SINTESIS DAN KARAKTERISASI TiO_2/Ti TERDOPING Fe(III) MENGGUNAKAN METODE ANODISASI *IN-SITU*

Reni Fauriani[1*], Anthoni B. Aritonang[1], Harlia[1]
[1]Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura,
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak
*e-mail: toniarios08@gmail.com

ABSTRAK

Doping menggunakan ion logam pada struktur kisi titanium dioksida (TiO_2) dapat dilakukan sebagai salah satu upaya untuk memperkecil energi celah pita dan menggeser daerah serapan sinar (dari daerah sinar UV ke daerah sinar tampak). Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan fotokatalis TiO_2/Ti terdoping Fe(III) dan mengetahui karakteristik yang dihasilkan. Pada penelitian ini, fotokatalis TiO_2/Ti terdoping Fe(III) telah disintesis menggunakan metode anodisasi in-situ dengan potensial sebesar 40 V, diikuti dengan proses kalsinasi pada suhu 450^{0}C selama 3 jam. Hasil karakterisasi FTIR memberikan serapan pada bilangan gelombang 3399,68 cm^{-1} (vibrasi ulur gugus fungsi –OH); 685,72 dan 453,29 cm^{-1} (vibrasi ulur gugus fungsi Ti-O-Ti atau Ti-O), difraktogram XRD menunjukkan struktur berupa fasa anatase dan ukuran kristalit sebesar 124,58 nm dengan jarak antar kisinya sebesar 0,10 nm, sedangkan UV-Vis/DRS menunjukkan pergeseran serapan pada panjang gelombang 426 nm dengan energi celah pita sebesar 2,91 eV.

Kata Kunci : *anodisasi in-situ, karakterisasi, TiO_2/Ti terdoping Fe(III)*

PENDAHULUAN

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu semikonduktor oksida yang banyak diaplikasikan sebagai fotokatalis. Material semikonduktor ini banyak diaplikasikan karena mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya memiliki kestabilan termal dan kimia yang tinggi, kemampuan menyerap cahaya, bersifat *inert* baik secara biologi maupun kimia, non toksik, stabil terhadap korosi oleh bahan kimia, dan harganya relatif murah. Titanium dioksida ini terbagi dalam 3 bentuk kristal polimorfik yaitu *rutile*, *anatase*, dan *brookite* (Burda, *et al*., 2003; Karim, *et al*., 2016).

Struktur kristal TiO_2 yang umum digunakan secara komersial ialah *anatase* yang memiliki energi celah pita (*band gap*) sebesar 3,3-3,2 eV (Linsebigler, *et al*., 1995; Juha dan Nikkanen, 2016). Besarnya energi celah pita tersebut menyebabkan fotokatalis ini memiliki keterbatasan dalam aplikasinya dan hanya aktif menyerap energi sinar *Ultra Violet* (UV). Oleh karena itu, aktivitas fotokatalis TiO_2 *anatase* ini perlu ditingkatkan dengan cara memperkecil energi celah pitanya atau menggeser daerah serapan sinarnya yaitu dari sinar UV ke daerah sinar tampak (rentang panjang gelombang sebesar 400-700 nm) (Burda, *et al*., 2003; Karim, *et al*., 2016; Kesumaningrum, *et al*., 2011).

Fenomena reaksi fotokatalisis TiO_2 dapat terjadi ketika permukaan fotokatalis tersebut di iluminasi dengan sinar yang berenergi sama atau lebih besar dari energi celah pitanya, maka akan terjadi proses eksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi membentuk *photoelectron* (e^-) dan meninggalkan *photohole* (h^+) pada pita valensi. Muatan (e^-) tersebut akan menginisiasi reaksi reduksi molekul O_2 membentuk radikal peroksida ($\cdot O^{2-}$), sedangkan muatan (h^+) mengoksidasi molekul H_2O atau anion OH^- membentuk radikal hidroksil ($\cdot OH$).

Upaya untuk memperkecil energi celah pita dan menggeser daerah serapan sinar (dari daerah sinar UV ke daerah sinar tampak) semikonduktor TiO_2, dapat dilakukan dengan cara doping menggunakan ion logam maupun non logam pada struktur kisi TiO_2. Doping merupakan penambahan dopan pada suatu material dengan tujuan untuk memodifikasi karakteristik elektroniknya (Mustofa, *et al*., 2015). Menurut Zaleska (2008) dopan ion logam mempunyai tingkat Fermi yang lebih rendah dibandingkan TiO_2. Muatan (e^-) yang tereksitasi dapat

ditransfer dari pita konduksi ke partikel logam yang menyisip pada permukaan TiO_2, sementara muatan (h^+) di pita valensi tetap bertahan pada TiO_2 yang pada akhirnya dapat meningkatkan aktivitas fotokatalisis suatu material (Burda, *et al*., 2003; Karim, *et al*., 2016; Kesumaningrum, *et al*., 2011).

