualitas limbah cair, konsentrasi maksimum metilen biru yang diperbolehkan ialah 5- 10 mg/ L. Banyak metode yang telah digunakan untuk mengatasi permasalahan limbah ini, seperti metode klorinasi, biodegradasi dan ozonisasi tetapi metode tersebut membutuhkan biaya yang tidak sedikit dan memberikan dampak karsinogenik sehingga kurang efektif untuk digunakan [10] Oleh karena itu diperlukan metode alternatif yang lebih murah dan tidak berbahaya untuk mempercepat penguraian limbah, salah satu alternatifnya yaitu dengan cara fotokatalisis berbahan Titanium Dioksida (TiO₂) yang dapat digunakan untuk mendegradasi limbah metilen biru.

TiO₂ ialah Material semikonduktor yang sangat efektif digunakan sebagai fotokatalis. Kelebihan TiO₂ dibanding dengan material semikonduktor lain yakni tidak bersifat toksik, harga yang relatif lebih murah, stabilitas kimia yang sangat baik, aktivitas fotokatalitik yang besar serta kemampuannya bisa digunakan berulang kali tanpa kehilangan aktivitas katalitiknya [6]. Dibalik kelebihan tersebut TiO₂ masih memiliki kekurangan yaitu celah pita pada TiO₂ dengan struktur anatase lumayan besar ialah kurang lebih 3, 2 eV. Energi celah pita tersebut setara dengan sinar UV dengan panjang gelombang 388 nm, sehingga TiO₂ ini memiliki kelemahan hanya bisa menyerap sinar pada daerah UV, sedangkan sinar UV yang dihasilkan oleh matahari hanya 5% yang sampai ke bumi

sebaliknya sinar tampak bisa mencapai $\pm 45\%$ [8]. Untuk itu diperlukan modifikasi struktur TiO_2 untuk memperkecil celah pita agar dapat menggeser serapan cahaya ke daerah sinar tampak yang melimpah.

Upaya yang dilakukan yaitu dengan cara memodifikasi TiO_2 dengan material berbasis karbon ialah *reduced Graphene Oxide* (rGO) [7]. Alasan rGO dapat dijadikan komposit karena memiliki nilai celah pita yang lebih kecil dari celah pita TiO_2 yaitu (1,00 – 1,69 eV) [1]. Hal ini diharapkan agar material TiO_2 -rGO mampu memperkecil celah pita sehingga dapat menggeser serapan cahaya ke daerah sinar tampak. Menurut [7] Sintesis untuk menghasilkan graphene ada 3 tahap, Pertama batang grafit dioksidasi, batang grafit yang telah teroksidasi menjadi grafit oksida kemudian dieksfoliasi menjadi *graphene oxide* (GO) dan di reduksi *graphene oxide* (GO) untuk membentuk *reduced graphene oxide* (rGO)/*graphene*, Sintesis ini dapat dilakukan menggunakan metode elektrokimia.

Menurut penelitian [14] mengkompositkan TiO_2 -*Graphene* sebagai fotokatalis untuk mendegradasi larutan metilen biru dengan bantuan sinar tampak. Penambahan material *graphene* menyebabkan energi celah pita (E_g) TiO_2 dari 3,19 eV menjadi 2,71 eV yang setara dengan panjang gelombang sinar tampak 459 nm, memberikan efisiensi degradasi metilen biru mencapai 98,8%, tetapi metode reduksi GO menjadi rGO yang dilakukan menggunakan agen pereduksi *hidrazin hidrat* memiliki sifat yang berbahaya dan bersifat karsinogenik sehingga perlu dikembangkan penelitian lanjutan untuk memilih agen pereduksi yang lebih aman dan tidak berbahaya. Menurut penelitian [5] aluminium dipilih sebagai agen pereduksi dalam sintesis *reduced graphene oxide* (rGO) karena memiliki sifat yang tidak berbahaya, tidak beracun, mudah diperoleh, ramah lingkungan. Menurut [12], Adapun urutan deret volta yaitu Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Cd dan Ni, semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret volta menandakan logam semakin reaktif atau semakin mudah melepas elektron dan logam merupakan reduktor (donor elektron) yang kuat.

