Jurnal Kimia Unand
Published by Chemistry Department
Universitas Andalas

ISSN (print) : 2303-3401

Sintesis Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO_2) dengan Menggunakan Ekstrak Kulit Jeruk Gunung Omeh dan Karakteristiknya

Diana Vanda Wellia[a*], Shelvira Edelwita[a], Yulia Eka Putri[a]
(a) Departemen Kimia, Universitas Andalas, Padang 25156, Indonesia

*Corresponding author: nandadiana@sci.unand.ac.id

Abstract

In this study, TiO_2 nanoparticles were synthesized without adding extract (0% v/v) (control) and with the addition of Gunung Omeh orange peel extract with various concentration, namely 4% v/v, 10% v/v, and 20% v /v. This study aims to study the use of Gunung Omeh orange peel extract on the formation of TiO_2 nanoparticles and determine its characteristics. The characteristics of the resulting nanoparticles were characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Diffuse Reflectance Spectroscopy, Ultraviolet-Visible (DRS UV-Vis), Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX), Brunauer-Emmett-Teller (BET), Fourier Transform Infrared (FTIR), and Thermo Gravimetric and Differential Thermal Analyzer (TG-DTA). XRD results showed that the TiO_2 phase formed was anatase. The optical property of TiO_2 nanoparticles showed that the obtained TiO_2 nanoparticles absorb in the UV region (200-400 nm). The results of SEM-EDX show that the resulting TiO_2 nanoparticles are spherical. Meanwhile, the TOKJ20 sample has increased agglomeration so that the particle shape is rod-like. The EDX spectrum showes the presence of Ti and O peaks indicated the formation of TiO_2. The results of BET measurement showed that the control TiO_2 had a larger surface area of 66.11 m^2/g compared to TiO_2 using the addition of other orange peel extracts. From the results obtained, it was concluded that, in general, the addition of orange peel extract did not significantly affect the formation of TiO_2 nanoparticles.

Keywords

nanoparticles
Gunung Omeh peel extract
green synthesis
TiO_2

1. Pendahuluan

Nanoteknologi dan nanomaterial telah menjadi perhatian dalam segala bidang seperti, fisika, kimia, teknik, dan lain sebagainya[1]. Nanoteknologi merupakan cabang ilmu yang mempelajari materi yang memiliki dimensi 1-100 nm[2], dimana kemampuan teknologi ini digunakan untuk merekayasa material secara tepat pada skala nanometer[3–5]. Salah satu bidang yang banyak diminati yaitu pengembangan metode sintesis nanopartikel. Proses ini bertujuan untuk membentuk partikel dengan ukuran ≤ 100 nm dan mengubah sifat atau fungsinya. Sifat nanopartikel umumnya bergantung pada ukuran, bentuk, morfologi, komposisi, dan fasa kristal[2]. Suatu material yang berukuran nano memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan material awalnya, hal inilah yang meningkatkan reaktifitas kimia dan sifat fisika material tersebut[6].

Titanium dioksida (TiO_2) adalah salah satu nanopartikel oksida logam[7], merupakan fotokatalis yang sering digunakan karena memiliki sifat termal, magnet[4], optik dan dielektrik yang baik, sifat fotokatalitik yang baik, tidak berbahaya dan memiliki stabilitas thermal yang tinggi[8]. TiO_2 memiliki aplikasi yang luas seperti sebagai perangkat optoelektronik[9], material self-cleaning, dye sensitized solar cell, fotokatalisis, elektrokimia, produk antibakteri[10]. Sintesis nanopartikel dengan metode green synthesis merupakan suatu proses kimia yang dapat mengurangi atau menghilangkan penggunaan zat kimia yang berbahaya bagi lingkungan[11].

Green synthesis merupakan salah satu metode sintesis nanopartikel yang murah dalam segi biaya dan tidak beracun karena pada prosesnya menggunakan bahan-bahan biologi seperti mikroorganisme, biomolekul, ekstrak dari tanaman sebagai zat penstabil dan membantu mengurangi limbah berbahaya[8,12–

14]. Penggunaan bahan-bahan yang ramah lingkungan dapat memberikan manfaat terhadap keamanan lingkungan[12], karena dalam prosesnya meminimalkan penggunaan bahan yang beracun, tekanan, energi dan suhu yang tinggi[15]. Green synthesis merupakan pendekatan bottom-up, dimana ekstrak tanaman yang mengandung vitamin, mineral, asam amino, karbohidrat, dan protein berperan sebagai penstabil ukuran dan bentuk partikel nano[4,16].

Beberapa ekstrak tanaman telah banyak digunakan dalam mensintesis nanopartikel TiO_2 seperti pada penelitian Subhapriya *et al* mengenai sintesis nanopartikel TiO_2 menggunakan ekstrak daun *Trigonella foenum-graecum*, peneliti membandingkan hasil nanopartikel yang disintesis menggunakan ekstrak dan tanpa ekstrak, dimana nanopartikel TiO_2 yang disintesis menggunakan ekstrak memiliki ukuran yang lebih kecil yaitu 25 nm sedangkan yang tidak menggunakan ekstrak memiliki ukuran 30 nm[17]. Selanjutnya pada penelitian Goutam *et al* yang menggunakan ekstrak daun *Jatropha curcas* L. untuk mensintesis nanopartikel TiO_2 berhasil membentuk nanopartikel TiO_2 yang berbentuk bola atau bulat dengan ukuran 10-20 nm serta nanopartikel TiO_2 yang dihasilkan memperlihatkan kemampuan fotokatalisnya dalam mereduksi logam Cr dengan efisinsi 76,48%9. Pada penelitian Santhoshkumar *et al* juga dilakukan sintesis nanopartikel TiO_2 menggunakan daun Psidium guajava, yang menunjukkan nanopartikel TiO_2 fase *anatase* dan *rutile* dengan ukuran rata-rata 32,58 nm dan nanopartikel TiO_2 yang dihasilkan memiliki aktivitas antibakteri maksimum terhadap *S. aureus* dan *E. coli*[18]. Dan pada penelitian Rao *et al* juga membahas mengenai sintesis nanopartikel TiO_2 menggunakan ekstrak kulit jeruk, dimana nanopartikel TiO_2 yang didapatkan memiliki struktur tetragonal dengan ukuran kristal 19 nm[10].

