



Pengaruh Laju Penambahan Doping Fosfor terhadap Struktur Kristal dan Luas Permukaan Spesifik Nanotitania dengan Metode Sol Gel

Vidi Nurhidayah^a, Posman Manurung^b, dan Ediman Ginting^c

Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141

Article Information

Article history:

Received January 10th, 2021

Received in revised form April 10th, 2021

Accepted May 17th, 2021

Keywords:

Nanotitania, sol-gel method, surface area, syringe pump.

Abstract

Research on the effect of the addition phosphorus doping using a syringe pump with the sol-gel method. The purpose of this study was to determine the effect of the addition rate of phosphorus doping to the crystal structure and specific surface area of TiO₂. Doping increment rate used are 0,4; 0,2; 0,13 and 0,1 ml/hours of TiO₂ samples were calcined at 450°C for 5 hours. The powder was characterized by x-ray diffraction (XRD) and surface area analyzer (SAA) by the BET method. XRD diffractogram generally shows that the nanotitania crystal structure phase is anatase which is the result of TTIP synthesis as the main source of TiO₂. Particle size analysis using XRD data on TiO₂ with different rates in a row that is 10.13; 9.98; 9.25 and 10.33 nm. BET test results for each sample were 86,954; 87,367; 99,694; 96,295 and 96,187 m²/g. The results of XRD characterization can affect the surface area, getting smaller the particle size, the greater surface area will be obtained.

Informasi Artikel

Proses artikel:

Diterima 10 Januari 2021

Diterima dan direvisi dari 10 April 2021

Accepted 17 Mei 2021

Kata kunci:

Luas permukaan, metode sol-gel, nanotitania, syringe pump.

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan doping fosfor menggunakan syringe pump dengan metode sol-gel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi laju penambahan doping fosfor terhadap struktur kristal dan luas permukaan spesifik TiO₂. Laju penambahan doping yang digunakan adalah 0,4; 0,2; 0,13 dan 0,1 ml/jam. Sampel TiO₂ dikalsinasi pada suhu 450°C selama 5 jam. Serbuk dikarakterisasi dengan x-ray diffraction (XRD) dan surface area analyzer (SAA) dengan metode BET. Difraktogram XRD secara umum menunjukkan fasa struktur kristal nanotitania adalah anatase yang merupakan hasil sintesis TTIP sebagai sumber utama TiO₂. Analisis ukuran partikel menggunakan data XRD pada TiO₂ dengan laju yang berbeda-beda secara berturut-turut yaitu sebesar 10,13; 9,98; 9,25; dan 10,33 nm. Hasil uji BET pada setiap sampel berturut-turut yaitu 86,954; 87,367; 99,694; 96,295 dan 96,187 m²/g. Hasil karakterisasi XRD dapat berpengaruh terhadap luas permukaan, yaitu semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar luas permukaan yang diperoleh.

1. Pendahuluan

Seiring berkembangnya zaman, nanopartikel menjadi perhatian para peneliti untuk dikembangkan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi. Nanopartikel adalah koloid padat yang memiliki ukuran dengan kisaran 1-100 nm (Hosokawa et al., 2007). Material dalam skala nano dapat meningkatkan sifat fisik, mekanik, dan kimia tanpa harus merusak struktur atomnya. Penelitian (Willems & D, 2005) mengatakan bahwa karakteristik spesifik dari nanopartikel bergantung pada ukuran, distribusi, morfologi dan fasanya.

Pemanfaatan nanopartikel memiliki kapasitas yang jauh lebih besar dengan melibatkan luas permukaan. Nanopartikel juga memiliki reaktivitas yang jauh lebih tinggi karena atom-atomnya mempunyai peluang lebih besar untuk berinteraksi dengan material lain (Saxton, 2007). Hal ini juga berlaku dalam pengembangan

* Corresponding author.

E-mail address: (a*) vidinurhidayah03@gmail.com, (b) posman65@unila.ac.id, (c) ediman.gintingsuka.fmipa.ac.id

nanotitania. Dilihat dari struktur atomnya, titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu jenis nanomaterial yang menarik untuk diteliti saat ini.

TiO_2 merupakan salah satu bahan semikonduktor berbasis oksida (Prasetyowati, 2012) dan dapat aktif apabila dipancarkan cahaya, serta bersifat setengah penghantar diantara isolator dan konduktor. Perbedaan fasa juga mempengaruhi karakteristik TiO_2 dalam aktivitas katalis. Meskipun harga *band gap* TiO_2 jenis anatase lebih tinggi yaitu sebesar 3,2 eV dibandingkan rutile sebesar 3,1 eV. Anatase diketahui sebagai kristal titania yang lebih fotoaktif daripada rutile (Hanaor & Sorrell, 2011).

Beberapa metode yang digunakan dalam pembuatan nanotitania diantaranya metode mikroemulsion (HsiehChing-shieh et al., 2008), pengendapan (presipitasi) (Parida & Naik, 2009), hidrotermal (Lu et al., 2008), dan sol-gel (Guan et al., 2001). Metode sol gel merupakan metode yang mudah dilakukan, ramah lingkungan, biaya relatif murah dan proses sintesis monodisperse yang homogen.