Berdasarkan uraian diatas maka pada penelitian ini akan dilakukan sintesis fotokatalis TiO_2 -rGO menggunakan metode hidrotermal [14]. Sintesis rGO dilakukan menggunakan metode elektrokimia. Bahan Graphene direduksi menjadi rGO secara *in-situ* dengan penambahan Al sebagai agen pereduksi. mengacu pada penelitian[5]. Hal ini memiliki kebaruan karena belum ditemukan publikasi yang membahas sintesis TiO_2 -rGO dengan agen pereduksi Al. Material yang didapatkan kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD, DR UV-VIS, FT-IR. Uji Aktivitas fotokatalisis TiO_2 -rGO dievaluasi terhadap degradasi larutan metilen biru dengan bantuan sinar tampak.

2. BAHAN DAN METODE

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah batang pengaduk, botol semprot, erlenmeyer, neraca analitik, magnetic stirrer, gelas beaker, hot plate, Lampu *Light Emitting Diode* (LED flood light 20 W Watt BE 6205, *warm white*), Lampu UV, oven, pH universal pipet tetes, *power supply*, sonikator, spatula, *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FT-IR) merek *Shimadzu*, *X-ray diffractometer* (XRD) merek *XPert Pro PANalytical* Pw 30/40, *Diffuse Reflectance* UV-VIS (DR UV-VIS) merek *Agilent Technologies Cary 60*, reaktor fotokatalisis, spektrofotometer UV-Vis (*Shimadzu* UV-128).

Bahan yang digunakan adalah: *graphite rod* 0,8-40 mm (China Rongxing), asam klorida (HCl) Merck, asam nitrat (HNO_3) 78% Merck, asam sulfat (H_2SO_4) 98%, etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 90% Merck, titanium dioksida komersial (TiO_2) Sigma Aldrich, Aluminium (Al) Merck dan Akuades.

2.1 Sintesis Graphene Oxide (GO)

Batang *grafit rod* dikarakterisasi terlebih dahulu dengan XRD dan FT-IR. Sintesis rGO dilakukan secara *in-situ* menggunakan metode elektrokimia [2]. Pertama - tama dibuat larutan H_2SO_4 dan HNO_3 masing-masing dalam 3 variasi konsentrasi, yaitu 0,5M, 1M, dan 2M. Kemudian dibuat campuran H_2SO_4 dan HNO_3 dengan perbandingan 3:1 sebanyak 65 mL. Perangkat elektrokimia dirangkai dengan menghubungkan grafit rod sebagai sel anoda dan plat stainless sebagai sel katoda. Beda potensial diantara sel anoda dan katoda diatur 3V menggunakan *power supply* selama 2 jam hingga terbentuk suspensi. Suspensi yang terbentuk disonikasi selama 30 menit lalu diikuti proses sentrifuse selama 10 menit hingga terbentuk supernatan. Selanjutnya supernatan disonikasi kembali selama 20 menit dengan akuades dan disentrifuse selama 10 menit. Setelah itu disaring dan dicuci dengan akuades sampai pH 5. Residu yang dihasilkan kemudian dioven selama 2 jam pada suhu 100°C . Perlakuan yang sama dilakukan pada variasi konsentrasi 0,5-2 M hingga didapatkan kristal GO.

2.2 Sintesis Reduced Graphene Oxide (rGO)

Sintesis reduced graphene oxide (rGO) merujuk pada penelitian Fan [5] dengan modifikasi penambahan Al sebagai pereduksi. Pertama-tama dibuat suspensi GO dengan melarutkan 200 mg grafit oksida kedalam 200 ml akuades, kemudian disonikasi selama 2 jam. GO yang didapat setelah itu direduksi dengan menambahkan 1g Aluminium dan 10 ml HCl (35%) diaduk dan diamkan selama 30 menit dan ditambahkan HCl 0,5 M sebanyak 5 ml, kemudian larutan disaring dan dicuci dengan akuades dan etanol sampai pH netral. Lalu dikeringkan pada suhu 90°C di dalam oven selama 3 jam, Selanjutnya kristal rGO yang diperoleh dikarakterisasi dengan XRD dan FTIR.