Namun dari beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mensintesis nanopartikel TiO_2 menggunakan ekstrak tanaman, belum terdapat penelitian yang menggunakan kulit jeruk Gunung Omeh serta melakukan variasi konsentrasi ekstrak. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan sintesis nanopartikel TiO_2 dan mempelajari bagaimana pengaruh penggunaan ekstrak kulit jeruk Gunung Omeh dalam menghasilkan nanopartikel TiO_2 dengan variasi ekstrak serta menentukan konsentrasi ekstrak yang optimal dalam membentuk nanopartikel TiO_2.

2. Bahan dan Metoda

2.1. Bahan Kimia

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu $TiCl_4$ (1.0 M Sigma-Aldrich), kulit jeruk Gunung Omeh, akuades, NaOH (1 M), air deionisasi, dan Etanol (p.a Merck).

2.2. Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peralatan gelas, kertas saring Whatman, magnetic stirrer, hot plate, sentrifus, oven, furnace, neraca analitik, dan pH meter. Instrumen yang digunakan yaitu XRD (XPERT PRO PAnalytical PW 30/40), SEM-EDX (Hitachi FLEXSEM 1000) (Hitachi SU-3500 dan Jeol JSM- IT200), DRS UV-Vis (SPECORD 210 Plus), FTIR (PerkinElmer FT-IR Spectrometer Frontier), TG-DTA (DTG-60 SIMULTANEOUS DTA-TG APPARATUS SHIMADZU) dan BET (Quantachrome Nova 4200e).

2.3. Prosedur Kerja

2.3.1 Preparasi Ekstrak Kulit Jeruk Gunung Omeh

Kulit jeruk segar sebanyak 10 g dicuci hingga bersih, kemudian dipotong hingga halus dan dimaserasi dalam 100 mL air deionisasi selama 2 jam pada suhu ± 90ºC, kemudian didapatkan ekstrak kulit jeruk sebanyak 90 mL dan disaring menggunakan kertas saring Whatman.

2.3.2 Karakterisasi Nanopartikel TiO_2

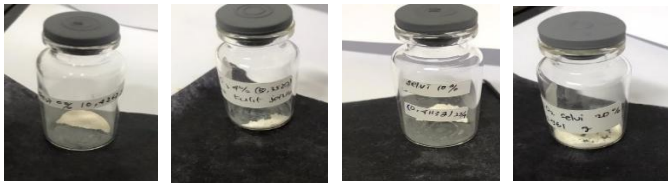
Karakterisasi sampel dilakukan dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) dalam rentang 2θ = 20-80º untuk melihat fasa kristal dari sampel, UV-Vis *diffuse reflectance spectrophotometry* (DRS UV-Vis) digunakan untuk melihat sifat optik dari sampel, *Scanning Electron Microscope-Electron Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) digunakan untuk melihat morfologi permukaan sampel yang terbentuk dan komposisi yang terdapat di dalam sampel, *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) digunakan untuk mengetahui luas permukaan dari nanopartikel TiO_2, *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dengan rentang 500-4000 cm^{-1} digunakan untuk melihat interaksi dan vibrasi pada ikatan, dan *Thermal Gravimetric-Differential Thermal Analysis* (TG-DTA) digunakan untuk mengamati sifat termal dari nanopartikel TiO_2.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Produk Sintesis Nanopartikel TiO_2

Sintesis nanopartikel TiO_2 dilakukan dengan menggunakan ekstrak kulit jeruk sebagai zat penstabil. Proses sintesis ini dilakukan dengan variasi volume ekstrak yaitu 0% v/v (sebagai kontrol), 4% v/v, 10% v/v, dan 20% v/v. Hasil sintesis nanopartikel TiO_2 yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 1

menunjukkan bahwa semua hasil sintesis berbentuk bubuk berwarna putih.

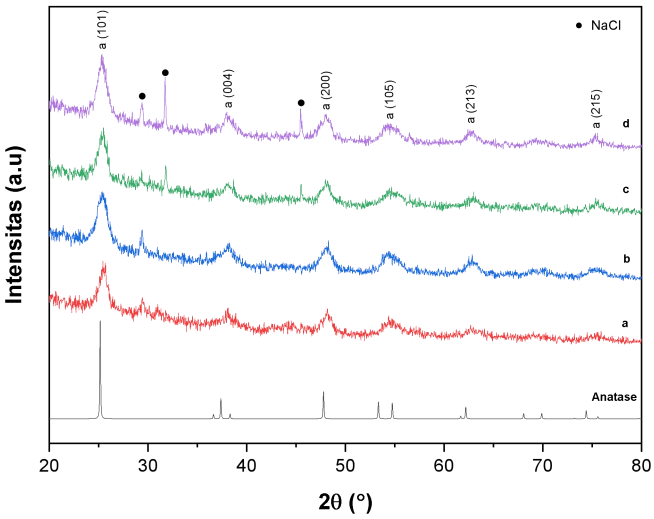


(a) (b) (c) (d)

Gambar 1. Bubuk nanopartikel TiO_2: (a) TO, (b) TOKJ4, (c) TOKJ10, dan (d) TOKJ20