Salah satu dopan ion logam transisi yang berpotensi untuk menggeser daerah serapan sinar fotokatalis TiO_2 *anatase* ke daerah panjang gelombang yang lebih panjang adalah kation besi(III) atau Fe^{3+}. Kation Fe(III) diketahui memiliki jari-jari ionik yang lebih kecil dibandingkan kation Ti(IV) (kation Fe(III) sebesar 0,55 Å dan kation Ti(IV) sebesar 0,61 Å), sehingga kation ini diharapkan mampu menggantikan beberapa kation Ti(IV) pada struktur kisi TiO_2 (Atkins, *et al*., 2010). Ghorbanpour dan Feizi (2019) melaporkan bahwa TiO_2 terdoping Fe(III) menunjukkan serapan terpanjang sebesar 424,35 nm dengan energi celah pita sebesar 2,92 eV.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis TiO_2/Ti terdoping Fe(III) berupa lapisan oksida pada permukaan plat Ti menggunakan metode anodisasi (oksidasi anodisasi) *in-situ*, karena memiliki beberapa kelebihan diantaranya bersifat satu dimensi, perlakuan sintesis relatif mudah, alat yang digunakan relatif sederhana, waktu yang digunakan relatif singkat, dan menghasilkan morfologi berupa *nanotube* (Aritonang, *et al*., 2018; Rahman, *et al*., 2016). Dopan yang akan digunakan dalam penelitian ini berupa kation Fe(III) dari $Fe(NO_3)_3.9H_2O$. Film Fe-TiO_2/Ti hasil sintesis, kemudian dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Ultra Violet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis/DRS), dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi botol semprot, cawan porselen, DC *power supply* (KXN-6010D), gelas *beaker*, gunting, *hotplate stirrer*, neraca analitik, pengaduk magnet, pinset, pipet ukur, *stopwatch*, spatula, sonikator (Branson 3510 DTH *ultrasonic cleaner*), tanur, spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) SHIMADZU IR Prestige-21, *Ultra Violet-Visible Diffuse Reflectance Spectrophotometry* (UV-Vis/DRS) Agilent Cary 60, dan *X-Ray Diffraction* (XRD) SHIMADZU 7000. Bahan-bahan yang digunakan adalah akuades (H_2O), ammonium fluorida (NH_4F) p.a, aseton (C_3H_6O) p.a, besi(III) nitrat [$Fe(NO_3)_3.9H_2O$] p.a, etanol (C_2H_5OH) p.a, etilen glikol ($C_2H_6O_2$) p.a, kertas abrasif (220, 500, 800, dan 2000), *stainless steel* (504), dan plat Ti (Beijing *steel*, ketebalan 0,2 µm).

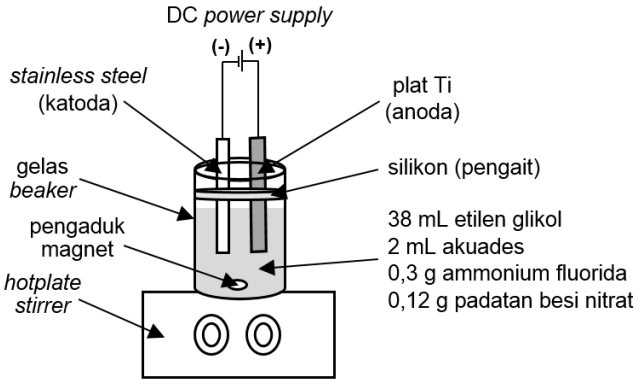
Prosedur Kerja

Preparasi plat titanium (Ti)

Preparasi plat Ti mengacu pada penelitian Aritonang, *et al*. (2018) yang telah dimodifikasi. Plat Ti dipotong dengan ukuran 4,5x1,5 cm dan dilakukan proses pengamplasan menggunakan kertas abrasif hingga permukaannya bersih dan mengkilap. Setelah proses pengamplasan, plat Ti dicuci dengan air dan deterjen. Selanjutnya, plat Ti dibersihkan lagi dengan proses ultrasonikasi berturut-turut dalam 10 mL larutan yang terdiri dari aseton, etanol, dan akuades masing-masing selama 10 menit, lalu dikering-anginkan pada suhu ruang.

