



FABRIKASI DAN UJI LUAS PERMUKAAN MATERIAL MICROSPHERE-NANOROD TITANIUM DIOKSIDA

FABRICATION AND SURFACE CHARACTERIZATION OF MICROSPHERE-NANOROD TITANIUM DIOXIDE

Nurnadiyah Syuhada¹

¹Program Studi Ilmu Falak, UIN Mataram, Kota Mataram, Indonesia. 83116

DOI: 10.20414/spin.v5i1.7157

History Article

Accepted:

March 27, 2023

reviewed:

May 27, 2023

Published:

June 30, 2023

Kata Kunci:
hydrotermal,
microsphere,
nanorod, titanium
dioxide.

Keywords:
hydrotermal,
microsphere,
nanorod, titanium
dioxide.

© 2023 CC:BY

ABSTRAK

Penelitian ini telah berhasil mensintesis material titanium dioksida dengan cara hidrotermal pada suhu 180°C pada lama reaksi 6 jam dan 12 jam. Morfologi SEM memperlihatkan bahwa titanium dioksida yang terbentuk berstruktur sphere (bulat) dengan rangkaian nanorods yang melingkupinya. Ukuran diameter microsphere dan diameter nanorods meningkat dengan bertambah lamanya waktu reaksi. Ukuran diameter microsphere berturut-turut untuk sampel 6 jam, 12 jam dan 20 jam yaitu 2,5 μ m, 4 μ m dan 5 μ m dengan ukuran nanorods yaitu 21 nm, 38 nm, 42 nm. Hasil SEM menunjukkan bahwa sampel yang dihasilkan telah terdistribusi cukup merata dan ukuran cukup seragam. Hasil BET memperlihatkan luas permukaan sampel TiO_2 6 jam dan TiO_2 12 jam yaitu $20.537 \text{ m}^2/\text{g}$, $21.336 \text{ m}^2/\text{g}$ dan $23.348 \text{ m}^2/\text{g}$. Hal tersebut mengindikasikan dengan bertambahnya lama reaksi, luas permukaan material juga semakin meningkat.

ABSTRACT

This study has successfully synthesised titanium dioxide material using hydrothermal method at 180°C with a reaction time of 6 hours and 12 hours. The SEM results show that the titanium dioxide formed is a three-dimensional microsphere (spherical) structure with nanorods surrounding it. the size of the microsphere diameter and the diameter of the nanorods that compose it increases with increasing reaction time. The microsphere diameter sizes for the 6-hour and 12-hour samples are 2.5 μ m and 4 μ m and the nanorods sizes are 21 nm and 38 nm. SEM morphology shows that the sample has been spread quite evenly and the size is quite uniform. BET results show the specific surface area of 12-hour TiO_2 and 6-hour TiO_2 samples are $21.336 \text{ m}^2/\text{g}$ and $20.537 \text{ m}^2/\text{g}$. This indicates that with increasing reaction time, the specific surface area of the material is also increasing.

How to Cite

Syuhada, N. (2023). Fabrikasi dan Uji Luas Permukaan Material Microsphere-Nanorod Titanium Dioksida. *SPIN-Jurnal Kimia & Pendidikan Kimia*. 5(1). 146-155.

*Correspondence Author:

Email: nsyuhada@uinmataram.ac.id

p-ISSN: 2580-2623

e-ISSN: 2745-6854

PENDAHULUAN

Titanium dioksida atau yang sering juga dikenal sebagai titanium (IV) oksida merupakan oksida dari titanium dengan rumus molekul TiO_2 . Semikonduktor logam oksida ini memiliki berat molekul 79,90g/mol dan densitas 4,26 g/cm³. Sejak diproduksi pertama kali pada tahun 1923 material ini banyak digunakan sebagai katalis, pigmen putih cat (51%), plastik fiber sintetik (19%), kertas (17%) dan kosmetik (13%). Sumber utama titanium dioksida adalah bijih rutile (matrik TiO_2) dan ilmenite ($FeTiO_3$). Fase anatase stabil di suhu rendah (Binetti, Bazzanella, and Miotello 2016), sedangkan rutile sifatnya stabil di suhu tinggi, Kristal anatase stabil dengan ukuran < 11 nm, brookite pada ukuran 11-35 nm, dan rutile pada ukuran lebih dari 35 nm (Wang, dkk., 2011). Fase anatase dan brookite berubah ke fase rutile setelah mencapai suhu dan ukuran partikel tertentu (Zhang, 2013). Struktur brookite biasanya hanya terdapat dalam mineral. Fase brookite memiliki sel yang lebih besar dan yang paling padat dan fase ini sangat jarang digunakan dalam penelitian (Man, dkk., 2014).