Pembentukan nanotitania dengan metode sol-gel dapat diperoleh dari bahan awal (prekursor) titanium isopropoksida (Reyes et al., 2008). Modifikasi nanotitania dengan bahan awal titanium isopropoksida dapat dilakukan dengan cara menambahkan fosfor sebagai dopan. Fosfor merupakan unsur nonlogam golongan nitrogen dengan nomor atom sebesar 15. Fosfor memiliki titik lebur 44°C , titik didih 277°C dan kerapatan $1822,9 \text{ kg/m}^3$. Fosfor berasal dari bahasa Latin yaitu *phosphoros* yang berarti pembawa terang karena keunikannya yaitu bercahaya dalam gelap.

Penelitian (Ceria et al., 2017) penambahan dopan fosfor dengan metode sol gel pada TiO_2 menggunakan mikropipet secara perlahan, mengakibatkan penurunan intensitas. Hal ini mengindikasikan bahwa tingkat kristalinitas menurun, dan ukuran partikel TiO_2 menjadi semakin kecil dari $(16,77 \pm 3,5) \text{ nm}$ menjadi $(7,5 \pm 1,1) \text{ nm}$. Pada penelitian ini, digunakan fosfor sebagai dopan yaitu sebanyak 0,2 mL dengan variasi waktu penetesannya yaitu 0,5; 1,0; 1,5 dan 2 jam menggunakan pompa injeksi. Penetesan dopan dengan pompa injeksi secara perlahan dilakukan menggunakan metode sol gel yang bertujuan untuk menghasilkan tetesan yang lebih konstan pada reaksi hidrolisis, serta untuk mengetahui perbedaan pembentukan fasa, struktur kristal dan ukuran kristal TiO_2 saat menggunakan dan tidak menggunakan pompa injeksi dengan karakterisasi *x-ray diffraction* (XRD) dan *surface area analyzer* (SAA) dengan metode *Brunner Emmett Teller* (BET) untuk mengukur ukuran pori dan luas permukaan.

2. Metode Penelitian

Alat-alat yang digunakan adalah neraca digital, batang magnet, pipet makro, spatula, gelas *beaker*, gelas petri, oven, lemari asam, aluminium oil, plastik *wrapping*, *mortar pestle*, tungku (*furnace*), *crucible*, *magnetic stirrer*, *stopwatch*, kertas lakmus, *syringe pump*, XRD X'PERT *powder PANalytical diffractometers*, SSA. Bahan-bahan yang digunakan adalah tween 80 ($\text{C}_{64}\text{H}_{123}\text{O}_{26}\text{H}$), aquades, isopropil alkohol ($\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$), asam klorida (HCL), titanium isopropoksida (TTIP), asam fosfat (H_3PO_4), dan asam asetat (CH_3COOH).

Sebelum menyintesis P-doping TiO_2 semua bahan diukur massa dan volumenya. Adapun perbandingan komposisi bahan yang digunakan dan variasi waktu penambahan doping pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Variasi laju penambahan doping fosfor pada setiap sampel

Sampel	Tween-80 (g)	i-PrOH (ml)	TTIP (ml)	H_3PO_4 (ml)	Laju penambahan doping (jam)
A	11	60	7	0,2	-
B	11	60	7	0,2	0,5
C	11	60	7	0,2	1,0
D	11	60	7	0,2	1,5
E	11	60	7	0,2	2,0

Tween-80 11 g dicampur dengan *isopropyl alcohol* 60 mL di dalam sebuah gelas beker dan diaduk selama ± 15 menit. Setelah itu, ditambahkan asam asetat 2 mL kemudian diaduk selama ± 15 menit dan dilanjutkan dengan pemberian TTIP 7 mL tetes demi tetes (*dropwise*). Larutan ini terus diaduk selama ± 30 menit, kemudian larutan tersebut (TiO_2) ditambahkan doping berupa asam fosfat (H_3PO_4) 0,2 mL secara langsung tanpa menggunakan pompa injeksi (sampel A), selanjutnya penambahan doping dengan variasi laju penambahan 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, dan 2 jam yang disebut sebagai sampel B, C, D, dan E.

