



e-ISSN Number
2655 2967

Available online at <https://jurnal.teknologiindustriumi.ac.id/index.php/JCPE/index>

Journal of Chemical Process Engineering

Volume 05 Nomor 02 (2020)



SINTA Accreditation
Number 28/E/KPT/2020

Sintesis Komposit Berbasis TiO₂-kitosan Menggunakan Metode Hidrotemal (*Synthesis Composite Based of TiO₂-kitosan Using Hydrothermal Method*)

Utin Widiatannur, Thamrin Usman, Winda Rahmalia

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura
Jl. Prof. Dr. Hadari Nawawi, Pontianak 78124, Indonesia

Inti Sari

Dalam penelitian ini telah dilakukan sintesis komposit TiO₂-kitosan yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik komposit TiO₂-kitosan dibandingkan dengan TiO₂ murni. Sintesis komposit TiO₂-kitosan dilakukan menggunakan metode hidrotermal dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 300°C. Kitosan yang didopingkan pada TiO₂ divariasikan konsentrasinya dari 1,0; 1,5; dan 2,0% b/v. Hasil analisis dengan menggunakan FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi Ti-O, Ti-N, -O-Ti-OH/NH₂, OH, N-H, C-H, C=O yang mengindikasikan bahwa komposit TiO₂-kitosan telah terbentuk. Hasil karakterisasi XRD memperlihatkan bahwa fase kristalin didominasi oleh fase TiO₂ anatase. Hasil karakterisasi menggunakan DR-UV menunjukkan nilai energi celah pita komposit TiO₂-kitosan dengan konsentrasi kitosan yang ditambahkan 1,0; 1,5; dan 2,0 %b/v berturut-turut adalah sebesar 2,92; 2,49; 2,45 eV, lebih rendah dibandingkan dengan energi celah pita TiO₂ murni (3,13 eV). Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sintesis TiO₂-kitosan telah berhasil dilakukan dan dapat menurunkan energi celah pita dari TiO₂.

Kata Kunci: Doping, Energi celah pita, Kitosan, Komposit, TiO₂

Key Words : Doping, energy gap, Chitosan, Composite, TiO₂

Abstract

In this study, the synthesis of TiO₂-chitosan composite has been done. The research aims to determine the characteristics of TiO₂-chitosan composite compared to pure TiO₂. Synthesis of TiO₂-chitosan composite was carried out by using the hydrothermal method followed by calcination at 300°C. The concentration of chitosan doped on TiO₂ varied from 1.0; 1.5; and 2.0% w/v. The synthesized products were analyzed using XRD, FTIR and DR-UV. The result of the analysis using FTIR showed the presence of Ti-O, Ti-N, -O-Ti-OH/NH₂, O-H, N-H, C-H, C=O functional groups, indicated that TiO₂-chitosan composites had been successfully formed. The XRD analysis result showed that the crystalline phase was dominated by the anatase TiO₂. Based on the DR-UV analysis result, the band gap energy values of the TiO₂-chitosan composites with chitosan concentration added 1.0; 1.5; 2.0% w/v are 2.92; 2.49; 2.45 eV respectively, lower than the pure TiO₂ band gap energy (3.13 eV). Based on the result obtained, it can be concluded that the synthesis of TiO₂-chitosan has been successfully done and can reduce the band energy of TiO₂.

Published by

Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)
Makassar- Sulawesi Selatan

Corresponding Author

winda.rahmalia@chemistry.untan.ac.id



Journal History

Paper received : 04 Maret 2020

Received in revised : 05 Juli 2020

Accepted: 09 Desember 2020

PENDAHULUAN

Titanium dioksida (TiO_2) atau titania merupakan salah satu senyawa oksida semikonduktor yang relatif *inert* dibandingkan dengan senyawa lain. TiO_2 banyak digunakan untuk berbagai aplikasi antara lain bidang fotokatalis, fotoelektrokimia dan fotovoltaiik. TiO_2 memiliki keunggulan diantaranya tidak beracun, memiliki fotoaktivitas fotokatalis yang baik, harganya murah, berlimpah, tidak larut dalam air, luas permukaan besar dan stabilitas kimia tinggi [1]. TiO_2 merupakan bahan semikonduktor yang memiliki sifat optik yang baik dan mempunyai nilai energi celah pita (*band gap energy*) yang lebar yaitu 3,2 eV yang hanya aktif dibawah cahaya ultraviolet [2].