3.2 Hasil Karakterisasi XRD

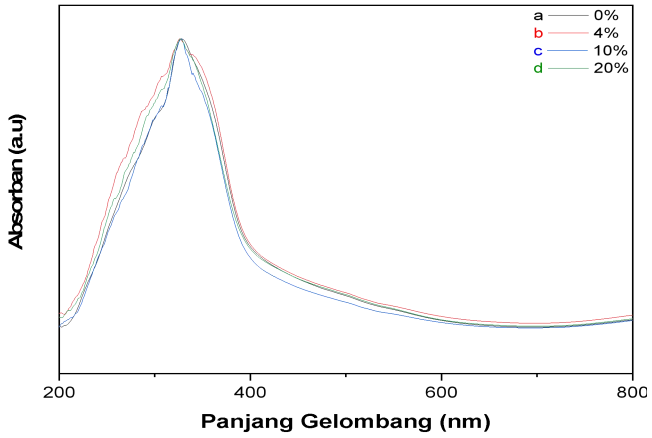
Gambar 2. memperlihatkan bahwa sampel TO, TOKJ4, TOKJ10, dan TOKJ20 memiliki puncak pada 2θ yaitu 25,38˚; 37,91˚; 48,02˚; 54,20˚; 62,89˚; dan 75,31˚ yang terindeks pada bidang (101), (004), (200), (105), (213), dan (215). Pola difraksi ini menunjukkan struktur TiO_2 *anatase* yang sesuai dengan ICSD #9855[19]. Dari hasil XRD ini terlihat juga adanya puncak NaCl sebagai pengotor, NaCl ini diduga berasal dari penggabungan ion Cl^-, sisa penggunaan $TiCl_4$ sebagai prekursor dan ion Na^+ dari NaOH sebagai larutan yang digunakan untuk menaikkan pH. NaCl yang merupakan garam ikut terperangkap oleh ekstrak selama proses pembentukan nanopartikel TiO_2[20]. Munculnya NaCl diduga oleh pencucian pada sampel kulit jeruk yang belum bersih sehingga mengakibatkan masih tersisanya zat-zat organik pada ekstrak, dan juga NaCl muncul diakibatkan karena masih terperangkap di dalam ekstrak, sehingga sulit untuk membersihkan NaCl walaupun dilakukan pencucian berulang kali. Pada Gambar 3. dapat juga dilihat bahwa penambahan ekstrak kulit jeruk yang bervariasi tidak mempengaruhi struktur kristal dari nanopartikel TiO_2, melainkan mempengaruhi derajat kristalinitas dari nanopartikel TiO_2. Hal ini dapat dilihat dari ketajaman puncak yang semakin bertambah seiring dengan bertambahnya volume dari ekstrak kulit jeruk. Hasil derajat kristalinitas dari nanopartikel TiO_2 dengan variasi TO; TOKJ4; TOKJ10; dan TOKJ20 didapatkan masing-masingnya 14,13%; 52,52%; 22,75%; dan 42,32%. Ukuran kristal juga diperoleh menggunakan persamaan Scherrer, dan didapatkan hasil untuk sampel TO; TOKJ4; TOKJ10; dan TOKJ20 masing-masingnya adalah 11,42 nm; 9,14 nm; 12,02 nm; dan 9,07 nm.



Gambar 2. Pola XRD Nanopartikel TiO_2: (a) TO, (b) TOKJ4, (c) TOKJ10, dan (d) TOKJ20

3.3 Hasil Karakterisasi DRS UV-Vis

Gambar 3. memperlihatkan spektrum DRS UV-Vis dari semua sampel nanopartikel TiO_2 yang telah disintesis. Berdasarkan hasil spektrum tersebut dapat dilihat bahwasanya terjadi penyerapan pada daerah sinar ultraviolet (UV) yaitu pada panjang gelombang 200-400 nm yang membuktikan bahwa TiO_2 telah berhasil disintesis.



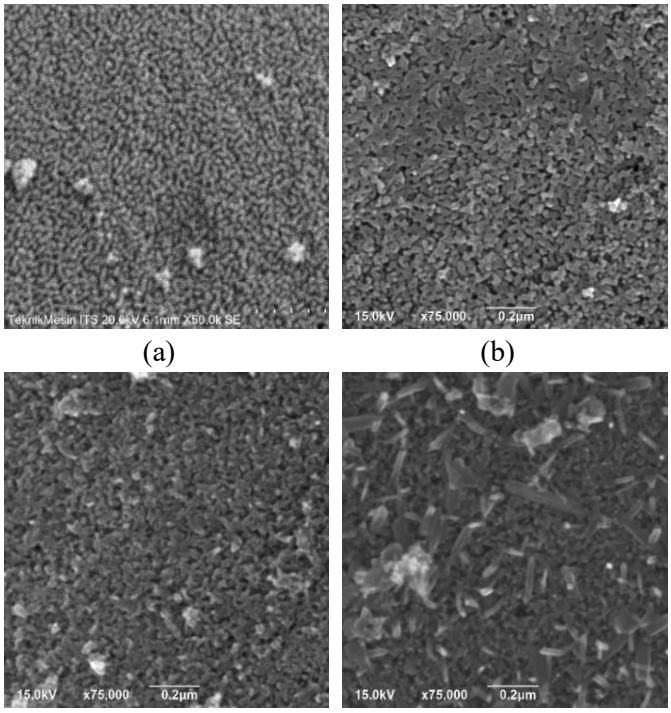
Gambar 3. Spektrum DRS UV-Vis sampel TiO_2: (a) TO, (b) TOKJ4, (c) TOKJ10, dan (d) TOKJ20