2.3 Sintesis TiO₂-rGO

Komposit fotokatalis TiO₂-rGO disintesis mengacu pada penelitian Rong [14]. Pertama-tama 0,5 g rGO dilarutkan dalam campuran H₂O (80 mL) dan etanol (40 mL) kemudian disonikasi selama 2 jam. Selanjutnya, ditambahkan 2 g TiO₂ dan diaduk selama 2 jam, hingga didapatkan suspensi yang homogen. Suspensi dipindahkan kedalam autoklaf tertutup pada suhu 120°C selama 7 jam. Endapan yang terbentuk disaring dan dicuci dengan air demineral beberapa kali hingga didapatkan pH 5. Lalu dikeringkan pada suhu 80°C selama 7 jam untuk menghasilkan kristal TiO₂-rGO. Komposit TiO₂-rGO yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan XRD, FT-IR, dan DRS-UV.

2.4 Uji Aktivitas Fotokatalitik

2.4.1 Pengenceran Larutan Metilen Biru

Larutan induk metilen biru 1000 ppm diencerkan pada 1, 2, 3, 4 dan 5 ppm dalam 100 mL. Pengenceran dilakukan dengan cara memipet sebanyak (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5) mL kedalam labu ukur 100 mL dan ditepatkan dengan akuades hingga tanda batas.

2.4.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru

Panjang gelombang maksimum (λ_{max}) larutan metilen biru ditentukan menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis. Scanning dilakukan pada rentang panjang gelombang sinar tampak 380-780 nm.

2.4.3 Pembuatan Kurva Standar

Pembuatan kurva standar dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan metilen biru (1, 2, 3, 4 dan 5) ppm pada panjang gelombang maksimum (λ_{max}) menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil pengukuran kemudian diplotkan dalam kurva standar absorbansi (sumbu Y) terhadap konsentrasi (sumbu X), sehingga diperoleh persamaan $y=ax+b$.

2.4.4 Uji Aktivitas Degradasi Metilen Biru

Uji aktivitas degradasi metilen Biru dilakukan secara fotokatalisis. Larutan uji metilen biru dipipet sebanyak 30 mL kedalam gelas beker. Ditambahkan sebanyak 0,05 g katalis dan diaduk selama 3 jam dalam reaktor fotokatalisis dengan iluminasi cahaya tampak. Pada interval waktu tertentu (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 dan 180 menit), suspensi diambil dan di sentrifuse untuk memisahkan katalis dan larutan uji. Selanjutnya diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Kinerja fotokatalitik ditunjukkan dengan efisiensi degradasi metilen biru, yang didefinisikan sebagai:

Efisiensi degradasi

$$(\%D) = (C_0 - C) / C_0 \times 100\% \quad (1.1)$$

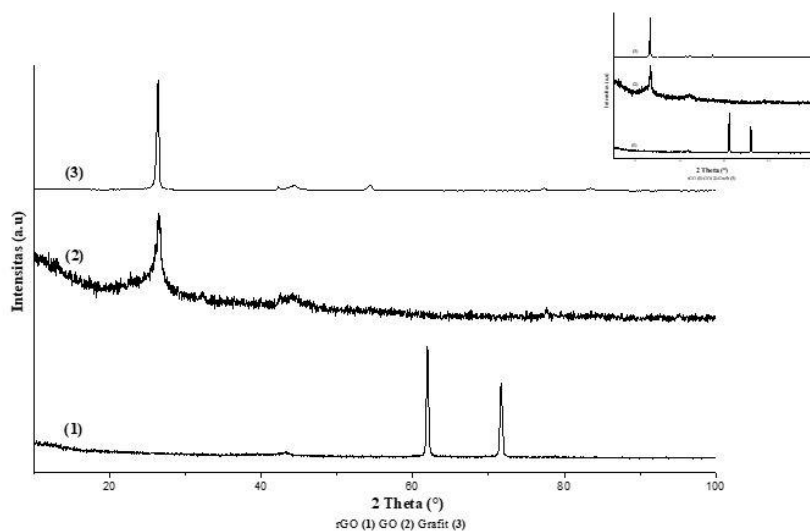
dimana C_0 (mg L^{-1}) adalah konsentrasi awal metilen biru, C adalah konsentrasi metilen biru pada waktu tertentu, [14].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