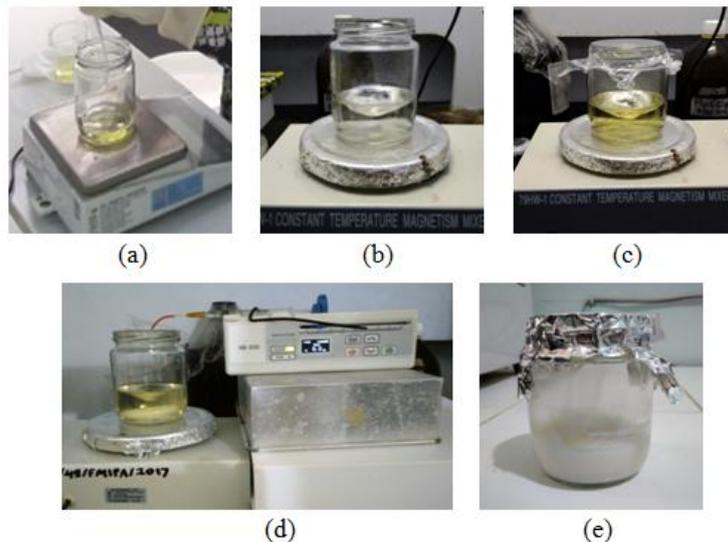
Pengadukan dilanjutkan selama 24 jam sehingga semua bahan homogen kemudian dilakukan pengeringan menggunakan oven pada suhu $\pm 80^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah itu sampel dikalsinasi dengan pengaturan suhu dimulai suhu kamar 30°C ke 250°C selama 1 jam kemudian pada suhu 250°C ditahan selama 2 jam, dilanjutkan penambahan suhu dari 250°C ke 450°C selama 1 jam kemudian pada suhu 450°C ditahan selama 5 jam. Setelah dikalsinasi, kemudian sampel diuji luas permukaan dan dikarakterisasi menggunakan XRD.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Sintesis Sampel

Pada penelitian ini diperoleh 5 sampel yaitu sampel A, B, C, D dan E menggunakan metode sol-gel. Sampel diperoleh melalui pencampuran antara tween-80, titanium isopropoksida, asam asetat, dan isopropanol yang direaksikan dengan larutan H_3PO_4 sebagai sumber doping fosfor.

Proses sintesis sampel dapat dilihat pada **Gambar 1**, mula-mula bahan tween-80 ditimbang dengan menggunakan timbangan digital sebanyak 11 gr dan ditambahkan dengan isopropanol sebanyak 60 mL. Penambahan isopropanol mengakibatkan perubahan warna asli dari tween-80 yang kekuningan menjadi lebih bening sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 1b**. Kemudian pada **Gambar 1c**, penambahan TTIP 7 mL yang diukur menggunakan pipet tetes mikro, dan mengakibatkan larutan berubah menjadi kuning bening. Setelah itu penetesan doping fosfor dari H_3PO_4 sehingga terjadi perubahan warna dari bening menjadi putih susu dan perubahan tekstur menjadi lebih kental dari sebelumnya yang ditunjukkan pada **Gambar 1d**. Setelah itu dilakukan pengadukan selama 24 jam, dan dihasilkan sampel seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1.e**.



Gambar 1. Sintesis Sampel (a) Penimbangan tween-80, (b) Penambahan isopropanol, (c) Penambahan TTIP, (d) Penetesan fosfor, (e) Sampel.

Setelah dihasilkan sampel yang diaduk selama 24 jam, kemudian sampel dipanaskan dalam oven selama beberapa jam, agar air dalam wadah sampel dapat menguap. Kemudian sampel yang sudah menguap, dipindahkan ke cawan petri, agar sampel lebih kering merata. Sampel yang sudah dipanaskan dalam oven \pm 24 jam dan sudah kering, kemudian sampel akan dikalsinasi dengan suhu yang telah ditentukan. Hasil sampel yang telah dipanaskan dalam oven dan yang telah dikalsinasi pada suhu tertentu dapat dilihat pada **Gambar 2**.