3.4 Hasil Karakterisasi SEM-EDX

Gambar 4. memperlihatkan hasil SEM dari nanopartikel TiO_2 dengan berbagai variasi konsentrasi ekstrak kulit jeruk. Gambar 4 (a, b, dan c) menunjukkan pemindaian mikroskop elektron dari nanopartikel TO; TOKJ4; dan TOKJ10 yang memperlihatkan bahwa partikel nanopartikel TiO_2 berbentuk bulat. Sedangkan pada Gambar 4 (d)

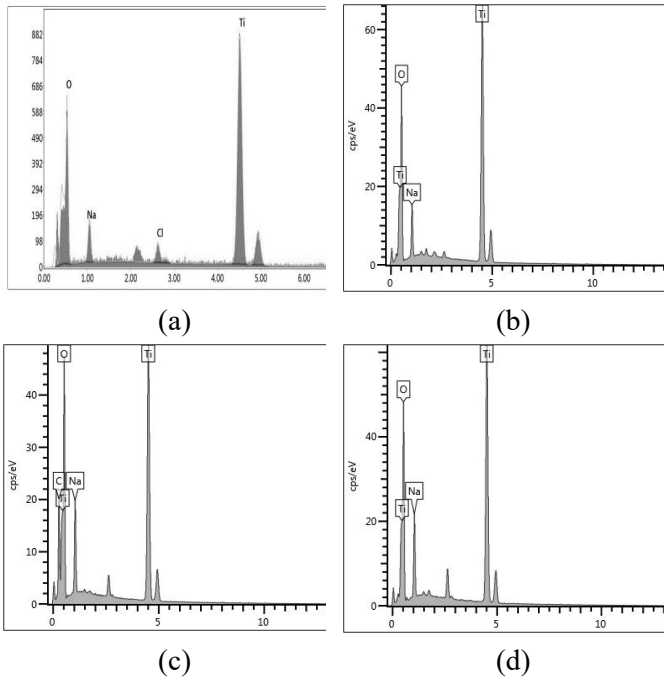
menunjukkan hasil pemindaian mikroskop elektron dari nanopartikel TOKJ20 yang memperlihatkan bentuk partikel yang tidak homogen dan beberapa partikelnya berbentuk batang, namun belum diketahui secara menyeluruh mekanisme dari pembentukan partikel berbentuk batang ini.

Ukuran partikel dari nanopartikel TiO_2 dengan variasi TO, TOKJ4, TOKJ10, dan TOKJ20 yaitu 23,4 nm, 19,6 nm, 19,1 nm, dan 23,8 nm. Hal ini membuktikan bahwa penambahan ekstrak kulit jeruk pada konsentrasi 4% v/v dan 10% v/v dapat menghasilkan TiO_2 dengan ukuran lebih kecil, yang mengindikasikan bahwa penambahan ekstrak kulit jeruk dapat mengontrol pembentukan nanopartikel TiO_2 selama proses sintesis.



Gambar 4. Foto SEM nanopartikel TiO_2: (a) TO, (b) TOKJ4, (c) TOKJ10, dan (d) TOKJ20

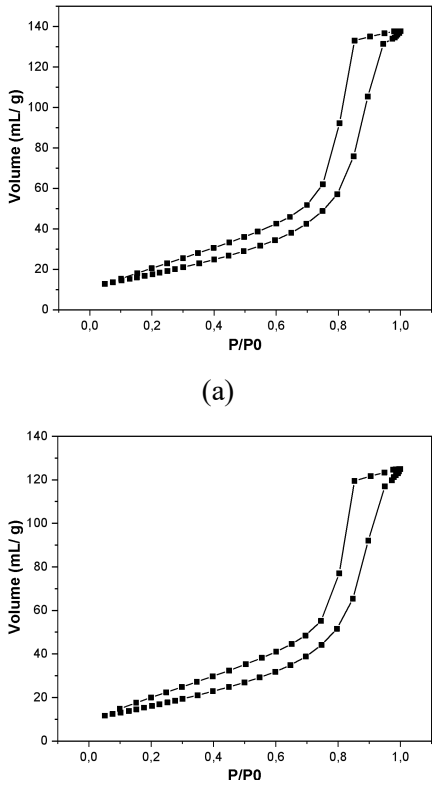
Gambar 5 Memperlihatkan hasil analisa EDX, dimana pada semua sampel terdapat puncak Ti (Titanium) dan O (Oksigen). Hal ini menunjukkan bahwa TiO_2 telah berhasil disintesis. Selain itu, terlihat juga adanya puncak dari unsur lain pada spektrum EDX seperti natrium (Na) dan klorida (Cl) yang membentuk NaCl sebagai pengotor, sebagaimana yang diperlihatkan pada hasil karakterisasi XRD.

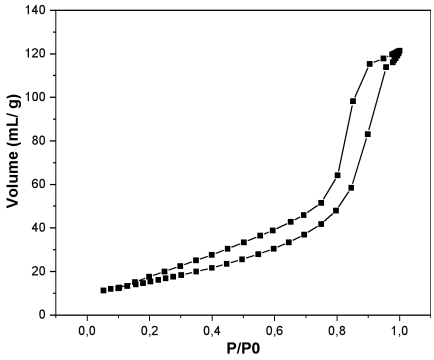


Gambar 5. Spektrum EDX nanopartikel TiO_2: (a) TO, (b) TOKJ4, (c) TOKJ10, dan (d) TOKJ20

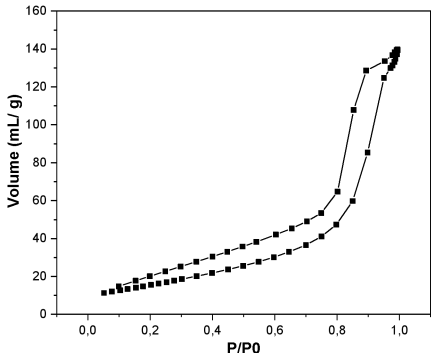
3.5 Hasil Karakterisasi SAA

Gambar 6 memperlihatkan kurva isoterm dari nanopartikel TiO_2 TO, TOKJ4, TOKJ10, dan TOKJ20. Berdasarkan kurva tersebut seluruh sampel memiliki kurva isoterm tipe IV, yang menunjukkan bahwa sampel TO, TOKJ4, TOKJ10 dan TOKJ20 merupakan material mesopori[21].