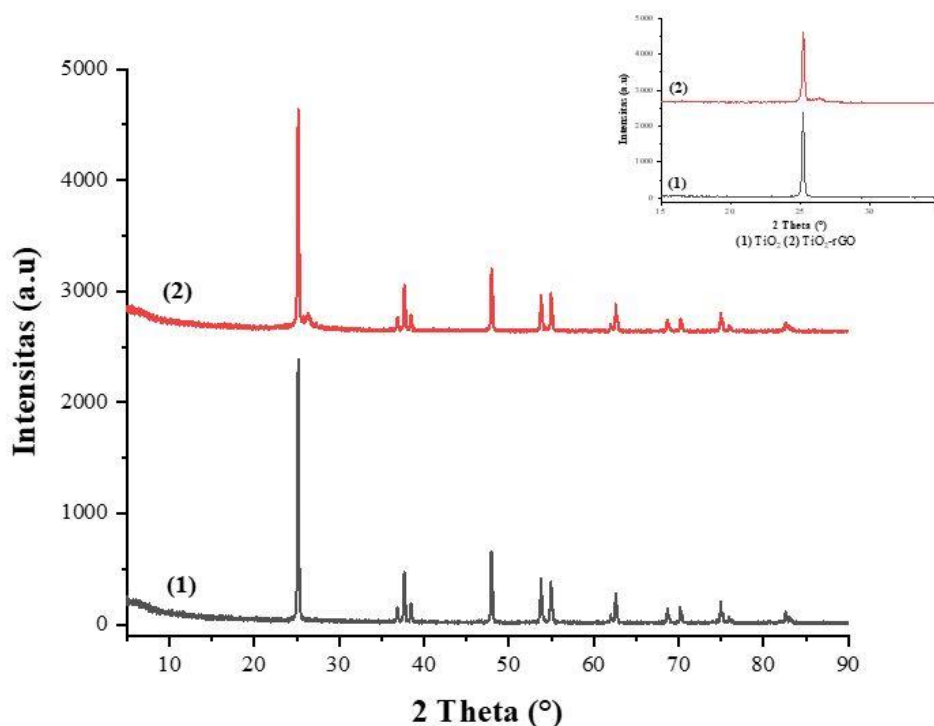
3.1 X-ray Diffraction (XRD)

XRD bertujuan untuk mengetahui ukuran kristal serta fasa kristal yang dihasilkan. Hasil karakterisasi XRD berupa difraktogram yang menunjukkan serapan sudut difraksi 2θ dan intensitas. Tiap material akan menghasilkan pola difraksi yang khas. Pengukuran XRD dilakukan dengan sumber anoda logam Cu ($\lambda=1,5406 \text{ \AA}$) pada rentang sudut difraksi 2θ (10° - 90°). Data sudut 2θ yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan literatur. Difraktogram menunjukkan struktur GO mengalami perubahan berupa pelebaran puncak dan pergeseran 2θ meskipun tidak