Penerapan TiO_2 untuk daerah sinar tampak dapat dilakukan dengan memodifikasi struktur kimianya sehingga terjadi pergeseran penyerapan spektrum ke daerah sinar tampak. Salah satu modifikasi struktur kimia TiO_2 yang dilakukan adalah dengan penambahan *doping*. Penambahan *doping* pada TiO_2 umumnya menggunakan logam. Modifikasi menggunakan *doping* logam dapat berdampak pada timbulnya limbah logam yang berbahaya untuk lingkungan.

Alternatif lain yang dapat digunakan sebagai *doping* pada TiO_2 yaitu senyawa organik. Senyawa organik yang dapat digunakan salah satunya yaitu biopolimer kitosan. Kitosan merupakan senyawa biopolimer turunan kitin yang bersifat *non-toksik* dan *biodegradable* sehingga ramah lingkungan.

Kitosan memiliki gugus aktif $-\text{NH}_2$ dan $-\text{OH}$, yang mana gugus ini dapat berikatan dengan TiO_2 melalui interaksi atom Ti sebagai asam lewis dengan atom N dari gugus NH_2 sebagai basa lewis [3]. Menurut penelitian Huang *et al.* [4] komposit TiO_2 -kitosan menunjukkan spektrum absorpsi pada daerah UV-Vis yang diindikasikan dengan adanya hibridisasi TiO_2 -kitosan. Energi celah pita TiO_2 menurun dengan adanya *doping* kitosan dari 3,2 eV menjadi 3,0 eV [5].

Pada umumnya pemberian *doping* TiO_2 dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti hidrotermal [6], sol-gel dan solvotermal. Dari berbagai metode tersebut, hidrotermal dipilih karena relatif mudah dan memiliki beberapa keunggulan yaitu menggunakan pelarut air, mampu menghasilkan kristal yang homogen pada suhu rendah, dapat mengurangi penggumpalan diantara partikel, menghasilkan distribusi ukuran partikel yang relatif seragam dan menghasilkan kemurnian produk yang tinggi [7].

Berdasarkan uraian diatas dilakukan sintesis TiO_2 -kitosan dengan variasi konsentrasi kitosan (1,0; 1,5 dan 2,0% b/v) dengan menggunakan metode hidrotermal. Pengaruh konsentrasi kitosan terhadap struktur dan karakteristik material TiO_2 -kitosan dipelajari menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD), *UV-Diffuse Reflectance* (DR-UV), dan *Fourier Transform InfraRed* (FTIR). XRD untuk mengkonfirmasi jenis mineral, kristalinitas, DR-UV digunakan untuk mengetahui besar energi celah pita, serta spektrofotometri FTIR untuk mempelajari gugus fungsional karakteristik material TiO_2 -kitosan.

METODE PENELITIAN

Pembuatan larutan kitosan menggunakan kitosan komersial dengan derajat deasetilasi 85%. Kitosan dipreparasi dengan dilarutkan ke dalam 25 mL asam asetat 3% (v/v) dalam gelas piala dengan variasi konsentrasi (1,0; 1,5; dan 2,0% b/v) pada Tabel 1. Larutan dikocok menggunakan *shaker* inkubator selama 24 jam dengan kecepatan 250 rpm (*rotation per minutes*), lalu larutan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruangan untuk menghilangkan gelembung udara.