(c)



(d)

Gambar 7. Kurva isotherm BET dari nanopartikel TiO_2: (a) TO, (b) TOKJ4, (c) TOKJ10, dan (d) TOKJ20

Pada Tabel 1. memperlihatkan analisis data luas permukaan spesifik, ukuran pori, dan volume pori dari nanopartikel TiO_2. Porositas mempengaruhi luas permukaan suatu material dimana semakin besar porositas, maka akan semakin besar luas permukaanya, dan begitu pula sebaliknya[22].

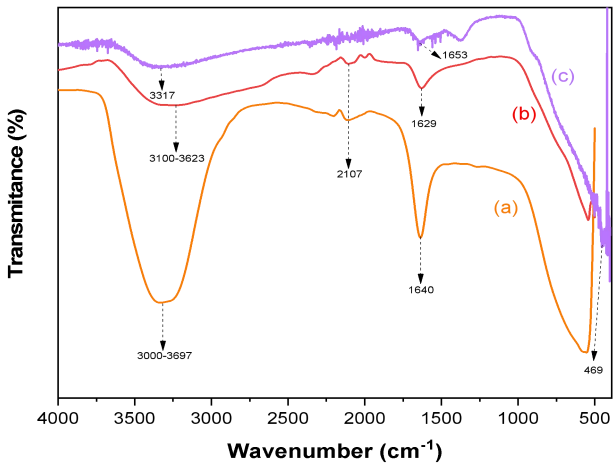
Tabel 1. Hasil dari BET untuk luas permukaan, diameter pori, dan volume pori semua sampel

No	Sampel	Luas permukaan spesifik (m^2/g)	Diameter pori (nm)	Volume pori (mL/g)
1.	TO	66,11	6,442	0,213
2.	TOKJ4	61,07	6,325	0,1931
3.	TOKJ10	57,66	6,515	0,1878
4.	TOKJ20	58,47	7,377	0,2157

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa TO memiliki luas permukaan yang paling besar yaitu sebesar 66,11 m^2/g. Hal ini memperlihatkan bahwa penambahan ekstrak kulit jeruk tidak berpengaruh secara signifikan dalam meningkatkan porositas dari nanopartikel TiO_2. Namun pada diameter pori TOKJ20 memiliki pori yang lebih besar dibandingkan sampel lainnya, hal ini kemungkinan disebabkan karena partikel yang dihasilkan tidak homogen, yang juga dibuktikan pada hasil SEM.

3.6 Hasil Karakterisasi FTIR

Spektrum FTIR dari ekstrak kulit jeruk, nanopartikel TiO_2 TOKJ10 sebelum dan sesudah dikalsinasi dapat dilihat pada Gambar 8. dengan rentang 4000-500 cm^{-1}. Spektrum FTIR ekstrak kulit jeruk pada Gambar 8 (a) memperlihatkan adanya pita lebar pada 3000-3697 cm^{-1} yang menunjukkan regangan -O-H dari gugus hidroksil[23,24]. Pita serapan 2107 cm^{-1} merupakan puncak gugus alkuna (C≡C), pita serapan bilangan gelombang 1640 cm^{-1} merupakan puncak gugus karboksil (C-O) yang berasal dari ekstrak kulit jeruk[25]. Adanya gugus -OH (hidroksil) pada hasil FTIR menandakan adanya asam sitrat dan polifenol dalam ekstrak kulit jeruk yang berfungsi sebagai penstabil pada saat pembentukan nanopartikel TiO_2[9,23].



Gambar 8. Spektrum FTIR dari: (a) ekstrak kulit jeruk, (b) TOKJ10 sebelum kalsinasi, dan (c) TOKJ10 sesudah kalsinasi

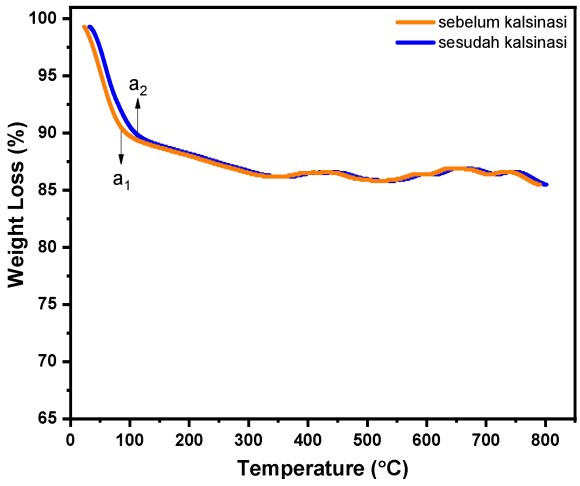
Pada Gambar 8 (b) memperlihatkan spektrum TOKJ10 sebelum kalsinasi. Pita lebar pada bilangan gelombang 3100-3623 cm^{-1} merupakan hasil regangan gugus -OH dari molekul air yang teradsorpsi[26], pita serapan pada bilangan gelombang 2107 cm^{-1} merupakan puncak regangan gugus alkuna (C≡C), pita serapan bilangan gelombang 1629 cm^{-1} merupakan puncak regangan gugus karboksil (C-O) yang berasal dari ekstrak kulit jeruk. Sedangkan pada Gambar 8 (c) memperlihatkan spektrum TOKJ10 sesudah kalsinasi.