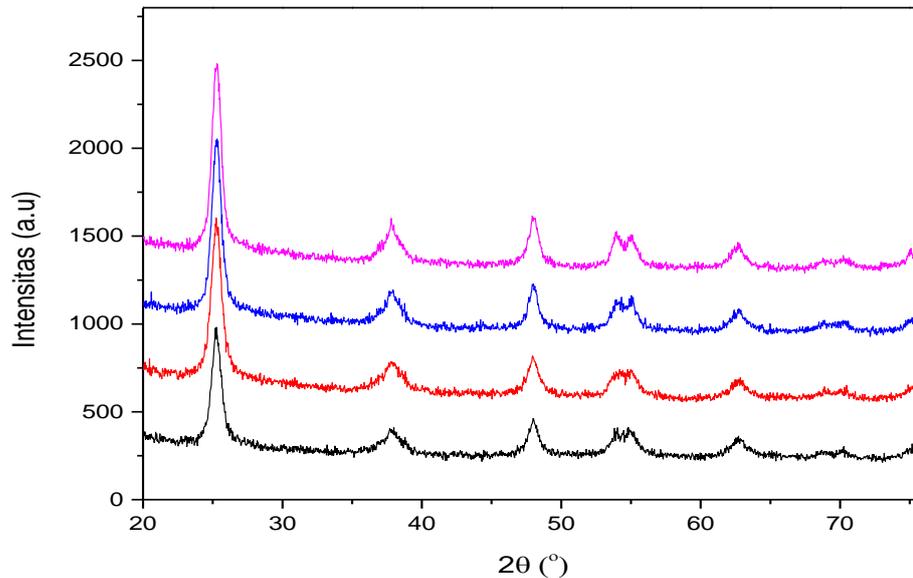


Gambar 2. (a) Sampel setelah dioven, (b). Sampel setelah kalsinasi

3.2 Analisis XRD

Menurut pencocokan data yang diperoleh, dari metode pencocokkan, fasa yang terbentuk pada sampel adalah anatase, yang sesuai dengan No. PCPDFWIN 21-1272. Pola XRD sampel yang diperoleh dianalisis menggunakan aplikasi *OriginPro*. Pola difraksi sampel TiO_2 ini ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Pada **Gambar 3** yang sesuai dengan metode pencocokkan diperoleh fasa yang muncul pada intensitas tertinggi dari sampel A yakni pada sudut 2θ adalah $25,267^\circ$; $47,922^\circ$; $37,697^\circ$. Sampel B fasa yang muncul pada intensitas tertinggi dengan sudut 2θ $25,265^\circ$; $47,921^\circ$; $37,685^\circ$.



Gambar 3. Difraktogram sampel A, B, C dan D dengan panjang gelombang sinar-X sebesar 1,54056Å.

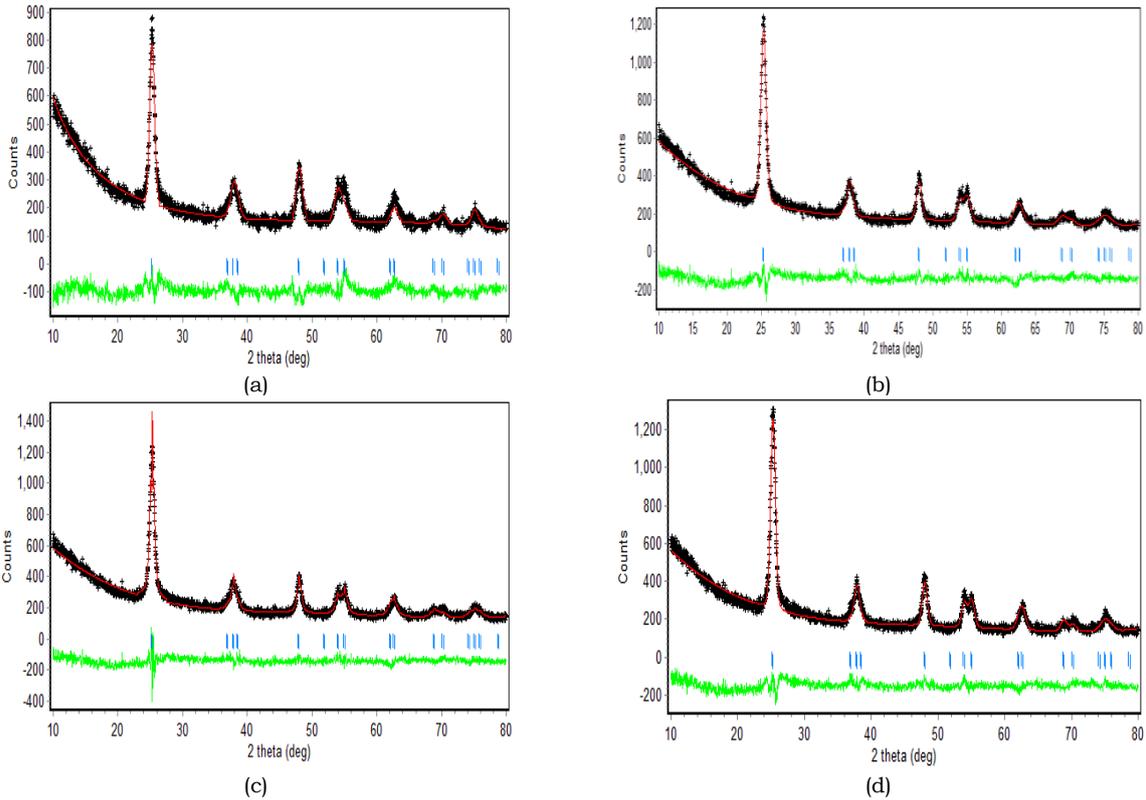
Sedangkan dari sampel C fasa yang muncul pada intensitas tertinggi yakni pada sudut 2θ 25,276°; 48,064°; 37,545°, dan yang terakhir pada sampel D fasa muncul pada intensitas tertinggi dengan sudut 2θ 25,281°; 47,886°; 37,628° dan beberapa sudut 2θ lainnya yang berkaitan dengan bidang-bidang kisi pada setiap sampel yaitu (101), (200) dan (004).

Pada **Gambar 3** terlihat bahwa baik sampel A, B, C maupun sampel D tidak menimbulkan fasa baru karena sebagian besar data yang dihasilkan sama. Berdasarkan **Gambar 3** dapat dilihat difraktogram sampel TiO₂ menunjukkan bahwa fasa sampel adalah murni anatase. Sampel TiO₂ hasil sintesis dengan laju penambahan doping dengan waktu yang berbeda-beda sebelum diuji dengan menggunakan XRD dikalsinasi pada suhu 450°C. Fasa anatase mulai muncul pada suhu 120-500°C (Abdou, 2003) sedangkan fasa anatase akan bertransformasi menjadi fasa rutil pada suhu 700- 915 °C (Afrozi, n.d.).