TiO_2 selain dimanfaatkan sebagai fotokatalis karena kemampuannya menyerap sinar ultraviolet. TiO_2 juga dapat diaplikasikan pada sensor gas. TiO_2 yang digunakan umumnya yang berstruktur pori karena memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi sehingga dapat menaikkan kerja sistem. Hal ini terjadi karena besarnya luas permukaan tadi maka semakin banyak gas yang bisa diserap sehingga berimplikasi pada semakin tingginya sensitivitas. Salah satu cara Sintesis TiO_2 adalah dengan metode hidrotermal. Hidrotermal adalah proses yang terjadi dalam suatu pelarut di atas titik didih dari pelarut dan tekanan > 1 atm. Sintesis menggunakan hidrotermal

biasanya dilakukan di bawah suhu 300°C (Venkatachalam, dkk., 2013). Metode ini digunakan karena memiliki berbagai kelebihan seperti menghemat energi, mengefisiensi biaya, fabrikasi yang mudah dan menghasilkan material kristalinitas tinggi (Sun & Attard 2013). Salah satu aplikasi pemanfaatan material nano adalah untuk meningkatkan luas permukaan dan menghasilkan porositas yang tinggi. Dalam aplikasinya pada sensor gas membuat penyerapan gas lebih maksimal dan dapat meningkatkan sensitivitas sendor sehingga berakibat performansi gas yang lebih baik Syuhada, dkk (2020).

Prekursor yang sering digunakan dalam mensistesis senyawa anorganik adalah larutan garam. Pada perlakuan hidrotermal, ukuran butir, morfologi partikel, fasa kristalin dan sifat permukaan bisa di kontrol dengan pengaturan variabel proses seperti pH, temperatur reaksi lama waktu reaksi, dan waktu *aging*. Vijayalakshmi & Jereil (2015) telah melakukan sintesis TiO_2 dari prekursor TTIP dalam NaOH dengan suhu kalsinasi 450°C dan berhasil memperoleh nanopartikel berukuran ± 17 nm. Sementara (Guo-dong dkk., 2014) membuat TiO_2 nanopartikel dari asam asetat, *tetrabutyl titanat* dan butanol. Hasil menunjukan bahwa TiO_2 nanopartikel berbentuk bulat dengan ukuran 0.318 nm. Penelitian Wang, dkk., (Chen, dkk., 2017) yang dilakukan pada temperatur 180°C berhasil memperoleh 10 nm ukuran TiO_2 dengan kestabilan baik.

Telah banyak penelitian yang melaporkan metode sintesis untuk membuat TiO_2 , namun beberapa metode yang dilakukan cukup kompleks dengan kontrol parameter yang sulit dan memerlukan biaya tinggi. Dalam penelitian

ini metode yang akan digunakan adalah hidrotermal dengan kontrol parameter yang mudah. Material TiO_2 disintesis dengan mengkombinasikan sifat *self assembly* natural dari surfaktan sebagai *template* untuk membentuk material inorganik di sekitar *template*. Metode ini dipilih karena dapat menghasilkan TiO_2 dengan kristalinitas tinggi, fase terkontrol dan luas permukaan spesifik yang besar. Melalui metode ini diharapkan akan terbentuk morfologi TiO_2 dengan struktur *microsphere* yang dilingkupi oleh *nanorods* dengan luas permukaan yang tinggi. Dalam proses sintesis, preparasi prekursor, komposisi reaktan, temperatur reaksi, pH dan lama waktu penumbuhan TiO_2 selama proses hidrotermal merupakan parameter penting yang dapat mempengaruhi kualitas kristalinitas dan luas permukaan dari TiO_2 .

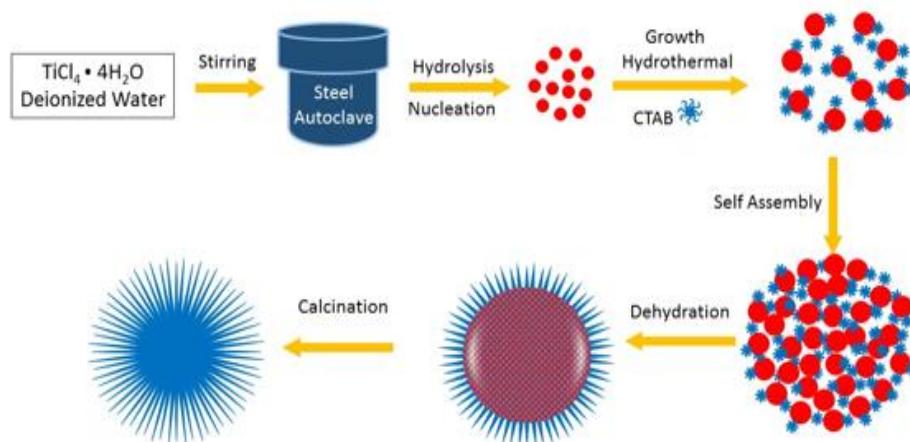
METODE

Secara umum tahapan penelitian ini dibagi menjadi dua bagian besar. Tahap

pertama adalah proses sintesis material dan tahap kedua adalah proses karakterisasi material terdiri dari pengujian SEM untuk melihat morfologi dan ukuran material serta pengujian BET untuk menghitung luas permukaan material.