Sintesis TiO_2 -kitosan dilakukan dengan memodifikasi metode Saputro *et al.* [8]. Sebanyak 2,5 g bubuk TiO_2 anatase dicampurkan kedalam larutan kitosan dengan *magnetic stirrer* selama 24 jam hingga terbentuk pasta, kemudian disonikasi selama 6 jam (*Bransonic 50-60 Hz*). Campuran TiO_2 -kitosan dipindahkan kedalam *autoclave* untuk proses hidrotermal pada suhu 100°C selama 2 jam. Komposit TiO_2 -kitosan yang sudah dihidrotermal selanjutnya dikalsinasi menggunakan tanur dengan suhu 300°C selama 3 jam. Hasil komposit TiO_2 -kitosan yang telah dikalsinasi akan berbentuk serbuk yang kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD, DR-UV, dan FTIR.

Tabel 1. Komposisi dari Preparasi TiO_2 -kitosan

Sampel	Konsentrasi Kitosan (g)	Asam Asetat (mL)
TK ₁	1,0	25
TK _{1.5}	1,5	25
TK ₂	2,0	25

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposit TiO_2 -kitosan (1,0; 1,5; dan 2,0 % b/v) (kemudian disebut TK₁, TK_{1.5} dan TK₂) pada penelitian ini dibuat menggunakan kitosan berbentuk serbuk dan memiliki derajat deasetilasi sebesar 85%.

Derajat deasetilasi merupakan parameter tingkat kemurnian dari kitosan. Semakin tinggi derajat deasetilasi kitosan menandakan bahwa semakin banyaknya gugus amino yang terdapat pada struktur kitosan [9].

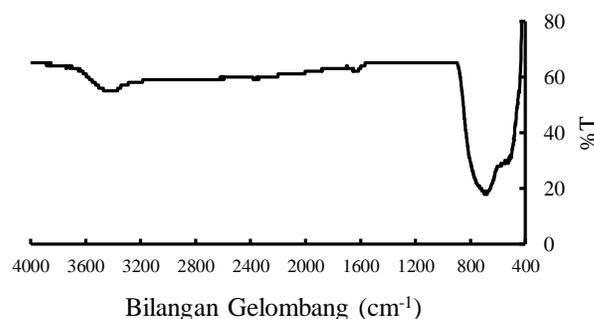
Serbuk kitosan yang digunakan kemudian dilarutkan ke dalam asam asetat karena kitosan tidak larut dalam air dan larut baik dalam asam organik seperti asam asetat [10]. Proses pelarutan kitosan dalam asetat akan mengakibatkan terbentuknya ikatan hidrogen antara gugus amina pada kitosan dan gugus karboksil pada asetat [11].

Preparasi komposit TiO₂-kitosan dilakukan dengan cara *doping* kitosan pada TiO₂. *Doping* kitosan dilakukan dengan metode hidrotermal. Pada proses hidrotermal sampel dimasukkan kedalam *autoclave*, kemudian dimasukkan kedalam oven. Temperatur yang digunakan dalam penelitian ini adalah 100°C selama 2 jam. Setelah itu *autoclave* dikeluarkan dari oven dan ditunggu sampai dingin baru kemudian dibuka dan sampel komposit dikeluarkan dari *autoclave*.

Komposit TiO₂-kitosan yang sudah dihidrotermal selanjutnya dikalsinasi menggunakan tanur dengan suhu 300°C selama 3 jam. Suhu kalsinasi sebesar 300°C digunakan karena pori dan volume pori hasil komposit relatif terhadap luas permukaan. Lin *et al.* [12], melaporkan bahwa suhu 300°C merupakan suhu optimum untuk menghasilkan ukuran pori, volume pori dan luas permukaan dari hasil komposit yang didapatkan. Produk TiO₂-kitosan hasil kalsinasi kemudian dikarakterisasi menggunakan DR-UV, FT-IR dan XRD.