signifikan. Difraktogram rGO menunjukkan puncak yang semakin melebar meskipun tidak signifikan dan posisi 2θ yang bergeser ke arah yang lebih kecil, hal ini disebabkan gugus pada GO telah hilang karena adanya proses reduksi dan terdapat puncak yang tajam pada $2\theta=38,37^\circ$ dan $2\theta=44,63^\circ$. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Ilham [16] mengatakan bahwa pada puncak $2\theta=38^\circ - 45^\circ$ adalah puncak milik logam aluminium maka dapat diasumsikan puncak $2\theta=38,37^\circ$ dan $2\theta=44,63^\circ$ menandakan jika sampel rGO masih mengandung logam aluminium sisa hasil reduksi hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat logam aluminium di dalam sampel dan kemungkinan disebabkan oleh perbandingan massa yang digunakan. Pada penelitian sebelumnya oleh Fadhil dkk[4] melakukan reduksi dengan penambahan reduktor logam dengan perbandingan massa sampel dan pereduksi dengan perbandingan 1:1 tetapi pada penelitian ini menggunakan massa perbandingan 1:5, dimana GO yang digunakan 0,2 g dan aluminium logam sebagai pereduksi yang digunakan sebanyak 1 g. Dapat diasumsikan kemungkinan terjadi reduksi tetapi reduksi yang berlangsung kurang sempurna karena adanya pengotor dari sisa-sisa reduksi dari logam aluminium.



Gambar 1. Difraktogram: (1) Grafit, (2) GO, (3) rGO

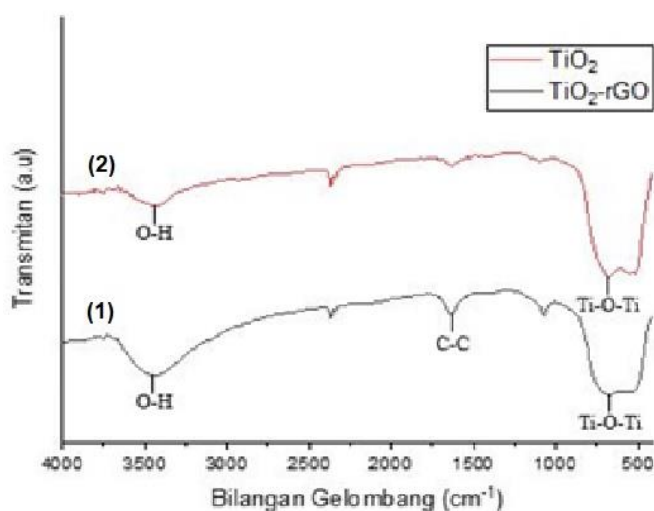


Gambar 2. Difraktogram: (1) TiO₂ dan (2) TiO₂-rGO

Berdasarkan difraktogram (Gambar.2) material TiO_2 yang digunakan menunjukkan puncak yang tajam pada $2\theta=25,06^\circ$. Puncak tersebut bersesuaian dengan data ICDD No. 98-018-3767 yang merupakan material TiO_2 fase anatase. Material TiO_2 -rGO menunjukkan difraktogram yang mirip dengan TiO_2 , namun terdapat puncak dengan intensitas kecil pada kisaran $2\theta=26,36^\circ$. Menurut Mikhaylov dkk [11] bahwa keberadaan rGO diamati puncak difraktogram pada sudut $2\theta=26,4^\circ$, apabila dibandingkan dengan difraktogram penelitian ini dengan penelitian sebelumnya memiliki kemiripan posisi sudut rGO pada difraktogram TiO_2 -rGO. Puncak tersebut diduga berasal dari puncak utama material rGO, sehingga dapat disimpulkan terjadi penggabungan rGO dengan TiO_2 .