Tahap Pembuatan TiO_2

Fabrikasi lapisan titanium dioksida menggunakan metode hidrotermal dengan bahan titanium (IV) isopropoxide (TTIP) sebanyak 0,6 g, Hexacetyltrimethyl bromide (CTAB) sebanyak 0,5 g, 2,5 mL aquabides, HCl 17,5 mL, Ethylene glycol 12,5 mL dengan langkah-langkah membuat larutan di botol A, memasukkan titanium(IV) isopropoxide, HCl dan Ethylene glycol ke dalam botol A, stirring selama 15 menit, membuat larutan di botol B, memasukkan 0,5 g ke dalam 2,5 mL aquabides, stirring selama 15 menit, memasukkan larutan dari botol B ke A, stirring 30 menit. Larutan siap untuk digunakan dalam proses hidrotermal (Syuhada, dkk., 2018). Proses hidrotermal digambarkan pada bagan di bawah ini:



Gambar 1. Fenomena yang terjadi pada proses hidrotermal

Tahap Karakterisasi

Scanning Elektron Microscopy (SEM)

Scanning Elektron Microscopy (SEM) adalah mikroskop yang menggunakan elektron untuk melihat benda dengan resolusi tinggi. SEM biasanya digunakan untuk melihat struktur morfologi material seperti porositas dan adanya retakan benda padat. Gambar yang dihasilkan terdiri dari

ribuan titik dengan berbagai intensitas yang kemudian diinterpretasikan sebagai topografi gambar. Sampel yang akan diuji perlu dipersiapkan terlebih dahulu. Sampel tidak boleh ada kandungan air, larutan dan semua benda yang dapat menguap apabila divakum, selain itu sampel non logam harus dilapisi dengan lapisan konduktif seperti

emas. Lapisan harus bersifat konduktif agar dapat memantulkan berkas elektron dan mengalirkannya ke ground. Pada pembuatan lapisan konduktif sampel diletakkan di tabung kaca yang dikelilingi anoda. Antara anoda dan katoda di pasangan tegangan dengan nilai tertentu sehingga terjadi ionisasi udara bertekanan rendah. Elektron bergerak menuju anoda dan ion positif dengan energi yang tinggi kemudian menumbuk katoda emas. Hal ini menyebabkan partikel emas menghambur dan mengendap di permukaan spesimen. Uji SEM dilakukan untuk memperoleh citra morfologi material dengan spesifikasi merk SEM Hitachi- 9100-0005 dengan perbesaran 4.000 – 20.000 kali

Brunauer- Emmet -Teller (BET)

Metoda adsorpsi gas N₂ digunakan untuk mengetahui luas permukaan spesifik, ukuran pori, dan distribusi ukuran pori material padat. Gas yang digunakan untuk analisa ini disebut adsorbat seperti nitrogen. Nitrogen mempunyai sifat dapat teradsorpsi oleh permukaan material dan terdesorpsi dengan menurunkan tekanan gas pada temperatur yang sama. Sampel harus divakum sebelum dilakukan pengujian, tujuannya adalah untuk menghilangkan kandungan minyak dan air. Kemudian gas dimasukkan secara bertahap dan gas tersebut akan membentuk lapisan monolayer di seluruh permukaan material.

Jumlah molekul adsorbat yang membentuk monolayer dipermukaan material dapat ditetukan dengan persamaan:

$$\frac{p/p_0}{n(1-\frac{p}{p_0})} = \frac{1}{n_m C} + \frac{c-1}{n_m C} + \frac{p}{p_0} \quad (1)$$

dengan n merupakan jumlah adsorbat pada tekanan relative P/P₀, n_m adalah kapasitas monolayer, dan c adalah

$$A = n_m a_m \quad (2)$$

$$a = \frac{a}{m} \quad (3)$$

dengan a_m adalah luas area material *solid* yang dilingkupi oleh satu molekul adsorbat, m adalah massa sampel. A dan a berturut-turut adalah luas permukaan total dan luas permukaan spesifik. Hasil pengujian ini berupa tekanan *relative* dan volume gas yang teradsorpsi. Nilai ini kemudian diplot dengan menggunakan teknik Brunauer-Emmet-Teller, sehingga dapat dihitung nilai luas permukaan spesifik material.

konstanta. Selanjutnya untuk memperoleh luas permukaan menggunakan persamaan:

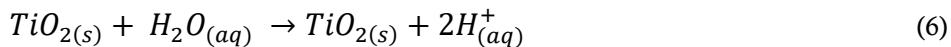
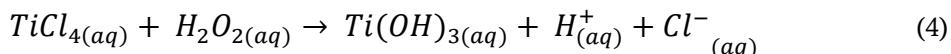
terjadinya reaksi antara zat-zat yang ada di dalam larutan. Selain terjadi perubahan warna larutan terlihat juga ada endapan putih pada larutan. Munculnya endapan terjadi karena berkurangnya volume pelarut sehingga konsentrasi senyawa terlarut menjadi lebih besar kelarutannya. Pengurangan ini terjadi karena proses penguapan. Reaksi yang terjadi pada proses sintesis adalah reaksi hidrolisis dan kondensasi seperti yang ditunjukkan pada persamaan 4 dan 5 Pada hidrolisis, group alkaksi (-OR) digantikan melalui serangan nukleofilik atom oksigen dari molekul air di bawah pelepasan alkohol dan pembentukan hidroksi logam. Proses kondensasi dapat terjadi ketika senyawa hasil hidrolisis saling berinteraksi dan melepaskan molekul air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Lapisan Tipis TiO₂

Pada proses fabrikasi dengan metode hidrotermal terlihat adanya perubahan warna larutan prekursor menjadi kehitaman yang mengindikasikan

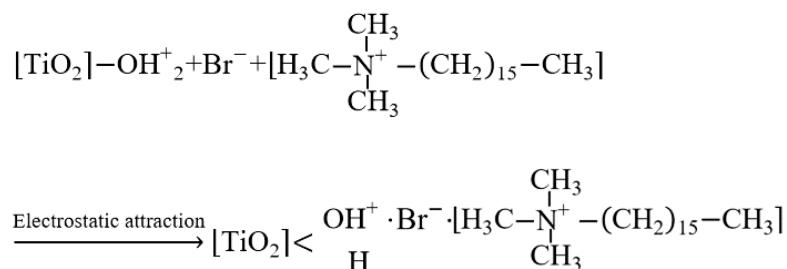
Persamaan reaksi hidrolisis sebagai berikut.



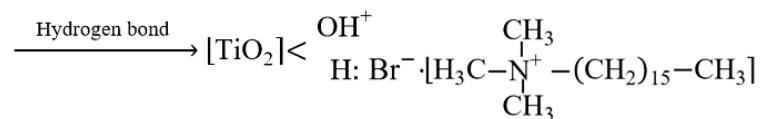
Dari hasil tersebut terlihat bahwa asam klorida $HCl(aq)$ merupakan larutan yang mudah hilang ketika dipanaskan dan larutan $Ti(OH)_{3(aq)}$ koloid akan bereaksi menjadi endapan titania yang berwarna putih seperti pada persamaan 5 dari uraian persamaan di atas dapat dipastikan bahwa hasil yang diperoleh selama proses hidrotermal adalah senyawa TiO_2 . TiO_2 tidak memiliki kelarutan dalam air sehingga ketika senyawa TiO_2 terbentuk pada proses hidrotermal sebagian TiO_2 akan mengendap.

Selain reaksi hidrolisis terjadi pula reaksi antara surfactant CTAB dan TiO_2 . Surfaktan digunakan sebagai *soft template* atau agen pembentuk pori. CTAB adalah surfaktan kationik dan dapat menyebabkan terjadinya ionisasi molekul. Surfaktan

CTAB terdiri dari bagian hidrofilik dan hidrofobik. Karena adanya proses termal menyebabkan terbentuknya misel. Ketika temperatur larutan dinaikkan, blok hidrofobik semakin kehilangan hydration sphere sehingga terjadi interaksi yang kuat antara blok hidrofobik. Blok hidrofilik akan tetap mempertahankan interaksinya dengan air. Penambahan surfaktan mengakibatkan surfaktan merakit dirinya sendiri membentuk misel sperikal. Misel ini mempertahankan bagian hidrofiliknya ketika bereaksi dengan air. Misel ini kemudian melindungi bagian hidrofobik yang berada dalam inti misel. Hal tersebut terjadi ketika larutan berada di atas konsentrasi kritis *micelle* (CMC). Skema reaksi antara TiO_2 dan CTAB ditunjukkan pada Reaksi:



atau

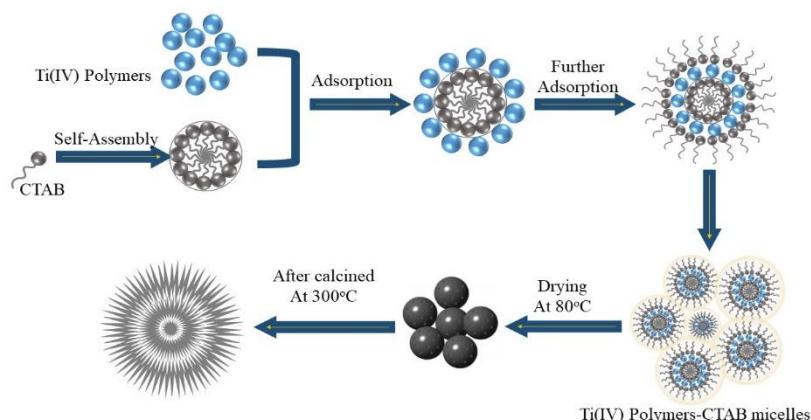


Mekanisme pembentukan Material TiO_2 yang diuraikan dalam penelitian ini mirip dengan yang dilakukan oleh (Lee, dkk., 2008) (Wang, dkk., 2017) yaitu dengan mengkombinasikan sifat *self assembly* surfaktan sebagai *template* untuk membentuk material inorganik disekitar *template*. Surfaktan itu sendiri merupakan molekul organik yang terdiri dari dua

bagian berbeda yaitu bagian hidrofobik (*non polar*) dan bagian hidrofilik (*polar*). Ketika dilarutkan pada suatu pelarut, energi permukaan larutan akan berkurang seiring dengan peningkatan konsentrasi surfaktan. Pengurangan energi permukaan tersebut akan terhenti ketika konsentrasi kritis tercapai. Sehingga energi permukaan akan cenderung konstan dengan penambahan

surfaktan. Konsentrasi kritis ini disebut *critical micellar concentration* (CMC). Pada konsentrasi ini surfaktan-surfaktan akan membentuk kumpulan surfaktan yang disebut *micelle*. Satu *micelle* biasanya terdiri dari 15-20 monomer surfaktan atau lebih. Pembentukan *micelle* disebabkan oleh efek

hidrofobik dari interaksi surfaktan dengan pelarut, selanjutnya surfaktan membentuk *supramolecular array* pada pelarut tergantung dari konsentrasi surfaktan pada pelarut, terdapat beberapa fasa yang berhubungan dengan molekul surfaktan pada pelarut untuk membentuk struktur *template*:



Gambar 2. Proses pembentukan struktur titanium dioksida (Wang, dkk., 2017)

Karakteristik Morfologi TiO_2

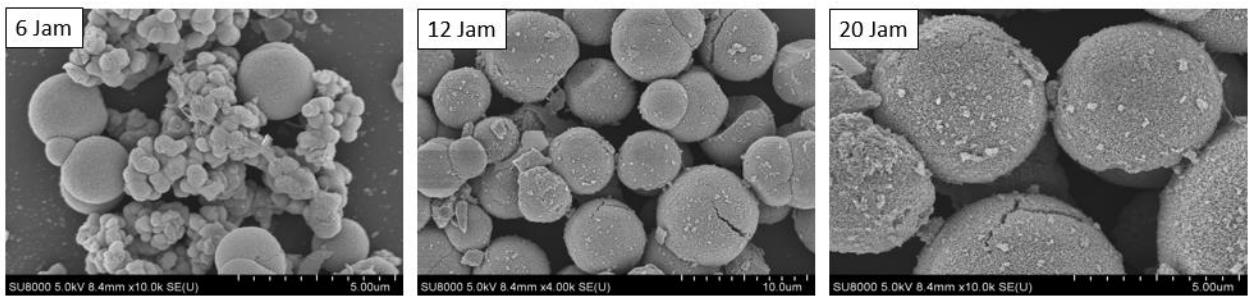
Dari hasil SEM Terlihat bahwa partikel TiO_2 yang tumbuh terdeposisi cukup merata menutupi permukaan substrat. Lapisan TiO_2 yang tumbuh di atas substrat FTO menyerupai bentuk *spherical*. Masing-masing sampel memiliki ukuran partikel yang berbeda-beda baik itu ukuran *sphere* TiO_2 maupun ukuran diameter nanorods yang menyusun *sphere*. Struktur morfologi yang muncul adalah berbentuk bulat tiga dimensi. Pada Gambar 3 terlihat pengaruh lama waktu reaksi terhadap material yang terbentuk. Semakin lama waktu reaksi semakin seragam ukuran partikel dan semakin berkurang aglomerasi. Pada waktu reaksi 6 jam terlihat ada beberapa partikel TiO_2 yang mengalami aglomerasi. Namun mulai waktu reaksi 12

jam sampai 20 jam atau seiring dengan peningkatan lama waktu reaksi, bulatan yang terbentuk mulai memisah dan diameter *sphere* beserta diameter nanorods yang melingkupinya mengalami peningkatan ukuran dengan bertambah lamanya waktu reaksi. Tabel 1 memperlihatkan data ukuran diameter TiO_2 .