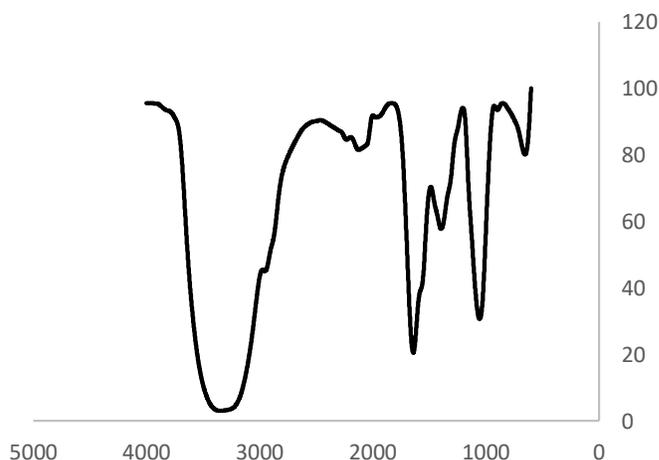
Analisis menggunakan spektrofotometer FTIR dengan gelombang elektromagnetik infra merah pada bilangan gelombang 400-4000 cm⁻¹ bertujuan untuk mengetahui gugus fungsional yang terdapat pada TiO₂, kitosan, dan TiO₂-kitosan.

Spektrum FTIR pada **Gambar 1**. menunjukkan adanya puncak serapan tajam pada bilangan gelombang pada 680 cm⁻¹ yang mengindikasikan vibrasi O-Ti-O. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan Li *et al.* [13], bahwa puncak serapan TiO₂ berada pada rentang bilangan gelombang 400-900 cm⁻¹.

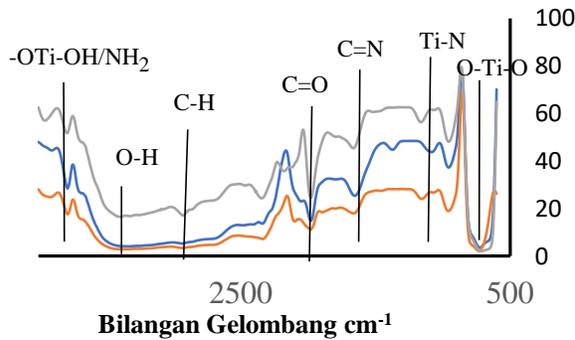


Gambar 1. Spektrum FTIR TiO₂

Spektra FTIR kitosan yang disajikan pada **Gambar 2**. menunjukkan adanya puncak serapan khas dari kitosan diantaranya pada bilangan gelombang 3400-3300 cm⁻¹ yang mengindikasikan vibrasi *stretching* dari N-H dan -OH yang saling tumpang tindih, 1641 cm⁻¹ yang mengindikasikan vibrasi *bending* dari C=O, 1395 cm⁻¹ yang mengindikasikan vibrasi *bending* dari C=N; dan 1084 cm⁻¹ yang mengindikasikan vibrasi *bending* dari -OH.



Gambar 2. Spektrum FTIR kitosan (Herningtrias, 2016)



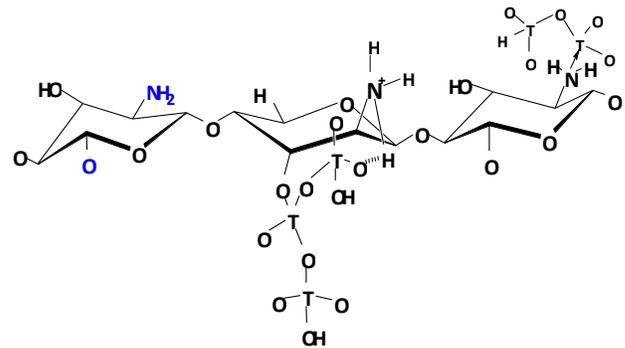
Gambar 3. Data spektra IR, Jingga (TK₁) Biru (TK_{1,5}) dan Abu (TK₂)

Spektra TiO₂-kitosan (TK₁, TK_{1,5} dan TK₂) (**Gambar 3.**) memperlihatkan munculnya puncak baru yang berasal dari jaringan TiO₂-kitosan yang menyerap pada bilangan gelombang 955-957 cm⁻¹. Menurut penelitian Fajriati *et al.* [3] puncak yang menyerap pada bilangan gelombang 962-945 cm⁻¹ merupakan puncak TiO₂ yang terinduksi dalam kitosan melalui interaksi atom Ti sebagai asam lewis dengan atom N dari gugus NH₂ sebagai basa lewis. Berdasarkan data spektrum diatas, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi kitosan, maka semakin tajam pula puncak spektrum TiO₂-kitosan pada bilangan gelombang 600-900 cm⁻¹.