3.2 Fourier Transform Infrared (FT-IR)

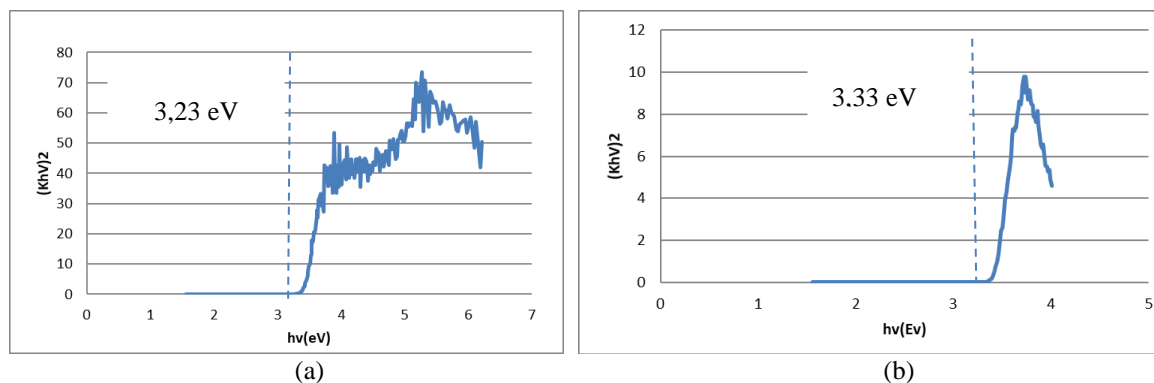
Karakterisasi FT-IR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam sampel. Spektrum TiO_2 (Gambar.3) menunjukkan adanya serapan pada bilangan gelombang sekitar 3400 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ulur dari OH gugus hidroksil dan molekul air serta terdapat serapan pada bilangan gelombang 678 cm^{-1} yang merupakan daerah serapan ikatan Ti – O – Ti pada TiO_2 [17]. Pada spektrum TiO_2 -rGO terjadi pergeseran puncak akibat atom C yang terkomposit pada TiO_2 yakni bergeser pada bilangan gelombang 650 cm^{-1} yang menggambarkan vibrasi Ti-O-C dan intensitas puncak serapan vibrasi Ti-O-Ti semakin menurun akibat pembentukan ikatan Ti-O-C dan serapan pada daerah 1630 cm^{-1} yang merupakan serapan ikatan (C-C) dari kerangka grafit [15]. Hal tersebut menandakan bahwa material TiO_2 -rGO sudah terbentuk



Gambar 3. Spektrum FTIR : (1) TiO_2 dan (2) TiO_2 -rGO

3.3 Diffuse Reflectance UV (DRUV)

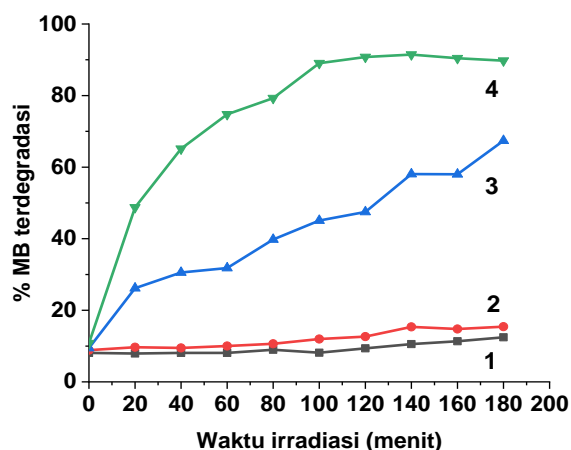
Karakterisasi menggunakan instrument bertujuan untuk mengetahui nilai celah pita dari material semikonduktor yang dihasilkan. besarnya energi celah pita akan mempengaruhi aktivitas dari fotokatalis. TiO_2 yang memiliki energi celah pita yang besar menyebabkan fotokatalis tersebut hanya mampu bekerja pada sinar UV. Oleh karena itu dikompositkan dengan rGO untuk memperkecil energi celah pita TiO_2 , atom karbon dapat terkomposit dalam TiO_2 menggantikan sebagian atom O maupun Ti. Komposit C tersebut dapat menyediakan pita konduksi di bawah pita konduksi TiO_2 , sehingga jarak antara pita valensi dan pita konduksi semakin dekat [2]. Hal tersebut menyebabkan energi yang dibutuhkan untuk elektron agar dapat tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi (celah pita) semakin kecil dan dapat bekerja dibawah sinar tampak. Dapat dilihat pada gambar menunjukkan bahwa material rGO memperkecil celah pita TiO_2 tetapi tidak terlalu signifikan, ditandai dengan kecilnya penurunan celah pita dari 3,33 eV ke 3,23 eV hanya 0,1 eV, dapat dilihat pada (gambar 4) dan didapat nilai panjang gelombang TiO_2 sebesar 378 nm dan setelah dikompositkan dengan rGO Panjang gelombang TiO_2 -rGO bergeser ke arah sinar tampak senilai 410 nm.