Gambar 3 menunjukkan bahwa grafik yang dihasilkan merupakan pengaruh penambahan doping fosfor dengan laju yang berbeda-beda pada TiO₂ mengakibatkan penurunan intensitas dan ukuran partikel, meskipun penurunannya tidak signifikan.

Hasil utama dari penghalusan Rietveld adalah parameter-parameter struktur. Parameter-parameter struktur dihaluskan menggunakan metode pencocokan pola keseluruhan (*whole-pattern-fitting method*). Dalam melakukan penghalusan difraktogram menggunakan metode Rietveld ini perlu diperhatikan nilai *Goodness of Fit* (GoF). Indikator yang baik adalah GoF. Jika nilai GoF > 1 model struktural atau pemodelan profil harus tetap ditingkatkan, tetapi nilai GoF < 2 sudah memuaskan (Zhang et al., 2019). Nilai GoF yang disimbolkan dengan $2 \leq 4$ pun sudah dikatakan baik (Sembiring et al., 2019). Berdasarkan hasil pengujian diperoleh difraktogram sampel A, B, C dan D, yang berisi informasi keluaran berupa indeks kecocokan dari pola difraksi terhitung dengan pola difraksi terukur seperti pada **Gambar 4**.

Gambar 4 terlihat bahwa penghalusan pola XRD sampel A tanpa menggunakan pompa injeksi, kemudian sampel B, C dan D adalah sampel dengan laju penambahan fosfor selama 0,5; 1; 1,5 jam, hal ini dapat dilihat berdasarkan pola garis selisih antara data pengamatan (berwarna hitam) dan hasil perhitungan (garis hijau) yang memiliki pola rata yang berarti bahwa selisih antara hasil perhitungan dan data pengamatan adalah relatif kecil. Dari proses penghalusan sampel TiO₂ tampak bahwa sampel tersebut memiliki struktur kristal TiO₂ anatase dengan simbol *space group* yang sama antar sampel, yaitu *I41/amd* dengan nilai parameter sel yang berbeda-beda. Parameter sel sampel A yaitu $a = b = 3,7891\text{\AA}$ dan $c = 9,5042\text{\AA}$. Kemudian parameter sel sampel B yaitu $a = b = 3,7900\text{\AA}$ dan $c = 9,5032\text{\AA}$. Parameter sel pada sampel C yaitu $a = b = 3,8085\text{\AA}$ dan $c = 9,5442\text{\AA}$. Parameter sel yang terakhir pada sampel D yaitu $a = b = 3,7899\text{\AA}$ dan $c = 9,5050\text{\AA}$, dengan sudut kisi yang sama pada setiap sampel yaitu $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Adapun parameter keluaran yang menunjukkan kecilnya selisih antara hasil perhitungan dengan data pengamatan yaitu GoF (*goodness of fitting*) atau χ^2 .



Gambar 4. Plot keluaran penghalusan difraktogram

Pada **Gambar 4** menunjukkan penghalusan sampel TiO₂. Hasil grafik penghalusan, dapat berpengaruh pada indeks kecocokan hasil *refinement*. Pencocokan ini dapat dinyatakan selesai apabila selisih antara pola terhitung dan terukur memiliki fluktuasi yang relatif kecil dapat diamati secara visual dan nilai GoF < 4%. Hasil penghalusan Rietica berisi informasi parameter struktur kristal seperti pada **Tabel 2**.

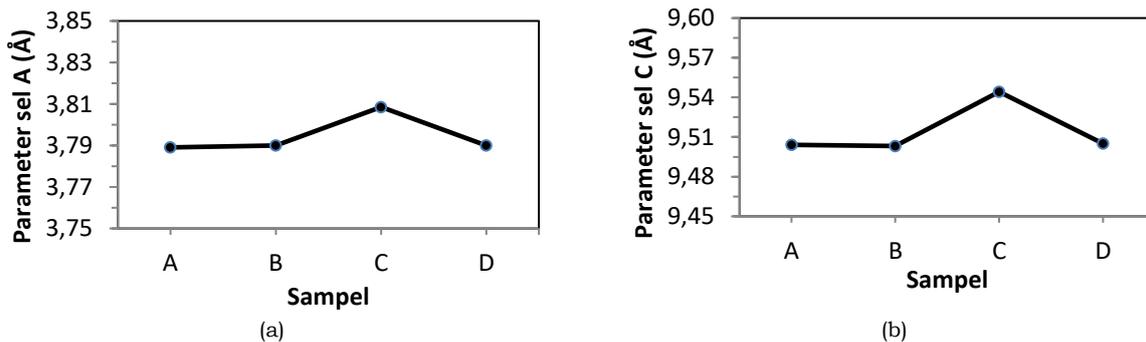
Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai $\chi^2 < 4\%$, hal ini berarti data tersebut semakin bagus. Begitu pula dengan kerapatan dari masing-masing sampel memiliki nilai yang hampir sama.