Puncak serapan pada bilangan gelombang 3788-3784 cm⁻¹ mengindikasikan adanya ikatan hidrogen antara Ti-O dengan gugus -NH₂ atau -OH. Hal ini sesuai penelitian yang dilakukan Fajriati *et al.* [3] yang mengatakan bahwa puncak serapan pada rentang bilangan gelombang 3749-3873 cm⁻¹ mengindikasikan serapan gugus -O-Ti dengan gugus NH₂ atau -OH dari kitosan yang relatif lebih kuat. Adanya gugus N-H menunjukkan adanya kitosan didalam sampel karena setiap struktur kitosan akan mengandung gugus N-H yang berasal dari senyawa amina yang terikat pada strukturnya [14].

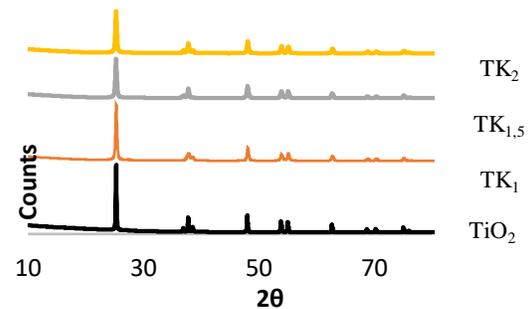
Mekanisme interaksi secara hipotetik antara TiO₂ dan kitosan diilustrasikan pada **Gambar 4.** Reaksi menunjukkan bahwa gugus -OH dari kitosan dan Ti dari permukaan TiO₂ bereaksi. TiO₂ berikatan dengan gugus -NH₂ dari kitosan sehingga terbentuk nanokomposit TiO₂-kitosan. TiO₂ yang telah berikatan

dengan kitosan akan bereaksi dengan TiO₂ lain yang larut dalam air [8].



Gambar 4. Interaksi antara TiO₂ dan kitosan (Fajriati *et al* 2017)

Analisis menggunakan XRD dilakukan untuk mengetahui karakteristik kristalinitas, ukuran kristal dan parameter kisi kristal. Pola difraktogram dari TiO₂ dan TiO₂-kitosan kitosan (TK₁, TK_{1,5} dan TK₂) disajikan pada **Gambar 5.**



Gambar 5. Difraktogram Sinar-X TiO₂ dan TiO₂-Kitosan.