Gambar 4. Kurva Band Gap: (a) TiO-rGO dan (b) TiO₂

3.4 Uji Fotokatalisis Degradasi Metilen Biru (MB)

Uji aktivitas fotokatalisis TiO₂-rGO terhadap MB dibawah irradiasi sinar tampak selama 180 menit. Pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 664 nm. Pada Gambar.5.1 dapat dilihat bahwa fotolisis sinar tampak mampu mendegradasi MB (8%) dan proses adsorpsi MB oleh TiO₂-rGO (11%). Fotokatalisis MB dipermukaan TiO₂-rGO dengan bantuan irradiasi sinar tampak mampu mendegradasi 67,05%. Sebagai perbandingan dilakukan fotokatalisis dibawah irradiasi sinar UV mampu mendegradasi MB hingga 89,76%. Menggunakan TiO₂ sebagai fotokatalis dibawah irradiasi sinar tampak tidak memperlihatkan kemampuan mendegradasi MB. Penggabungan rGO dengan TiO₂ komposit TiO₂-rGO meningkatkan kemampuan menyerap energi sinar tampak memperlihatkan aktivitas yang tinggi, mampu mendegradasi MB hingga 67,05%.



Gambar 5. Kurva Degradasi MB (%) terhadap Waktu (menit): (1) Fotolisis sinar tampak; (2) Adsorpsi oleh TiO₂-rGO; Fotokatalisis TiO₂-rGO dibawah irradiasi (3) Sinar tampak dan (4) Sinar Tampak

4. KESIMPULAN

Karakteristik rGO dari grafit yang direduksi menggunakan pereduksi Aluminium ditunjukkan dari hasil pengujian analisis FT-IR hilangnya gugus fungsi C-O dari GO menjadi rGO pada bilangan gelombang 1087 cm⁻¹ menandakan telah terbentuk rGO dan Karakteristik rGO ditunjukkan dengan pengujian XRD yaitu karakteristik grafena pada sudut $2\theta=26,29^\circ$ dengan nilai d spacing sebesar 3,367 Å dan nilai ukuran kristal (D) sebesar 45,88 nm. Tetapi rGO yang terbentuk masih mengandung pengotor dari pereduksi logam aluminium akibat proses reduksi yang belum begitu sempurna. Fotokatalis TiO₂-rGO memiliki tingkat kristalinitas yang lebih tinggi dibandingkan TiO₂ dilihat dari analisis karakteristik XRD. Hasil karakterisasi menggunakan DRUV fotokatalis TiO₂ memiliki nilai celah pita sebesar 3,33 eV dan fotokatalis TiO₂-rGO sebesar 3,23 eV yang menunjukkan terjadinya penurunan celah pita TiO₂ setelah dikompositkan dengan rGO. Aktivitas fotokatalitik TiO₂ dibawah sinar tampak mengalami peningkatan setelah dikompositkan dengan rGO, dimana fotokatalis TiO₂-rGO meningkatkan aktivitas fotokatalitik hingga mampu mendegradasi MB sebesar 67,05%.