Dapat dilihat bahwa tidak muncul puncak regangan gugus alkuna (C≡C) pada bilangan gelombang 2107 cm^{-1}, dimana pita regangan -OH dan gugus karboksil (C-O) menjadi lebih kecil karena terjadi penguapan air dan senyawa organik pada ekstrak selama proses kalsinasi. Munculnya pita tajam pada Gambar 8 (c) di bilangan gelombang 469 cm^{-1} menunjukkan vibrasi regangan Ti-O-Ti dari nanopartikel TiO_2. Hal ini menunjukkan bahwa TiO_2 sudah berhasil disintesis.

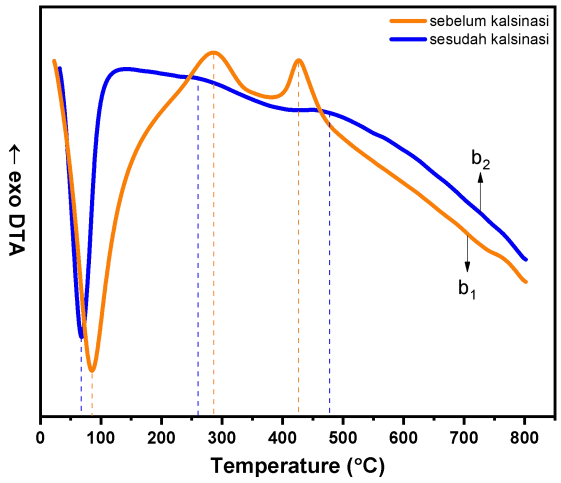
3.7 Hasil Karakterisasi TG-DTA

Gambar 9 (a) merupakan termogram TGA sampel TOKJ10 sebelum dan sesudah dikalsinasi. Termogram TGA menunjukkan terjadinya penurunan massa tahap pertama, yaitu pada TOKJ10 sebelum kalsinasi (a_1) sebesar 21,8% pada suhu 85˚C, sedangkan pada TOKJ10 sesudah kalsinasi (a_2) sebesar 10,9% pada suhu sekitar 60˚C. Proses ini dikaitkan dengan hilangnya molekul air yang teradsorpsi secara fisik dari permukaan nanopartikel TiO_2[27–30], dan penguapan bahan organik yang terdapat dalam ekstrak kulit jeruk yang bertanggung jawab sebagai penstabil ukuran dari nanopartikel TiO_2[31,32]. Setelah itu TOKJ10 (a_1) terjadi penurunan massa pada suhu 286˚C, sedangkan TOKJ10 (a_2) mengalami penurunan massa pada suhu sekitar 200˚C, yang disebabkan oleh proses pirolisis (putusnya rantai polimer) dan karbonisasi bahan biomassa dari nanopartikel TiO_2[33,34]. Penurunan massa juga terjadi pada suhu sekitar 428˚C untuk TOKJ10 (a_1) dan suhu 484˚C untuk TOKJ10 (a_2), proses ini dikaitkan dengan penguapan residu karbonisasi pada permukaan nanopartikel TiO_2[35]. Setelahnya pada suhu besar dari 500˚C tidak terjadi penurunan massa yang signifikan yang dikaitkan dengan adanya transformasi nanopartikel TiO_2 *amorf* ke *anatase*[36], yang menunjukkan awal mula pembentukan oksida dan perubahan yang diharapkan dalam kristal[37,38].

Gambar 9 (b) merupakan termogram DTA sampel TOKJ10 sebelum dan sesudah dikalsinasi. Termogram DTA ini menjelaskan perubahan endotermik atau eksotermik pada sampel TOKJ10. Pada tahap pertama ditandai dengan adanya puncak endotermik pada suhu 85˚C untuk TOKJ10 (b_1) dan 60˚C untuk TOKJ10 (b_2). Kemudian pada proses pirolisis dan karbonisasi ditandai dengan adanya puncak eksotermik pada suhu 286˚C untuk TOKJ10 (b_1) dan 200˚C untuk TOKJ10 (b_2). Pada proses penguapan residu berkarbonasi yang ada di permukaan nanopartikel TiO_2, ditandai dengan adanya puncak eksotermik pada suhu 428˚C untuk TOKJ10 (b_1) dan suhu 484˚C untuk TOKJ10 (b_2).



(a)



(b)

Gambar 9. Kurva (a) TGA (b) DTA dari TOKJ10 sebelum kalsinasi dan TOKJ10 sesudah kalsinasi

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, ekstrak kulit jeruk Gunung Omeh dapat digunakan dalam sintesis nanopartikel TiO_2 yang berfungsi sebagai zat penstabil dan berhasil dilakukan sebagaimana ditunjukkan pada hasil karakterisasi. Secara umum penambahan ekstrak kulit jeruk mampu meningkatkan derajat kristalinitas dan memperkecil ukuran dari nanopartikel TiO_2, khususnya pada penambahan konsentrasi ekstrak 4% v/v (TOKJ4) dan 10% v/v (TOKJ10). Kemampuan ekstrak kulit jeruk Gunung Omeh dalam meningkatkan

derajat kristalinitas dan memperkecil ukuran partikel dari TOKJ4 dan TOKJ10 dapat ditunjukkan pada karakterisasi XRD dan SEM. Namun penambahan ekstrak kulit jeruk tidak mampu meningkatkan porositas dari nanopartikel TiO_2 yang telah disintesis seperti yang ditunjukkan pada hasil analisis permukaan dengan BET. Hasil analisis sifat termal menggunakan TG-DTA memperlihatkan terjadinya penguapan molekul air dan senyawa organik pada sampel TOKJ10 sebelum dan sesudah kalsinasi, serta memperlihatkan terjadinya pembentukan TiO_2 dengan fase anatase pada suhu besar dari 500˚C.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Material Departemen Kimia Universitas Andalas yang telah menfasilitasi tempat selama penelitian.