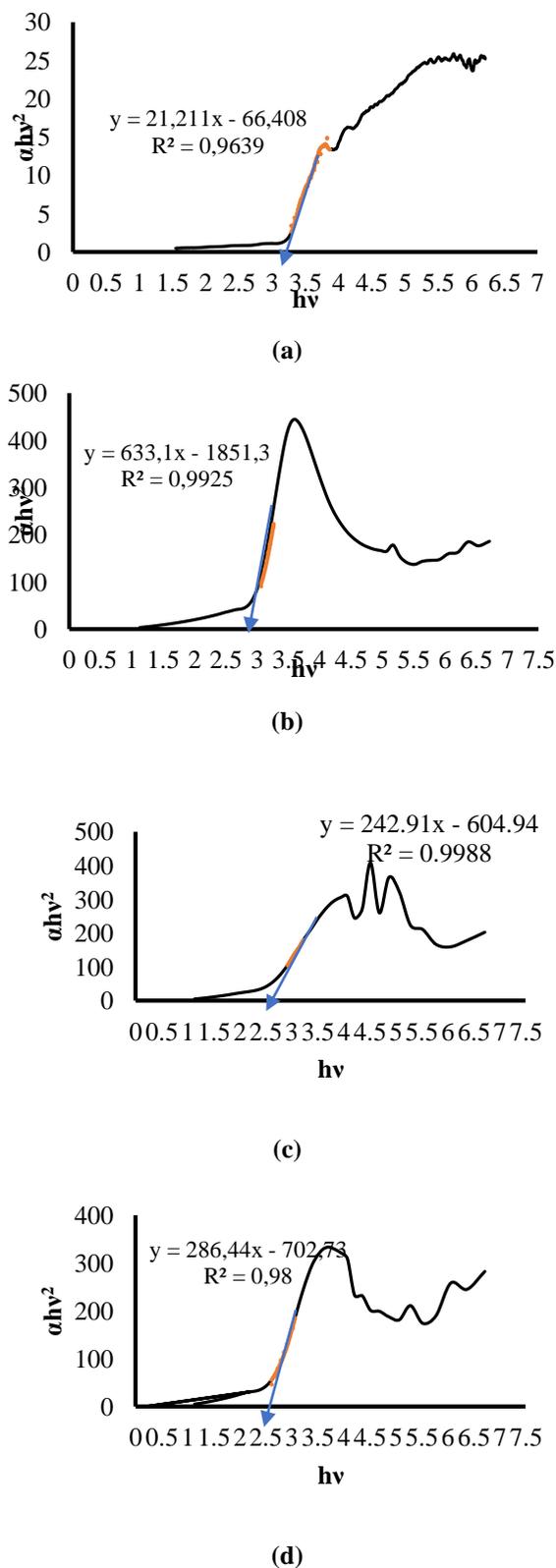
Hasil difraktogram dari TiO₂ memiliki puncak difraksi yaitu pada sudut 2θ dari munculnya puncak-puncak tertinggi berturut-turut yaitu 25,25°; 37,73°; 47,96°; 53,82° dan 54,98° yang merupakan fase kristalin anatase tetragonal dan sesuai dengan *hkl* masing-masing yaitu (101), (004), (200), (105) dan (211). Pola difraksi TiO₂ tersebut berdasarkan dengan standar ICDD No 01-07207058.

Puncak tertinggi dimiliki oleh orientasi bidang (101) dan tampak semua puncak murni didominasi oleh fase anatase dengan struktur tetragonal, namun terdapat puncak tambahan yaitu pada 2θ 27,47° yang terkait dengan adanya kitosan. Adanya kitosan tidak mengubah struktur tetragonal dari

TiO₂. Puncak kitosan muncul pada sudut 2 θ 10°-40°. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan Saravanan *et al.* [5], yang menyebutkan bahwa kitosan muncul pada puncak 10,62°-40,00°.

Ukuran kristal TiO₂ dan TiO₂-kitosan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Debye Scherrer*. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode *Debye Scherrer* diperoleh TiO₂ memiliki ukuran kristal yang lebih besar yaitu sebesar 51,57 nm dibandingkan TiO₂-kitosan yang memiliki ukuran 25,78 nm. Ukuran kristal pada TiO₂-kitosan dengan presentase yang berbeda memiliki nilai yang sama, sehingga hal ini menunjukkan secara umum ukuran kristal pada bidang (101) tidak berpengaruh signifikan ketika presentase *doping* kitosan meningkat. Penambahan *doping* mampu mempengaruhi sifat fisik dari TiO₂ seperti naiknya kristalinitas, luas permukaan dan ukuran kristal. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan Saravanan *et al.* [5], yang menyatakan penambahan *doping* kitosan akan membuat ukuran kristal menurun dari 14,2 nm menjadi 11,5 nm. Proses hidrotermal akan menyebabkan interaksi antar reaktan menjadi sempurna, dan pembentukan inti kristal berlangsung optimal, sehingga produk yang didapat bersifat kristalin [15].