Ketika proses hidrotermal berlangsung terjadi nukleasi dari senyawa TiO_2 yang kemudian dengan bantuan *template* CTAB membentuk TiO_2 *spherical* yang tersusun atas nanorod. Seiring dengan meningkatnya lama waktu reaksi, lapisan TiO_2 yang terbentuk akan teroksidasi dan tumbuh secara terus-menerus selama proses hidrotermal sampai konsentrasi larutan prekursor habis.

Tabel 1. Ukuran partikel titanium dioksida

Material	Waktu deposisi	Morfologi	Ukuran partikel
TiO_2 6 jam	6 jam	<i>Hierarchical sphere nanorods</i>	Diameter sphere = $\sim 2.5 \mu\text{m}$ Diameter nanorod = $\sim 21 \text{ nm}$
TiO_2 12 jam	12 jam	<i>Hierarchical sphere nanorods</i>	Diameter sphere = $\sim 4 \mu\text{m}$ Diameter nanorod = $\sim 38 \text{ nm}$



Gambar 3. Hasil SEM

Luas Permukaan Spesifik dan Distribusi Pori

Metoda adsorpsi gas N₂ digunakan untuk mengetahui luas permukaan spesifik,

$$\frac{1}{[Va(\frac{Po}{P}-1)]} = \frac{C-1}{VmC} \cdot \frac{Po}{P} + \frac{1}{VmC} \quad (7)$$

Ketika melakukan plot grafik nilai yang digunakan adalah $\frac{1}{[Va(\frac{Po}{P}-1)]}$ terhadap nilai $\frac{Po}{P}$ dimana $\frac{C-1}{VmC}$ merupakan nilai

$$C = \frac{k}{yo} + 1 \quad (8)$$

$$Vm = \frac{1}{k+yo} \quad (9)$$

Sehingga nilai luas permukaan yaitu:

$$S = \frac{VmNa}{M.22400} \quad (10)$$

Nilai a yang digunakan adalah 0.162 nm² karena gas yang digunakan dalam pengujian adalah gas nitrogen.

Dari persamaan 8 dan 9 terlihat bahwa nilai Vm berbanding terbalik dengan nilai kemiringan namun berbanding lurus dengan luas permukaan spesifik dengan kata lain kemiringan kurva grafik berbanding terbalik dengan luas permukaan

ukuran pori, dan distribusi ukuran pori material padat. Persamaan yang digunakan dalam menentukan luas permukaan spesifik adalah:

kemiringan k, adapun $\frac{1}{VmC}$ adalah titik potong sumbu y (yo). dari nilai kemiringan dan titik potong sumbu y dapat diperoleh data C dan Vm yaitu:

$$C = \frac{k}{yo} + 1 \quad (8)$$

$$Vm = \frac{1}{k+yo} \quad (9)$$

spesifik. Grafik hasil BET menunjukkan bahwa kemiringan grafik menurun dengan naiknya waktu reaksi, karena kemiringan grafik berbanding terbalik dengan luas permukaan spesifik maka dengan kata lain luas permukaan spesifik meningkat dengan meningkatnya waktu reaksi. Nilai luas permukaan spesifik sampel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Hasil pengujian Luas Permukaan Spesifik