Sintesis TiO_2/Ti terdoping Fe(III) dengan metode anodisasi *in-situ*

Sintesis TiO_2/Ti terdoping Fe(III) mengacu pada penelitian Aritonang, *et al*. (2018) yang telah dimodifikasi. Plat Ti hasil preparasi dan *stainless steel* dimasukkan ke dalam gelas *beaker* yang telah di isi dengan 40 mL larutan elektrolit berupa etilen glikol 95% dan akuades 5% (v/v), lalu kedalam larutan ditambahkan 0,3 g ammonium fluorida dan 0,12 g padatan besi nitrat. Proses anodisasi dilakukan dengan menempatkan plat Ti sebagai anoda dan *stainless steel* sebagai katoda dengan menggunakan pengaduk magnet dan potensial sebesar 40 V, lalu dihubungkan dengan DC *power supply*. Proses anodisasi ini dilakukan selama 1 jam, lalu dicuci dengan akuades dan dilakukan proses kalsinasi pada suhu 450°C selama 3 jam.



Gambar 1. Skema reaktor anodisasi *in-situ* untuk sintesis TiO_2/Ti terdoping Fe(III)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis TiO_2/Ti terdoping Fe(III) pada penelitian ini menggunakan metode anodisasi *in-situ* yaitu reaksi oksidasi secara elektrokimia yang terjadi antara permukaan elektroda dan dopan logam yang ditempatkan dalam larutan elektrolit sehingga bereaksi secara simultan ketika diberi energi listrik (potensial) (Brunette, *et al*., 2001). Sintesis TiO_2/Ti terdoping Fe(III) ini menggunakan plat titanium (Ti) yang berfungsi sebagai prekursor serta matriks pendukung.

Plat Ti yang telah dipotong dengan ukuran 4,5x1,5 cm, kemudian dilakukan proses pengamplasan menggunakan kertas abrasif untuk memperhalus permukaannya hingga terlihat bersih dan mengkilap. Proses pengamplasan dilakukan secara bertahap dengan menggunakan 4 ukuran kertas abrasif yang berbeda yaitu dari yang paling kasar ke yang paling halus (220, 500, 800 dan 2000), lalu dicuci dengan air dan deterjen untuk membersihkan kotoran yang menempel. Tahap selanjutnya ialah proses ultrasonikasi dengan merendam plat Ti kedalam larutan aseton, etanol, dan akuades secara bertahap (masing-masing selama 10 menit). Proses ultrasonikasi ini bertujuan untuk membersihkan lagi kotoran yang menempel pada permukaan Ti hingga ke pori-pori dengan bantuan gelombang ultrasonik dalam media cair, sehingga permukaan plat Ti secara visual terlihat mengkilap dan halus yang mengindikasikan permukaannya telah homogen. Permukaan plat yang homogen ini akan mempengaruhi terbentuknya lapisan oksida TiO_2 yang terbentuk saat proses anodisasi berlangsung.

Proses sintesis TiO_2/Ti terdoping Fe(III) dengan metode anodisasi *in-situ* ini, diawali dengan menyiapkan plat Ti (hasil preparasi) dan *stainless steel*, lalu keduanya ditempatkan pada silikon dan dimasukkan ke dalam gelas *beaker* yang telah di isi dengan larutan elektrolit berupa etilen glikol 95% dan akuades 5% (v/v) dan ditambahkan padatan ammonium fluorida serta padatan besi nitrat. Penggunaan larutan elektrolit berupa etilen glikol dipilih pada penelitian ini karena memilki viskositas yang tidak terlalu tinggi (sebesar 1,61 x 10^{-2} Ns/m), dimana larutan ini berfungsi sebagai media untuk mengontrol laju difusi ion-ion saat proses anodisasi berlangsung.

Proses anodisasi *in-situ* dilakukan selama 1 jam dengan menempatkan plat Ti sebagai anoda dan *stainless steel* sebagai katoda menggunakan potensial sebesar 40 V yang telah dihubungkan dengan DC *power supply*. Selama proses anodisasi berlangsung, maka akan terjadi oksidasi secara elektrokimia yaitu reaksi reduksi dan oksidasi yang ditandai dengan terbentuknya gelembung-gelembung di dalam larutan (menempel pada anoda dan katoda) maupun dipermukaan larutan. Fenomena tersebut mengindikasikan terjadinya reaksi reduksi pada katoda dan reaksi oksidasi pada anoda. Reaksi reduksi yang terjadi pada katoda ialah ion H^+ dari molekul H_2O yang tereduksi menjadi gas H_2, sedangkan ion O^{2-} berdifusi menuju anoda yang mengakibatkan Ti teroksidasi menjadi ion Ti^{4+} membentuk lapisan oksida $Ti(OH)_n$ (Yu, *et al*., 2016; Hikmawati, *et al*., 2017). Berikut adalah reaksi oksidasi secara elekrokimia yang berlangsung selama proses anodisasi *in-situ* (Arham, *et al*., 2016):

Katoda:

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^- \quad (1)$$

$$4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2 \quad (2)$$

Anoda:

$$Ti + 2H_2O \rightarrow TiO_2 + 4H^+ + 4e^- \quad (3)$$

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^- \quad (4)$$

Reaksi lainnya selama proses anodisasi:

$$Ti^{4+} + 6F^- \rightarrow [TiF_6]^{2-} \quad (5)$$

(proses pelarutan oksida pada larutan eleltrolit)

$$M^+ + OH^- \rightarrow M(OH) \quad (6)$$

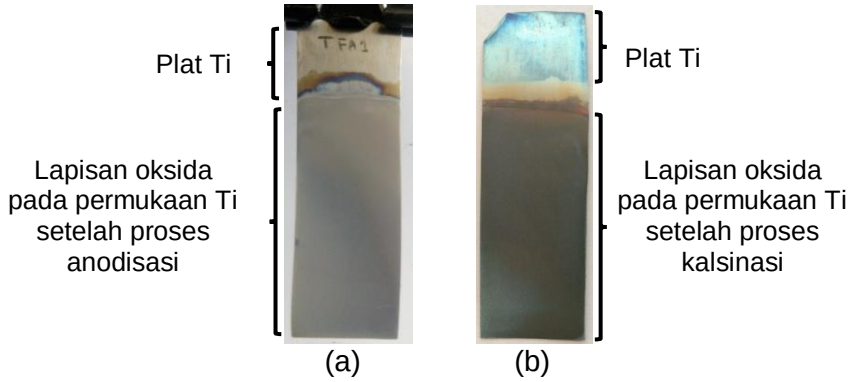
(adsorpsi kation logam pada permukaan oksida)

Proses oksidasi secara elektrokimia yang berlangsung selama satu jam akan mempengaruhi ketebalan oksida yang tumbuh pada permukaan Ti. Selain itu, anion F^- dari penambahan ammonium florida berperan untuk proses disolusi kimia atau proses pelarutan logam oksida ke dalam larutan elektrolit membentuk ion kompleks $[TiF_6]^{2-}$. Anion F^- ini akan melarutkan oksida atau merusak lapisan oksida yang terbentuk, sehingga semakin lama waktu anodisasi maka *tube* yang dihasilkan akan semakin panjang (Aritonang, *et al*., 2018; Zhang, *et al*., 2014).

Reaksi reduksi dan oksidasi yang berlangsung selama satu jam menghasilkan lapisan oksida pada permukaan plat Ti berupa $Ti(OH)_n$. Selama proses anodisasi yang berlangsung secara simultan, dopan Fe(III) akan teradsorpsi kepermukaan oksida sehingga terbentuklah Fe-$Ti(OH)_n$ dalam bentuk amorf, yang kemudian dicuci dengan akuades untuk membersihkannya dari sisa-sisa larutan elektrolit sebelum dilakukan proses kalsinasi. Fe-$Ti(OH)_n$ amorf yang dihasilkan secara visual berwarna abu-abu muda dengan permukaannya yang homogen (Gambar 2a).

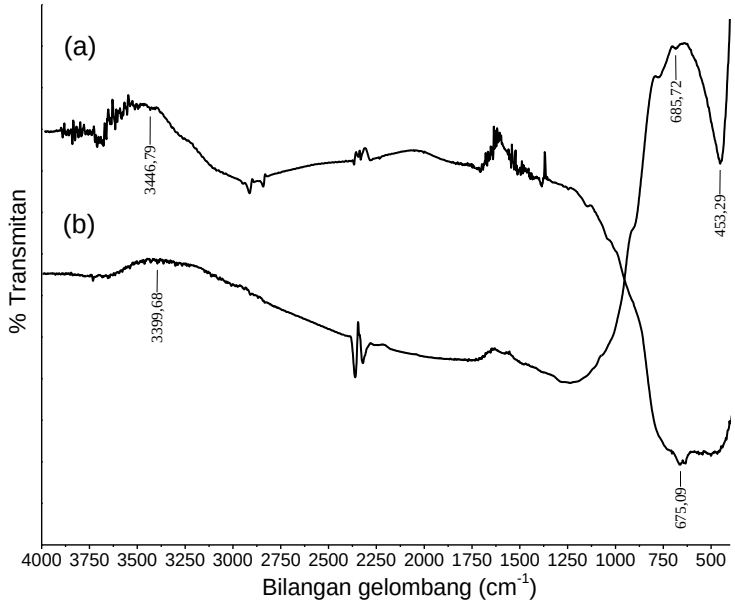
Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan Ti memiliki panjang 1,5x2,8 cm. Fe-$Ti(OH)_n$ amorf selanjutnya dilakukan proses kalsinasi yang bertujuan untuk memperoleh kristal *anatase* serta menguapkan sisa-sisa pelarut yang teradsorpsi pada permukaan lapisan oksida. Aritonang, *et al*. (2018) melaporkan bahwa penggunaan suhu kalsinasi sebesar 450^0C dilakukan untuk mendapatkan struktur kristal dengan fasa *anatase*. Selama proses kalsinasi berlangsung, maka akan terjadi beberapa tahapan untuk mengubah Fe-$Ti(OH)_n$ dalam bentuk amorf menjadi kristal. Tahap yang pertama ialah proses destruksi (pemutusan ikatan) dari Fe-$Ti(OH)_n$ yang terjadi ketika suhu mulai dinaikkan dari 30^0 ke 450^0C. Tahap kedua ialah ketika suhu tanur telah mencapai 450^0C (kalsinasi dilakukan selama 3 jam) maka akan terjadi *vacant* oksigen (Vo), difusi dari ion-ion (Ti^{4+}; O^{2-}; Fe^{3+}), serta pelepasan gas H_2 dan NH_3 yang teradsorpsi pada permukaan lapisan oksida saat proses sintesis. Tahap terakhir ialah proses kondensasi (penyusunan ulang struktur) ketika penurunan suhu dari 450^0 ke 30^0C. Saat proses kondensasi ini, maka akan terjadi kompetisi antara kation Ti(IV) dan kation Fe(III) untuk berikatan dengan atom O, serta terjadi pertumbuhan kristal secara simultan membentuk Fe-doped TiO_2/Ti (Aritonang, *et al*., 2018).