Tabel 2. Informasi keluaran hasil *refinement*.

Sampel	R_p	R_{wp}	R_{exp}	R_B	χ^2 (%)	Densitas teori (g/cm ³)
A	6,40	8,31	6,76	2,02	1,513	2337
B	6,11	7,99	6,32	2,54	1,676	2404
C	6,07	7,62	6,17	1,52	1,453	1976
D	6,34	7,88	6,36	1,95	1,536	1993

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai $\chi^2 < 4\%$, hal ini berarti data tersebut semakin bagus. Begitu pula dengan kerapatan dari masing-masing sampel memiliki nilai yang hampir sama. Hasil analisis XRD juga dapat digunakan untuk mengetahui ukuran kristal TiO₂ yaitu dengan cara menganalisis puncak tertinggi menggunakan *software OriginPro*.

Selain data diatas, seperti kerapatan, bentuk puncak, nilai χ^2 , juga dapat diketahui parameter sel yang diperoleh dari output *refinement* sampel TiO₂. Karena parameter sel $a=b \neq c$, maka grafik parameter sel yang digunakan hanya a dan c seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 5. (a) Sel parameter a atau b, (b) sel parameter c

Gambar 5 menunjukkan bahwa sel parameter a atau b maupun parameter c relatif sama pada sampel A, B, C dan D. Hal ini berarti bahwa laju penambahan doping menggunakan pompa injeksi berpengaruh pada perubahan sel parameter, walaupun hanya sedikit perubahannya.

3.3 Analisis Luas Permukaan

Untuk mengetahui luas permukaan spesifik dari sampel maka dilakukan uji menggunakan SAA dengan metode BET. Luas permukaan spesifik metode BET dihitung melalui proses adsorpsi-desorpsi nitrogen pada kondisi setimbang dalam suhu nitrogen cair yaitu (77 K) menggunakan SAA merk *Quantachrome* NOVA 1000e versi 11.0. Data yang didapat berupa adsorpsi gas nitrogen pada sampel berupa tekanan relatif dan volume gas nitrogen yang teradsorpsi. Kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan lalu dibuat grafik plot BET.

$$\frac{1}{x\left[\left(\frac{P}{P_0}\right) - 1\right]} = \frac{1}{C \cdot X_m} + \frac{C - 1}{C \cdot X_m} \times \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

Grafik plot BET yang terbentuk akan membentuk kurva dengan sumbu x merupakan tekanan relatif $\left(\frac{P}{P_0}\right)$ dan sumbu y merupakan berat gas yang diserap pada tekanan relatif $\left(\frac{1}{x\left[\left(\frac{P}{P_0}\right) - 1\right]}\right)$. Kurva tersebut membentuk garis lurus untuk mendapatkan kemiringan (*slope*) dan titik potong kurva (*intercept*). Nilai-nilai tersebut digunakan untuk mendapatkan berat gas yang diadsorpsi dalam X_m (lapisan tunggal). Pada **Gambar 6** sampel A menghasilkan nilai kemiringan yaitu 34,06 dan titik potong 0,867.

Pada **Gambar 6** yaitu grafik plot BET, diperoleh nilai perpotongan dan kemiringan yang digunakan untuk menghasilkan nilai X_m menggunakan persamaan 2.

$$X_m = \frac{1}{s + i} \quad (2)$$

Setelah didapatkan nilai X_m untuk masing-masing sampel, maka luas permukaan spesifik (S) didapatkan dengan menggunakan persamaan 3.