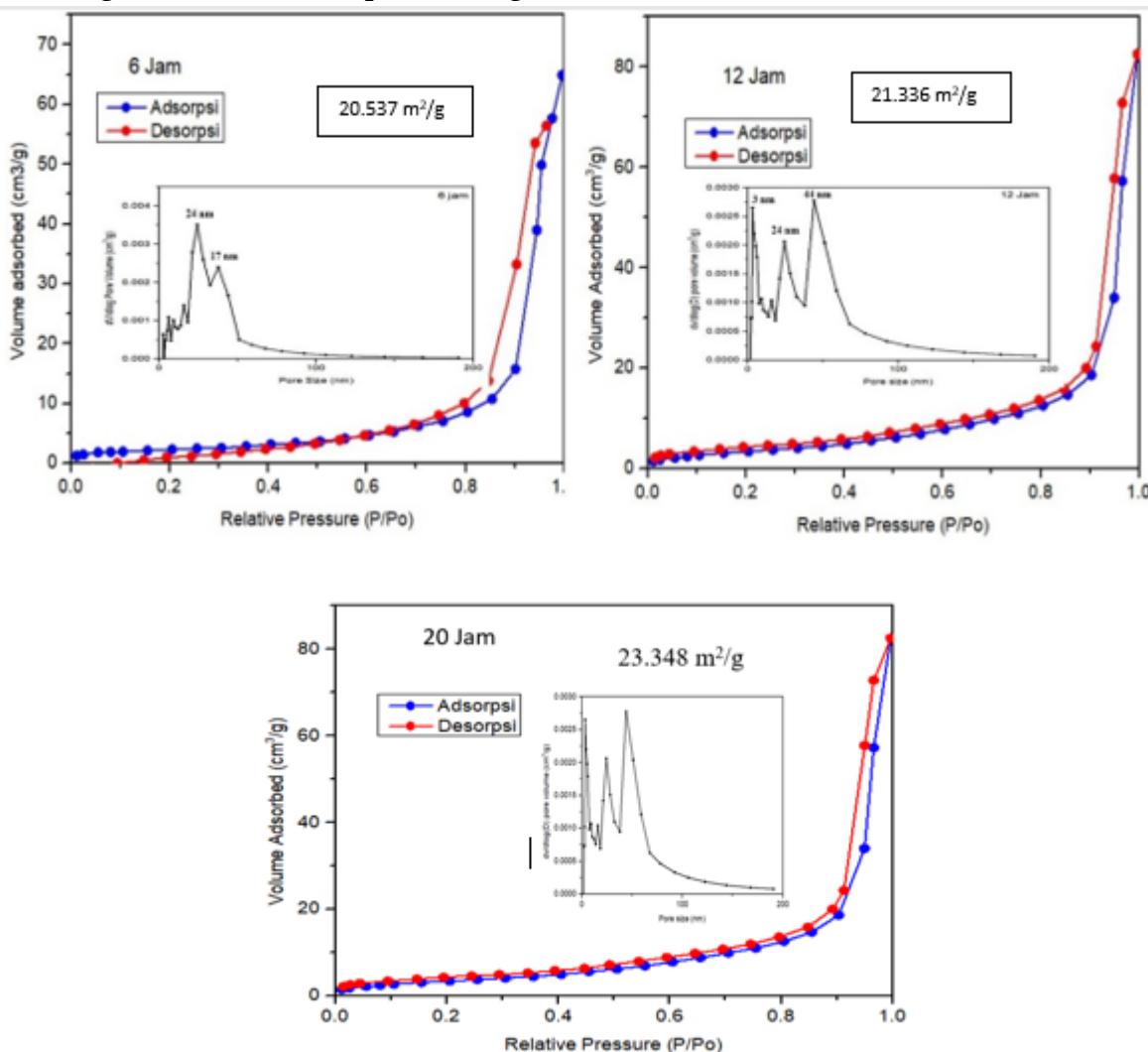
Material	Luas permukaan spesifik (m ² /g)
TiO ₂ 6 jam	20.537
TiO ₂ 12 jam	21.336
TiO ₂ 20 jam	23.348

Nilai luas permukaan spesifik masing masing sampel TiO₂ dengan lama waktu reaksi 6 jam, 12 jam dan 20 jam yaitu 20.537 m²/g, 21.336 m²/g dan 23.348 m²/g. Luas permukaan spesifik naik dengan

meningkatnya lama waktu reaksi. Luas permukaan yang meningkat ini dikarenakan semakin banyak pori yang terbentuk pada material.

Untuk uji karakterisasi BET dilakukan pada sampel TiO_2 6 jam, TiO_2 12 jam, dan TiO_2 20 jam. Gambar 4 merupakan grafik adsorpsi desorpsi *isotherm* yang diperoleh dari hasil pengujian BET. Dari gambar kurva terlihat bahwa isotherm adsorpsi desorpsi adalah jenis kurva IV dari kurva BET dengan histerisis dimana adsorben atau material TiO_2 adalah cenderung bersifat mesopori dengan

interaksi adsorbat dan adsorben yang kuat dan juga lemah. Gambar 4 juga menunjukkan gambar distribusi pori dari TiO_2 yang telah disintesis. Dari grafik terlihat bahwa pada TiO_2 12 jam dan 20 jam terdapat distribusi pori yang lebih banyak dan lebih besar dibanding TiO_2 6 jam hal tersebut menjadikan luas permukaan spesifik TiO_2 20 jam menjadi lebih tinggi dibanding TiO_2 6 jam dan 12 jam.



Gambar 4. Grafik Adsorpsi Desorpsi Isotherm titanium dioksida

SIMPULAN

TiO_2 berstruktur *spherical* tiga dimensi dapat disintesis dengan menggunakan metode hidrotermal pada suhu 180°C . Hasil SEM menunjukkan bahwa titanium dioksida yang diperoleh memiliki struktur *microsphere* dengan keragaman ukuran sphere $2,5 \mu\text{m}$, $4 \mu\text{m}$ dan $5 \mu\text{m}$. Sedangkan diameter nanorod yang melingkupinya

adalah 21 nm , 38 nm dan 42 nm . Kelebihan dari sintesis metode ini adalah dapat dilakukan pada suhu dan waktu reaksi yang moderat dibanding metode lain. Lama waktu reaksi hidrotermal juga berpengaruh ketika pembentukan lapisan TiO_2 berpengaruh terhadap sifat morfologi dan ukuran partikel serta sifat kristal material. Semakin lama waktu reaksi ukuran *sphere*