Kontribusi Penulis

Konseptualisasi: D.V.W
Kurasi data: S.E., Y.E.P
Analisis Formal: D.V.W., Y.E.P
Akuisisi pendanaan: D.V.W
Investigasi: S.E
Metodologi: D.V.W
Administrasi proyek: S.E.
Sumber: D.V.W.
Perangkat lunak: S.E
Pengawasan: Y.E.P
Validasi: D.V.W
Visualisasi: S.E., Y.E.P
Penulisan – draf asli: D.V.W
Menulis – mengulas & menyunting: S.E., Y.E.P.

Konflik Kepentingan

Penulis tidak ada konflik kepentingan dengan pihak manapun selama melakukan penelitian dan penulisan.

Daftar Pustaka

[1] A. Behera, S.S. Mohapatra, D.K. Verma, Nanomaterials: Fundamental Principle and Applications, 2019. https://doi.org/10.1201/9780429425660-4.

[2] V. Patidar, P. Jain, Green Synthesis of TiO2 Nanoparticle Using Moringa Oleifera Leaf Extract, Int. Res. J. Eng. Technol. 4 (2017) 470–473. https://doi.org/10.1166/asem.2013.1376.

[3] L.A. Kolahalam, I. V. Kasi Viswanath, B.S. Diwakar, B. Govindh, V. Reddy, Y.L.N. Murthy, Review On Nanomaterials: Synthesis And Applications, Mater. Today Proc. 18 (2019) 2182–2190. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.371.

[4] G. Nabi, Qurat-ul-Aain, N.R. Khalid, M.B. Tahir, M. Rafique, M. Rizwan, S. Hussain, T. Iqbal, A. Majid, A Review on Novel Eco-Friendly Green Approach to Synthesis TiO2 Nanoparticles Using Different Extracts, J. Inorg. Organomet. Polym. Mater. 28 (2018) 1552–1564. https://doi.org/10.1007/s10904-018-0812-0.

[5] H.B.N. Sajidah, Review : Differential Thermal Analysis (Dta), Differential Scanning Calorimetry (Dsc), Thermal Gravimetric Analysis (Tga) Scanning Electron Microscopy (Sem) Dan Transmission Electr ..., Dep. Kim. Inst. Teknol. Sepuluh Nop. (2017).

[6] S. Khofifah, Iwantono, Awitudrus, PENUMBUHAN NANOPARTIKEL TITANIUM DIOKSIDA PADA SUBSTRAT FTO DENGAN METODE ELEKTRODEPOSISI, Angew. Chemie Int. Ed. 6(11), 951–952. 2 (2015) 281–287.

[7] E. Etebu, A.B. Nwauzoma, A review on sweet orange (citrus sinensis)_ health, diseases and management, Am. J. Res. Commun. 2 (2014) 33–70.

[8] A. Mobeen Amanulla, R. Sundaram, Green synthesis of TiO2 nanoparticles using orange peel extract for antibacterial, cytotoxicity and humidity sensor applications, Mater. Today Proc. 8 (2019) 323–331. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.02.118.

[9] S.P. Goutam, G. Saxena, V. Singh, A.K. Yadav, R.N. Bharagava, K.B. Thapa, Green synthesis of TiO2 nanoparticles using leaf extract of Jatropha curcas L. for photocatalytic degradation of tannery wastewater, Chem. Eng. J. 336 (2018) 386–396. https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.12.029.

[10] K.G. Rao, C. Ashok, K.V. Rao, C. Chakra, V. Rajendar, SYNTHESIS OF TIO2 NANOPARTICLES FROM ORANGE FRUIT WASTE, Int. J. Multidiscip. Adv. Res. Trends. II (2015) 82–90.

[11] A. Ivanković, Review of 12 Principles of Green Chemistry in Practice, Int. J. Sustain. Green Energy. 6 (2017) 39. https://doi.org/10.11648/j.ijrse.20170603.12.

[12] S. Devikala, J.M. Abisharani, M. Bharath, Biosynthesis of TiO2 nanoparticles from Caesalpinia pulcherrima flower extracts, Mater. Today Proc. (2020) 2–5. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.578.

[13] N. Wendri, N.N. Rupiahsih, M. Sumadiyasa, BIOSINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN SAMBILOTO : OPTIMASI PROSES DAN KARAKTERISASI Nyoman Wendri , Ni Nyoman Rupiasih dan Made Sumadiyasa, J. Sains Mater. Indones. 18 (2017) 162–166.

[14] T. Thunugunta, A.C. Reddy, D.C. Lakshmana Reddy, Green synthesis of nanoparticles: Current prospectus, Nanotechnol. Rev. 4 (2015) 303–323. https://doi.org/10.1515/ntrev-2015-0023.

[15] A. Saravanan, P.S. Kumar, S. Karishma, D.V.N. Vo, S. Jeevanantham, P.R. Yaashikaa, C.S. George, A review on biosynthesis of metal nanoparticles and its environmental applications, Chemosphere. 264 (2021) 128580. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128580.

[16] V. Manikandan, P. Velmurugan, P. Jayanthi, J.H. Park, W.S. Chang, Y.J. Park, M. Cho, B.T. Oh, Biogenic synthesis from Prunus × yedoensis leaf extract, characterization, and photocatalytic and antibacterial activity of TiO2 nanoparticles, Res. Chem. Intermed. 44 (2018) 2489–2502. https://doi.org/10.1007/s11164-017-3242-7.

[17] S. Subhapriya, P. Gomathipriya, Green synthesis of titanium dioxide (TiO2) nanoparticles by Trigonella foenum-graecum extract and its antimicrobial properties, Microb. Pathog. 116 (2018) 215–220. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.01.027.