$$S = \frac{X_m \cdot N \cdot A_{cs}}{M} \quad (3)$$

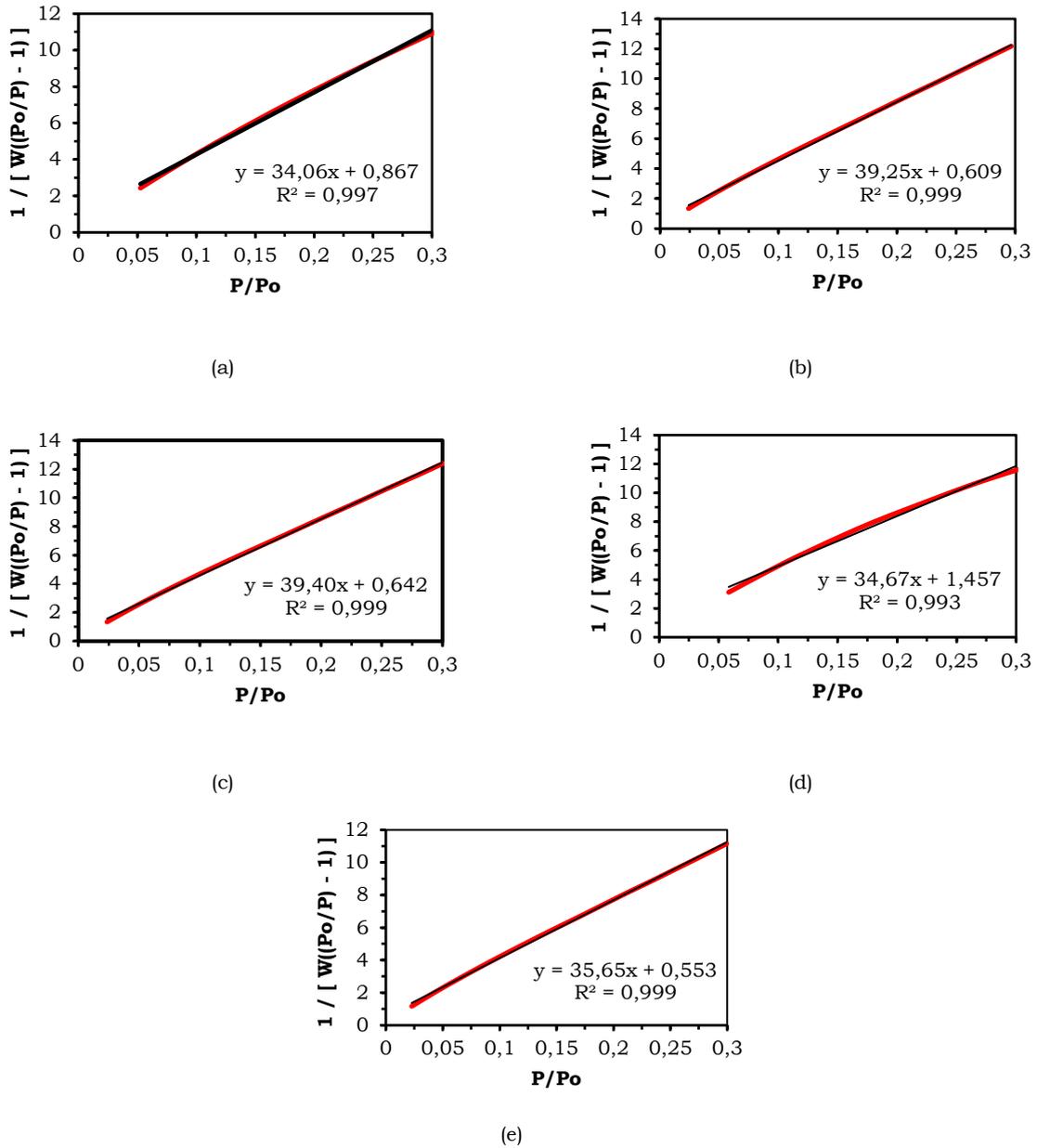
Data hasil luas permukaan dapat dilihat pada **Gambar 7**.

Dari **Gambar 7** dapat diketahui bahwa sampel A yaitu sampel tanpa pompa injeksi yang memiliki luas permukaan spesifik 86,9 m²/g. Untuk sampel B, memiliki luas permukaan spesifik sebesar 87,4 m²/g. Sedangkan untuk sampel C, yaitu pada saat penetasan doping selama 1 jam memiliki luas permukaan spesifik terbesar yaitu 99,7 m²/g. Kemudian untuk sampel D diperoleh luas permukaan spesifik yang cenderung menurun yaitu sebesar 96,3 m²/g. Pada sampel E, diperoleh luas permukaan spesifik sebesar 96,2 m²/g. Sehingga grafik luas permukaan dapat dilihat seperti **Gambar 7** dibawah ini.

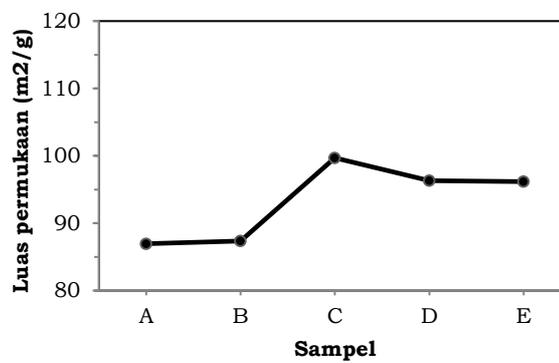
Dari kelima sampel, nilai luas permukaan terbesar yaitu pada sampel C dengan lama penetasan TTIP selama 1 jam sebesar 99,7 m²/g. **Gambar 7** menunjukkan plot luas permukaan nanotitania yang didoping fosfor menggunakan pompa injeksi, dengan variasi laju penetasan doping selama 0,5; 1; 1,5; dan 2 jam.

Analisis luas permukaan dapat menunjukkan peningkatan dan penurunan luas permukaan nanotitania dengan laju penetasan doping yang berbeda-beda. Meningkatnya luas permukaan dapat dipengaruhi oleh suhu kalsinasi selama sampel dipanaskan. Laju penetasan doping juga dapat mempengaruhi peningkatan luas permukaan. Pada sampel A, yaitu sampel dengan penetasan doping tanpa menggunakan pompa injeksi, dan diperoleh nilai luas permukaan paling kecil. Luas permukaan maksimum dapat dilihat pada sampel C yaitu pada sampel dengan laju penambahan doping selama 1 jam. Apabila dilihat dari grafik, jika laju penambahan doping kurang dari atau lebih dari 1 jam grafik yang dihasilkan menurun secara signifikan.