dan diameter nanorods yang melingkupi *sphere* juga semakin meningkat. Begitu pula dengan luas permukaan spesifiknya. TiO_2 yang dihasilkan memiliki distribusi baik dan seragam dengan luas permukaan spesifik yaitu $21.336 \text{ m}^2/\text{g}$, $20.537 \text{ m}^2/\text{g}$ dan $23.348 \text{ m}^2/\text{g}$. Metode sintesis ini dapat digunakan untuk membuat titanium dioksida berstruktur nano yang dapat diterapkan di berbagai bidang.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-homoudi, I. A., Thakur, J. S., Naik, R., Auner, G. W., & Newaz, G. (2007). Anatase TiO_2 Films Based CO Gas Sensor: Film Thickness, Substrate and Temperature Effects. *Applied Surface Science*. 253 (21). 8607–14. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2007.04.068>
- Binetti, E., Bazzanella, N., Comparelli, R., & Miotello, A. (2016). Electrophoretic Deposition of Colloidal TiO_2 Nanorods Towards Nano-Porous Thin-Films. *Materials Letters*. 174(1). 226-229. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.03.117>
- Chen, N., Li, Y., Deng, D., Liu, X., Xing, X., Xiao, X., & Wang, Y. (2017). Acetone Sensing Performances Based on Nanoporous TiO_2 Synthesized by a Facile Hydrothermal Method. *Sensors & Actuators: B. Chemical* 238. 491–500. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.07.094>
- Guo-dong, S. H. I., Song Jun, Yang Liu-liu, and Zhang Li-xiong. 2014. “Hydrothermal Synthesis of Flower-like Hierarchical TiO_2 Microspheres from Titanium Sulfate and Hexafluorosilicic Acid.” 29(8):891–96. doi: 10.15541/jim20140114.
- Lee, D. U., Jang, S. R, Vittal, R., Lee, J., & Kim, K. J. (2008). CTAB Facilitated Spherical Rutile TiO_2 Particles and Their Advantage in a Dye-Sensitized Solar Cell. *Solar Energy*. 82(11):1042–48. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.04.006>
- Liu, X., Sun, Q., Liu, F., Djurisic, A. B., Ching Ng, A. M., Xie, M.,, & Shih, K. (2014). The Influence of TiO_2 Nanostructure Properties on the Performance of TiO_2 -Based Anodes in Lithium Ion Battery Applications. *Turkish Journal of Physics*. 38(3). 442–449. doi: 10.3906/fiz-1405-1.
- Sun, Z., Kim, J. H., Zhao, Y., Attard, D., & Dou, S. X. (2013). Morphology-Controllable 1D-3D Nanostructured TiO_2 Bilayer Photoanodes for Dye-Sensitized Solar Cells. *Chemical Communications*. 49. 966–68. <https://doi.org/10.1039/C2CC37212F>
- Syuhada, N., B. Yuliarto, & Nugraha. (2018). Synthesis and Characterization Hierarchical Three-Dimensional TiO_2 Structure via Hydrothermal Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 367(1). doi: 10.1088/1757-899X/367/1/012052.
- Syuhada, N., Yulianto, B., & Nugraha. (2020). Preparation and Application Porous TiO_2 for SO_2 Gas Sensor. *Proceedings of the 2nd International Conference on Islam, Science and Technology* (Iconist 2019):138–41. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200220.025>
- Venkatachalam, S., Hayashi, H., Ebina, T., & Nanjo, H. (2013). Preparation and Characterization of Nanostructured TiO_2 Thin Films by Hydrothermal and Anodization Methods. InTech. doi: 10.5772/51254

- Vijayalakshmi, K., & Jereil, S. D. (2015). Enhanced Ethanol Sensing Performance of Fe : TiO₂ Nanowires and Their Mechanism of Sensing at Room Temperature. *Ceramics International*. 41(2). 3220–3226. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.11.007>
- Wang, T., Li, W., Xu, D., Wu, X., Cao, L., & Meng, J. (2017). A Novel and Facile Synthesis of Black TiO₂ with Improved Visible-Light Photocatalytic H₂ Generation: Impact of Surface Modification with CTAB on Morphology, Structure and Property. *Applied Surface Science*. 426:325–332. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.07.153>
- Wang, Y. L., Tan, S., Wang, J., Tan, Z., J., Wu, Q. X., Jiao, Z., & Wu, M. H. (2011). The Gas Sensing Properties of TiO₂ Nanotubes Synthesized by Hydrothermal Method. *Chinese Chemical Letters*. 22(5). 603–606. <https://doi.org/10.1016/j.cclet.2010.11.020>
- Shi, W., Song, S., & Zhang, H. (2013). Hydrothermal Synthetic Strategies of Inorganic Semiconducting Nanostructures. *Chemical Society Review*. 42(13). 5714-5743. <https://doi.org/10.1039/C3CS60012B>