[18] T. Santhoshkumar, A.A. Rahuman, C. Jayaseelan, G. Rajakumar, S. Marimuthu, A.V. Kirthi, K. Velayutham, J. Thomas, J. Venkatesan, S.K. Kim, Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles using Psidium guajava extract and its antibacterial and antioxidant properties, Asian Pac. J. Trop. Med. 7 (2014) 968–976. https://doi.org/10.1016/S1995-7645(14)60171-1.

[19] Ş. Sungur, Titanium Dioxide Nanoparticles, Handb. Nanomater. Nanocomposites Energy Environ. Appl. (2020) 1–18. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11155-7_9-1.

[20] R. Nurbayasari, N. Saridewi, S. Shofwatunnisa, Biosynthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles with Extract of Green Seaweed Caulerpa sp., J. Perikan. Univ. Gadjah Mada. 19 (2017) 17. https://doi.org/10.22146/jfs.24488.

[21] N.F. Devy, Hardiyanto, Keragaman Jeruk Gunung Omeh (Citrus nobilis Lour .) di Sumatera Barat Berdasarkan Marka RAPD (The Diversity of Gunung Omeh Citrus (Citrus nobilis Lour .) in West Sumatera Based on RAPD Marker), J. Hortik. 27 (2017) 155–164.

[22] J.A. Ginting, Identifikasi karakter morfologi dan hubungan kekerabatan tanaman jeruk siam (citrus nobilis l.) di kabupaten karo dan kabupaten simalungun, (2019) 15.

[23] P.A. Roussos, Orange (Citrus sinensis (L.) Osbeck), Elsevier Inc., Athens, Greece, 2015. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00020-9.

[24] F. Izazi, B. Prayoga, E.P. Hestianah, E. Zulkarnain, HISTOPATOLOGI JANTUNG TIKUS PADA TOKSISITAS SUB KRONIS EKSTRAK ETANOL 70% KULIT BUAH JERUK Citrus nobilis Lour., J. Herbal, Clin. Pharm. Sci. 1 (2020) 1. https://doi.org/10.30587/herclips.v1i02.1350.

[25] H. Nadaroglu, A. Alayli, H. Nadaroğlu, A. Alayli Güngör, S. İnce, Synthesis of Nanoparticles by Green Synthesis Method, Int. J. Innov. Res. Rev. 1 (2017) 6–9.

[26] A. Arora, Ceramics in nanotech revolution, Adv. Eng. Mater. 6 (2004) 244–247. https://doi.org/10.1002/adem.200300532.

[27] A. Mbonyiryivuze, S. Zongo, A. Diallo, S. Bertrand, E. Minani, L.L. Yadav, B. Mwakikunga, S.M. Dhlamini, M. Maaza, Titanium Dioxide Nanoparticles Biosynthesis for Dye Sensitized Solar Cells application: Review, Phys. Mater. Chem. 3 (2015) 12–17. https://doi.org/10.12691/pmc-3-1-3.

[28] F. Ramadhani, SINTESIS TiO2 BERPORI YANG DIMODIFIKASI OLEH KARBON (C) DAN NITROGEN (N) DENGAN METODA PEROXO SOL GEL UNTUK APLIKASI REDUKSI POLUTAN LOGAM BERAT ION Cr(VI), 2017.

[29] B. Khafifudin, SINTESIS DAN KARAKTERISASI FOTOKATALIS TITANIUM DIOKSIDA (TiO2) ANATAS DENGAN METODE SONIKASI VARIASI

SUHU DAN WAKTU KALSINASI, (2017).

[30] K. Mustofa, N. Aini, R. Ningsih, Synthesis and Characterization Titanium Dioxide (TiO2) Doped Vanadium(V) Using Solid State Method, Alchemy. 4 (2015). https://doi.org/10.18860/al.v4i1.3143.

[31] K. Mustofa, SINTESIS DAN KARAKTERISASI TITANIUM DIOKSIDA (TiO2) ANATAS TERDOPING VANADIUM (V) MENGGUNAKAN METODE REAKSI PADATAN, Malang, Indonesia, 2014.

[32] B. Fardsadegh, H. Jafarizadeh-Malmiri, Aloe vera leaf extract mediated green synthesis of selenium nanoparticles and assessment of their in vitro antimicrobial activity against spoilage fungi and pathogenic bacteria strains, Green Process. Synth. 8 (2019) 399–407. https://doi.org/10.1515/gps-2019-0007.

[33] A. Mohammed, A. Abdullah, Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review, Int. Conf. Hydraul. Pneum. 7 (2018) 1–9.

[34] H.T. Sasti, STUDI PREPARASI DAN KARAKTERISASI TITANIUM DIOKSIDA MESOPORI, 2011.

[35] S. Karim, Pardoyo, A. Subagiyo, Sintesis dan Karakterisasi TiO2 Terdoping Nitrogen (N-Doped TiO2) dengan Metode Sol–Gel, J. Kim. Sains Dan Apl. 19 (2016) 63–67.

[36] R. Zein, Z.B. Tomi, S. Fauzia, Z. Zilfa, Modification of rice husk silica with bovine serum albumin (BSA) for improvement in adsorption of metanil yellow dye, J. Iran. Chem. Soc. 17 (2020) 2599–2612. https://doi.org/10.1007/s13738-020-01955-6.

[37] S. Jamilatun, Budhijanto, Rochmadi, A. Budiman, Thermal decomposition and kinetic studies of pyrolysis of Spirulina platensis residue, Int. J. Renew. Energy Dev. 6 (2017) 193–201. https://doi.org/10.14710/ijred.6.3.193-201.

[38] M. Odlyha, Chapter 2 The applications of thermoanalytical techniques to the preservation of art and archaeological objects, Handb. Therm. Anal. Calorim. 2 (2003) 47–96. https://doi.org/10.1016/S1573-4374(03)80006-7.