Proses kondensasi yang terjadi ketika penurunan suhu ini, dapat terjadi dua kemungkinan yaitu terjadi interstisi (penyisipan) atau substitusi (berikatan) kation Fe(III) pada struktur kisi TiO_2 (Aritonang, *et al*., 2018). Ketika proses kondensasi berlangsung, dopan Fe(III) ini diharapkan tersubsitusi pada kisi TiO_2 sehingga terbentuklah kristal Fe-doped TiO_2/Ti. Dopan Fe^{3+} yang tersubsitusi pada kisi TiO_2 ini akan memperkecil nilai energi celah pita, sehingga meningkatkan kemampuan absorpsi energi sinar hingga pada daerah panjang gelombang sinar tampak serta meningkatkan aktivitas fotokatalisisnya. Film Fe-TiO_2/Ti hasil kalsinasi secara visual terlihat mengalami perubahan warna dari bentuk amorfnya, yaitu dari berwarna abu-abu muda menjadi abu-abu gelap (Gambar 2b).



Gambar 2. Fe-Ti$(OH)_n$ amorf (a) dan Fe-TiO_2/Ti (b)

Karakterisasi FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi, ikatan logam-oksida, serta intensitas serapan yang terjadi secara kualitatif. Puncak serapan yang dihasilkan pada rentang bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} menunjukkan karakteristik jenis gugus fungsi, sehingga dapat diprediksi jenis ikatan yang terbentuk akibat penambahan dopan Fe(III). Spektra IR yang dihasilkan (Gambar 3) memberikan informasi bahwa terjadinya pergeseran puncak serapan spesifik jika dibandingkan dengan TiO_2 Degussa P25. Puncak-puncak serapan tersebut terbentuk pada bilangan gelombang 3399,68 cm^{-1} yang mengindikasikan vibrasi ulur gugus fungsi –OH, sedangkan pada bilangan gelombang 685,72 dan 453,29 cm^{-1} yang mengindikasikan vibrasi ulur Ti-O-Ti atau Ti-O. Menurut Marami, *et al*. (2018) puncak transmisi yang kuat terjadi pada rentang bilangan gelombang 850-500 cm^{-1} yang disebabkan adanya pengaruh oksigen di udara yang teradsorpsi pada permukaan TiO_2 selama proses sintesis berlangsung. Hasil dari interpretasi IR tersebut mengindikasikan bahwa telah terbentuk TiO_2 pada permukaan Ti dan terjadinya subsitusi dopan Fe(III). Selain itu, penambahan dopan Fe(III) ini juga menyebabkan elektron pada tingkat $3d^64s^2$ yang jumlahnya lebih sedikit dapat menyerap foton sehingga terjadi peningkatan transmisi yang ditandai dengan terjadinya pergeseran puncak serapan spesifik (Marami, *et al*., 2018).