Karakterisasi DR-UV mampu memberikan informasi besar nilai energi celah pita dari TiO₂-kitosan. Data absorbansi dan panjang gelombang dapat diolah menggunakan metode *touch plot*. Metode *touch plot* merupakan penarikan garis lurus antara perkalian energi serap ($h\nu$) dengan koefisien yang diserap $(ah\nu)^2$, hingga memotong sumbu energi dan di peroleh nilai celah pita energi TiO₂-kitosan. Dimana setelah itu dibuat grafik hubungan antara $h\nu$ dan $(ah\nu)^2$ dan ditarik garis yang bersinggungan dengan titik belok pada kurva, serta nilai $h\nu$ dari sumbu horizontal adalah nilai energi celah pita tersebut seperti terlihat pada **Gambar 6**. Sampel komposit TiO₂-kitosan pada penelitian ini menggunakan metode *touch plot*, sehingga diperoleh nilai energi celah pita (E_{gap}) yang ditunjukkan oleh pergeseran bilangan gelombang TiO₂ dan TiO₂-kitosan untuk setiap variasi konsentrasi kitosan (lihat **Tabel 2**).



Gambar 6. Energi celah pita TiO₂ (a), TK₁ (b), TK_{1,5} (c), dan TK₂ (d)

Tabel 2. Energi celah pita TiO₂ dan TK₁, TK_{1,5} dan TK₂

Sampel	λ_{\max} (nm)	E _{gap} (eV)
TiO ₂	396	3,13
TK ₁	424	2,92
TK _{1,5}	498	2,49
TK ₂	506	2,45

Tabel 2. memperlihatkan energi celah pita masing masing material TiO₂ dan TK₁, TK_{1,5} dan TK₂. Lebar celah pita energi TiO₂ yang diperoleh adalah 3,13 eV (dengan panjang gelombang 396 nm). Penambahan *doping* kitosan pada TiO₂ dapat menurunkan energi celah pita TiO₂-kitosan yaitu pada TK₁ menjadi 2,9 eV (dengan panjang gelombang 424 nm), TK_{1,5} sebesar 2,49 eV (dengan panjang gelombang 498 nm) dan TK₂ sebesar 2,45 eV (dengan panjang gelombang 506 nm), sehingga dimungkinkan komposit TiO₂-kitosan dapat aktif pada sinar tampak.