Dari data-data XRD dan luas permukaan, dapat disimpulkan bahwa nilai ukuran partikel dapat mempengaruhi luas permukaan nanotitania. Semakin kecil ukuran partikel sampel, maka semakin besar luas permukaan yang diperoleh.



Gambar 6. Grafik plot BET sampel A, B, C, D, dan E



Gambar 7. Luas permukaan nanotitania dengan variasi laju penetasan doping fosfor

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah pengaruh laju penginjeksian terhadap struktur kristal yang diperoleh dari sampel TiO₂ adalah anatase. Pada sampel C yaitu laju penambahan doping selama 1 jam, diperoleh ukuran partikel paling kecil ± 9,25 nm. Pada proses akhir penghalusan pada difraksi sampel TiO₂ menghasilkan nilai χ^2 yaitu sebesar 1,453. Semakin kecil ukuran kristalit pada setiap fasa menghasilkan luas permukaan spesifik yang semakin besar, luas permukaan spesifik terbesar yaitu pada sampel C, dengan laju penambahan doping 0,2 ml/1 jam yaitu sebesar 99,7 m²/g.

Ucapan Terima kasih

Terimakasih kepada Kepala Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung, Kepala Laboratorium Kimia Anorganik FMIPA Universitas Lampung, Kepala Laboratorium IPB Bogor dan Kepala Laboratorium Kimia UNP Padang, yang telah memfasilitasi laboratorium dalam kepentingan penelitian.

5. Daftar Pustaka

- Abdou, A. A. (2003). Measurement of Acoustical Characteristics of Mosques in Saudi Arabia. *Acoustical Society of America*, 113(March), 1505–1517. <https://doi.org/10.1121/1.1531982>
- Afrozi, A. S. (n.d.). *Sintesis dan karakterisasi katalis nanokomposit berbasis titania untuk produksi hidrogen dari gliserol dan air*. 4–5.
- Ceria, K., Putri, S., Pascasarjana, P., Fisika, M., Matematika, F., Ilmu, D. A. N., Alam, P., Lampung, U., & Lampung, B. (2017). *Karakterisasi Dan Uji Absorbansi Nanotitania Dengan Doping Fosfor (P) Terhadap Fenol Karakterisasi Dan Uji Absorbansi Nanotitania Dengan Doping Fosfor (P) Terhadap Fenol*.
- Guan, Z., Zhang, X., Ma, Y., Cao, Y., & Yao, J. (2001). *Photocatalytic activity of TiO₂ prepared at low temperature by a photo-assisted sol-gel method*. 907–909.
- Hanaor, D. A. H., & Sorrell, C. C. (2011). *Review of the Anatase to Rutile Phase Transformation Review of the anatase to rutile phase transformation*. November 2018. <https://doi.org/10.1007/s10853-010-5113-0>
- Hosokawa, M., Nishino, K., & T Yokoyama. (2007). *Chemistry : Recent Pushing small molecules around Although scanning probe microscopy is primarily an imaging*. 2(4), 2007.
- HsiehChing-shieh, Zhu, H., Wei, T., & Chung, Z. (2008). *Applying the experimental statistical method to deal the preparatory conditions of nanometric-sized TiO₂ powders from a two-emulsion process*. 28, 2007–2009. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2007.10.002>
- Lu, C., Wu, W., & Kale, R. B. (2008). *Microemulsion-mediated hydrothermal synthesis of photocatalytic TiO₂ powders*. 154, 649–654. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.074>
- Parida, K. M., & Naik, B. (2009). Journal of Colloid and Interface Science Synthesis of mesoporous TiO₂ - x N x spheres by template free homogeneous co-precipitation method and their photo-catalytic activity under visible light illumination. *Journal of Colloid and Interface Science*, 333(1), 269–276. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.02.017>
- Prasetyowati, R. (2012). *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 2 Juni 2012*. 1–6.
- Reyes, C. D., Rodriguez, G. G., Espinosa, M. E. P., Cab, C., Coss, R. D., & Oskam, G. (2008). *Phase-pure TiO₂ nanoparticles : anatase , brookite and rutile*. January 2015. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/14/145605>
- Saxton, J. (2007). *Nanotechnology : The Future is Coming Sooner Than You Think*.
- Sembiring, S., Riyanto, A., Situmeang, R., & Sembiring, Z. (2019). *BITUMINOUS COMPOSITE COMPRISING AMORPHOUS SILICA*. 63(3), 277–286. <https://doi.org/10.13168/cs.2019.0021>
- Willems, & D, W. V. (2005). *Roadmap Report on Nanoparticles*. November, 1–57.
- Zhang, X., He, J. ., Huang, G., Zhou, C., Feng, M. ., & Li, Y. (2019). *Preparation and Characteristics of Ethylene*. <https://doi.org/10.3390/ma12050757>