Gambar 3. Perbandingan spektra IR TiO_2 Degussa P25 (a) dan Fe-TiO_2/Ti (b)

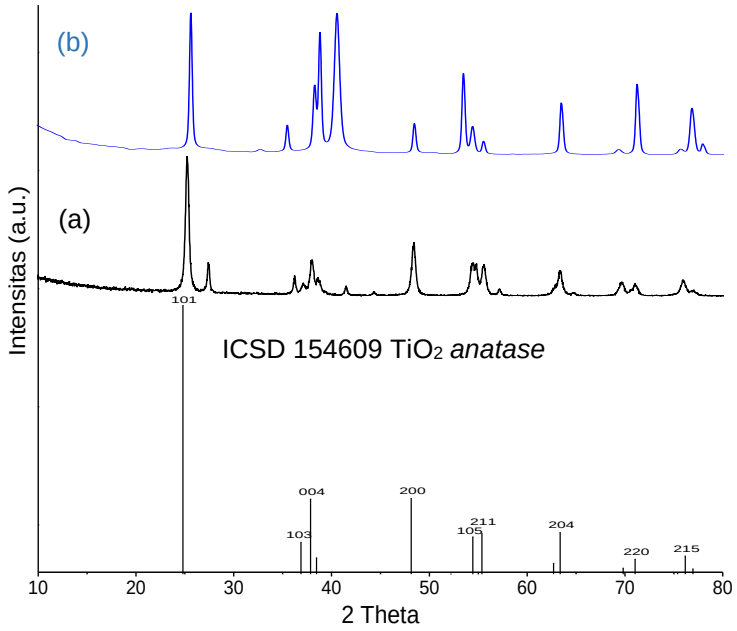
Karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui struktur dan ukuran kristalit menggunakan difraktometer dengan logam Cu-Kα (λ = 0,15406 nm) pada rentang 10^0-80^0 (2θ). Difraktogram sampel yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan TiO_2 Degussa P25 dan ICSD (*Inorganics Crystal Structure Database*) 154609 TiO_2 *anatase* dengan puncak difraksi 2θ

sebesar 25,43^0; 37,24^0; 38,18^0; 48,24^0; 54,40^0; 55,31^0; 63,13^0; 70,61^0; 75,63^0 (difraksi 101; 103; 004; 200; 105; 211; 204; 220; dan 215). Pola difraksi yang dihasilkan (Gambar 4) memperlihatkan bahwa pola difraksi Fe-TiO_2/Ti dan TiO_2 Degussa P25 identik dengan karakter pola difraksi ICSD 154609 TiO_2 *anatase*. Pola difraksi tersebut mengindikasikan bahwa Fe-TiO_2/Ti memiliki struktur dengan fasa *anatase*. Selain itu, difraktogram TiO_2 terdoping Fe(III) juga memperlihatkan terjadinya peningkatan intensitas dan pergeseran puncak *anatase* (difraksi 101; 103; 004; 200; 220) yaitu pada puncak difraksi 2θ sebesar 25,64^0, 38,74^0; 40,47^0; 53,31^0; dan 70,96^0.

Menurut Wen, *et al*. (2012) pergeseran puncak difraksi 2θ terjadi karena pengaruh konsentrasi dopan Fe(III) yang digunakan. Ketika konsentrasi Fe(III) meningkat maka jarak bidang (difraksi 101; 103; 004; 200; 220) menjadi lebih besar karena semakin banyak kation Fe(III) yang terdoping pada TiO_2 dan sebaliknya. Hal ini dikarenakan jari-jari kation Fe(III) lebih kecil daripada kation Ti(IV) sehingga pelebaran jarak bidang tersebut mengindikasikan bahwa beberapa kation Fe(III) mungkin tersubstitusi pada kisi TiO_2. Puncak-puncak difraksi dengan intensitas tertinggi kemudian diolah datanya untuk mengetahui ukuran kristalit (persamaan Debye- Scherrer) dan jarak antar kisi (Hukum Bragg's) sampel. Hasil perhitungan (Tabel 1) menunjukkan bahwa ukuran kristalit dari TiO_2 terdoping Fe(III) lebih besar, sedangkan jarak antar kisinya lebih kecil jika dibandingkan dengan TiO_2 Degussa P25.

Tabel 4.2 Perbandingan ukuran kristalit dan jarak antar kisi dari fotokatalis TiO_2 Degussa P25 dan Fe-TiO_2/Ti