PUSTAKA

- [1] Abid., Sehwawat, P., Islam, S.S., Mishra, P., & Ahmad,S., 2018 , Reduced Graphene Oxide (rGO) Based Wideband Optical Sensor and The Role of Temperature, Defect States and Quantum Efficiency. SCIENTIFIC REPORTS [8] Coros, M., pogacean, F., dan Rosu, M.C..
- [2] Coros, M., Pogacean, F., Rosu,M.C., Socaci, C., Borodi, G., Magerusan, L., Biris, A.R., & Pruneanu, S., 2016, Simple and Cost-Effective Synthesis of Graphene by Electrochemical Exfoliation of Graphite Rods. RSC Sdv, 6, 2651-2661
- [3] Dozzi, M. V., & Selli, E. (2013). Komposit TiO₂ with p-block elements: Effects on photocatalytic activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 14(1), 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2012.09.002>
- [4] Fadhil, Asy'ari, A., 2020, Sintesis Grafena Oksida Tereduksi (rGO) dan Seng Oksida (ZnO) dari Arang Tempurung Kemiri (Aleuritas moluccana), Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alaudin Makasar
- [5] Fan, Z., Wang, K., Wei, T., Yan, J., Song, L., Shao, B. 2010. An Environmentally Friendly and Efficient Route for The Reduction of Graphene Oxide by Aluminum Powder. *CARBON* 48: 1 670-1692
- [6] Fatimah., I., 2009, “Dispersi TiO₂ ke dalam SiO₂-Montmorillonit: Efek Jenis Prekursor”, *Jurnal Penelitian Saintek*, 14, no.1
- [7] Husnah, M., Fakhri, H. A., Rohman, F., Aimon, A. H., & Iskandar, F., 2017,. A Modified Marcano Method For Improving Electrical Properties Of Reduced Graphene Oxide A Modified Marcano Method For Improving Electrical Properties Of Reduced Graphene Oxide (rGO), *Mater.Res.Express*, 4
- [8] Kumar, S.G., and Devi, L.G., 2011, Review and Modified TiO₂ Photocatalysis under UV/Visible Light Selected Results and Related Mechanisms on Interfacial Charge Carrier Transfer Dynamics, *The Journal of Physical Chemistry*, 115:13211-52397
- [9] Ljubas, D., Curcovic, L., Dobrovic, S., 2010, Photocatalytic degradation of an Azo Dye by UV Irradiation at 254 and 365 nm, *Transactions of Famena XXXIV*
- [10] Miclescu, A., & Wiklund, L., 2010, Methylene Blue, an Old Drug With New Indications, *Jurnalul Român de Anestezie Terapie Intensivă*, 17(1), 35–41
- [11] Mikhaylov, P A, M I Vinogradov, I S Levin, G A Shandryuk, A V Lubenchenko, V G Kulichikin, 2019, “Synthesis and Characterization of Polyethylene Terephthalate-Reduced Graphene Oxide Composites” *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering* 093 (November): 012036
- [12] Muslih M, 2019, *Kajian Tentang Hubungan Deret Volta dan Korosi Serta penggunaannya Dalam Kehidupan Sehari hari*, Semnastek UISU, ISBN : 978-623-7297-02-4
- [13] Prado, A.G.S., Bolzon, L.B., Pedroso, C.P., Moura, A.O., & Costa, L.L., 2008, Nb₂O₅ as Efficient and Recyclable Photocatalyst for Indigo Carmine Degradation, *Appl.Catal.B:Environ*, 82, 219–224
- [14] Rong, X., Qiu, F., Zhang, C., Fu, L., Wang, Y., and Yang, D., 2014, Preparation Characterization and Photocatalytic Application of TiO₂ -graphene Photocatalyst Under Visible Light Irradiation, *Ceramics International*, 41(2), 2502-2511
- [15] Shen, J., Shi, M., Yan, B., Ma, H., Li, N., an Ye, M., 2011, Ionic Liquid-assited One-Step Hydrothermal Synthesis of TiO₂ -rGO Composites, *Nano Research*, 4(8).
- [16] Taufiq Ilham, M., 2020, Analisis X-Ray Difrraction (XRD) Pada Brazing Alumunium Seri 1000 Stainless steel Seri 304 Dengan Penambahan Serbuk Tembaga, *Fakultas Teknik*
- [17] Zhang Yupeng and Pan Chunxu., 2011, TiO₂/graphene composite from thermal reaction of graphene oxide and its photocatalytic activity in visible light, *Springer*