Energi gap yang dihasilkan semakin kecil seiring dengan meningkatnya persentase kitosan, hal ini sesuai dengan penelitian Saravanan *et al.* [5] yang mengatakan bahwa energi *bandgap* TiO₂ menurun dengan adanya *doping* kitosan. Energi *band gap* TiO₂ menurun disebabkan adanya *doping*/pengotor dalam material TiO₂ sehingga lebar celah pita energinya bergeser [16]. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *doping* kitosan mengakibatkan terjadinya perubahan sifat optik pada material TiO₂.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa komposit TiO₂-kitosan telah berhasil disintesis melalui metode hidrotermal. Interaksi antara TiO₂ dan kitosan dimungkinkan terjadi melalui ikatan hydrogen antara O dari TiO₂ dengan N dari kitosan. Energi celah pita komposit TiO₂-kitosan (TK₁, TK_{1,5} dan TK₂) berturut-turut adalah 2,92; 2,49 dan 2,45 eV. Dan tidak terjadi perubahan signifikan untuk ukuran kristal TK₁, TK_{1,5} dan TK₂ yaitu dengan ukuran kristal sebesar 25,78 nm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Gusrizal S.Si., M.Si dan Imelda, H. Silalahi, Ph.D atas diskusi dan masukan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haider, A. J. Jameel. Z. N. & Al-Hussaini, I. H. M. (2019). Review on: Titanium Dioxide Applications, Energy Proedia, 157, 17-29.
- [2] Indriyani, Y., Sutanto, H. & Nurhasanah, I. (2017). Analisis Sifat Optis Lapisan Tipis TiO₂:N untuk Fotodegradasi Direct Blue 71. Jurnal Ilmiah Teknosains, 3(2), 98-103.
- [3] Fajriati, I., Sedyadi, E. & Sudarlin. (2017). Sintesis Komposit Film Kitosan-TiO₂ Menggunakan Sorbitol sebagai Plasticizer. Jurnal Penelitian Kimia, 13(1), 75-94.
- [4] Huang, K. S., Grumezescu, A. M. & Chang, C. Y. (2014). Immobilization and Stabilization of TiO₂ Nanoparticles in Alkaline-Solidified Chitosan Sphere Without Cross-Linking Agent. International Journal of Latest Research in Science and Technology, 3(2), 174-178.
- [5] Saravanan, R., Aviles, J. & Gracia, F. (2018). Crystallinity and Lowering Band Gap Induced Visible Light Photocatalytic Activity of TiO₂-CS (Chitosan) Nanocomposite. International Journal of Biological Macromolecules, 109, 1239-1245.
- [6] Setyani, A. & Wibowo, A. P. (2017). Fabrikasi *Nanotubes* Titanium Dioksida (TiO₂) Menggunakan Metode Hidrotermal. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia. 3(1), 20-26.
- [7] Shandilya, M., Rai, R. & Singh, J. (2016). Review: Hydrothermal Technology for Smart Materials. Advances in Applied Ceramics, 115(6), 354-376.
- [8] Saputro, A. G. C., Mulyani, B. & Nurhayati, N. D. (2016). Uji Kinerja Fotodegradasi Kain Terlapisi Komposit Nanosized Chitosan/TiO₂ Terhadap Zat Warna Rodhamine B. Jurnal Kimia Valensi, 2(1), 45-54.
- [9] Chatelet, C., Damour, O. & Domard, A. (2001), Influence of Degree of Acetylation on Some Biological Properties of Chitosan Films. Biomaterials, 22(3), 261-268.
- [10] Kusumawati, N. & Tania, S. (2012). Pembuatan dan Uji Kemampuan Membran Kitosan sebagai Membran Ultrafiltrasi untuk Pemisahan Zat Warna Rhodamin B. Jurnal Molekul. 7(1), 43-52.

- [11] Khamidah, I. N., Djunaidi, M. C. & Khabibi. (2011). Pemanfaatan Kitosan Termodifikasi Asam Askorbat sebagai Adsorben Ion Logam Kobalt (II) dan Nikel (II). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 14(1), 21-25.
- [12] Lin, Y. H., Weng, C. H. & Srivastav, A.I. (2015). Facile Synthesis and Characterization of N-Doped TiO₂ Photocatalyst and Its Visible-Light Activity for Photo-Oxidation of ethylene. *Journal of Nanomaterial*, Article ID 807394.
- [13] Li, Q., Su, H. & Tan, T. (2008). Sythesis of Ion-Imprinted Chitosan-TiO₂ Adsorbent and Its Multi-functional Perfomance. *Journal of Biochemical Engineering*, 38(2), 212-218.
- [14] Komalasari, M. & Sunendar, B. (2013). Penggunaan TiO₂ Partikel Nano Hasil Sintesis Berbasis Air Menggunakan Metode Sol-Gel pada Bahan Kapas sebagai Aplikasi untuk Tekstil Anti UV. *Jurnal Ilmiah Arena Tekstil*, 28(1), 1-46.
- [15] Pavlenko, V. I., Cherkashina, N. I. & Demkina, L. N. (2018). Influence of Hydrothermal Tratment on Crystalline Form of SiO₂ Synthesized by Sol-Gel Method, *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 327(5), 052026.
- [16] Ramdhy, W. F., Rahmalia, W. & Usman, T. (2020). Preparasi dan Karakterisasi Komposit TiO₂/Metakaolin Teraktivasi KOH dalam Upaya Menurunkan Energi Celah Pita pada Anoda TiO₂, *Positron*, 10(1), 19-26.