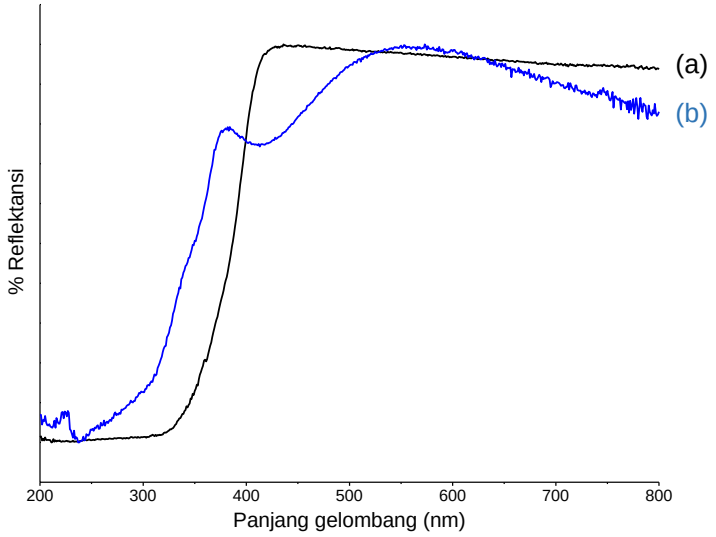
Fotokatalis	Ukuran kristalit (nm)	Jarak antar kisi (nm)
TiO_2 Degussa P25	7,51	0,39
Fe-TiO_2/Ti	124,58	0,10



Gambar 4. Perbandingan difraktogram XRD TiO_2 Degussa P25 (a) dan Fe-TiO_2/Ti (b)

Karakterisasi UV-Vis/DRS bertujuan untuk mengetahui karakter serapan (spektra DR) pada rentang panjang gelombang 200-800 nm, sehingga diketahui energi celah pita (Eg) dan pergeseran serapan yang dihasilkan. Besar kecilnya Eg yang dihasilkan akan mempengaruhi kinerja dari material fotokatalis, dan juga mempengaruhi proses eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Spektra DR (%reflektansi vs panjang gelombang) yang dihasilkan (Gambar 5) memperlihatkan bahwa terjadi perubahan intensitas refleksi antara TiO_2 terdoping Fe(III) dengan TiO_2 Degussa P25. Perubahan nilai reflektansi tersebut, teramati pada daerah

sinar UV dan sinar tampak dari rentang 350-550 nm yang mengindikasikan efektifitas doping Fe(III) dalam meningkatkan absorpsi sinar ke daerah panjang gelombang yang lebih panjang (pergeseran merah) dibandingkan dengan kontrol. Pergeseran merah ini terjadi karena adanya induksi oleh transisi elektron dari orbital 3d Fe ke pita konduksi TiO_2 dan dari orbital 2p O ke pita valensi TiO_2 menyebabkan penurunan energi celah pita yang cukup besar. Selain itu, penambahan dopan Fe(III) juga menyebabkan cacat struktural pada kisi kristal yang dilihat dari ketidakmurnian atau cacat pada tingkat energi tertentu dan menginduksi dari keadaan dasar ke pita konduksi sehingga menghasilkan pergeseran merah dan memperkecil celah pita (Ghorbanpour dan Feizi, 2019; Solano, *et al*., 2019).

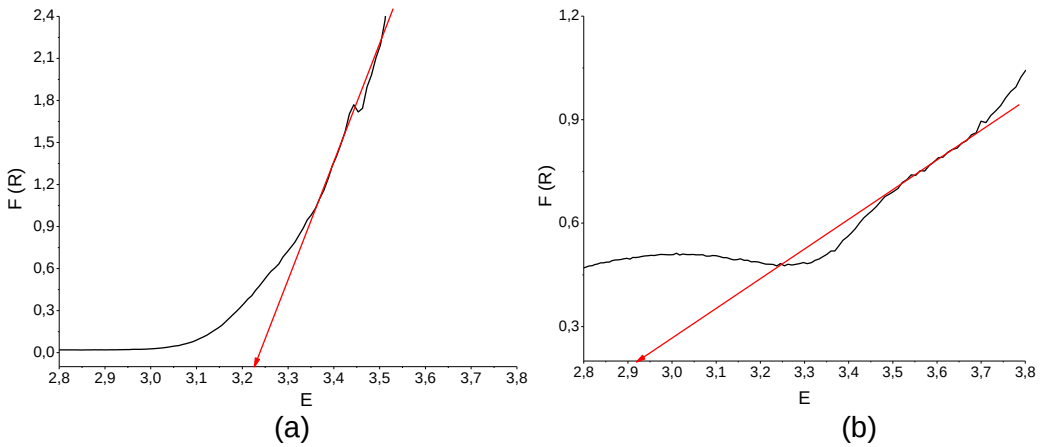


Gambar 5. Perbandingan spektra DR TiO_2 Degussa P25 (a) dan Fe-TiO_2/Ti (b)

Spektra DR yang dihasilkan, kemudian diolah datanya untuk menghitung nilai Eg dan serapan sinar menggunakan persamaan Kubelka-Munk dengan memplotkan F(R) vs E. Hasil perhitungan Eg (Gambar 6 dan Tabel 2) menunjukkan bahwa terjadinya penurunan energi celah pita dari TiO_2 Degussa P25 dengan TiO_2 terdoping Fe(III) yaitu dari Eg sebesar 3,22 eV menjadi 2,91 eV.

Tabel 2. Perbandingan energi celah pita dan serapan panjang gelombang

Fotokatalis	Energi celah pita (eV)	λ (nm)
TiO_2 Degussa P25	3,22	385
Fe-TiO_2/Ti	2,91	426



Gambar 6. Perbandingan energi celah pita TiO_2 Degussa P25 (a) dan Fe-TiO_2/Ti (b)

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa sintesis fotokatalis TiO_2/Ti terdoping Fe(III) dengan metode anodisasi *in-situ* menghasilkan lapisan oksida pada permukaan plat Ti dengan ukuran 1,5x2,8 cm dan berwarna abu-abu gelap. Adapun karakteristik yang dihasilkan yaitu hasil karakterisasi FTIR memberikan serapan pada bilangan gelombang 3399,68 cm^{-1} yang mengindikasikan vibrasi ulur gugus fungsi –OH, serta serapan pada bilangan gelombang 685,72 dan 453,29 cm^{-1} yang mengindikasikan vibrasi ulur gugus fungsi Ti-O-Ti atau Ti-O; difraktogram XRD menunjukkan struktur berupa fasa *anatase*, ukuran kristalit sebesar 124,58 nm dan jarak antar kisinya sebesar 0,10 nm; sedangkan hasil karakterisasi UV-Vis/DRS menunjukkan pergeseran serapan pada panjang gelombang sebesar 426 nm dengan energi celah pita sebesar 2,91 eV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Teima kasih kepada Dirjen Belmawa dan Untan melalui *Community Development & Outreaching* sebagai penyandang dana dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aritonang, A., Krisnandi, Y., Gunlazuardi, J., 2018, Modification of TiO_2 Nanotube Arrays with N Doping and Ag Decorating for Enhanced Visible Light Photoelectrocatalytic Degradation of Methylene Blue, *International Journal on Advanced Science Engineering Information* Technology, 8, 1:234-241.

Arham, Z., Nurdin, M., Buchari, B., 2016, Photoelectrocatalysis Performance of La_2O_3Doped TiO_2/Ti Electrode in Degradation of Rhodamine B Organic Compound, *International Journal of ChemTech Research*, 9, 11:113-120.

Atkins, P.W., Overton, T.L., Rourke, J.P., Weller, M.T., Armstrong, F.A., 2010, *Inorganic Chemistry*, Fifth Edition, Oxford University Press, United States and Canada.

Brunette, D.M., Tengvall, P., Textor, M., Thomsen, P., 2001, *Titanium in Medicine: Material Science, Surface Science, Engineering, Biological Responses, and Medical Applications*, Springer-Verlag, Berlin.

Burda, C., Lou, Y., Chen, X., Samia, A., Stout, J., Gole, J., 2003, Enhanced Nitrogen Doping in TiO_2 Nanoparticles, *Nano Letters*, 3, 8:1049-1051.

Ghorbanpour, M., Feizi, A., 2019, Iron-Doped TiO_2 Catalyst with Photocatalytic Activity, *Journal of Water and Environmental Nanotechnology*, 4, 1:60-66.

Hikmawati, Watoni, A.H., Wibowo, D., Maulidiyah, Nurdin, M., 2017, Synthesis of Nano-Ilmenite ($FeTiO_3$) Doped TiO_2/Ti Electrode for Photoelectrocatalytic System, *IOP Conference Series: Materials Sciences and Engineering*, 267, 1-8.

Juha, Nikkanen, P., 2016, *Syntesis of TiO2 by Various Methods: Structural Characteristics, Photocatalytic Activity and Usability of Powders and Coatings*, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tampere University of Technology.

Karim, S., Pardoyo, Subagiyo, A., 2016, Sintesis dan Karakterisasi TiO_2 Terdoping Nitrogen (N-Doped TiO_2) dengan Metode Sol-Gel, *Journal of Scientific and Applied Chemistry*, 19, 63-67.

Kesumaningrum, J., Prasetya, N., Suseno, A., 2011, Adsorpsi Fenol dengan TiO_2/Zeolit Artificial Berbahan Dasar Sekam Padi dan Limbah Kertas, *Journal of Scientific and Applied Chemistry*, 14, 26-31.

Linsebigler, A.L., Lu, G., Jr, J.T., 1995, Photocatalysis on TiO2 Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results. *Chemical Reviews,* 95, 3:735-758.

Marami, M.B., Farahmandjou, M., Khoshnevisan, B., 2018, Sol-Gel Synthesis of Fe-Doped TiO_2 Nanocrystals, *Journal of Electronic Materials*, 1-8.

Mustofa, K., Aini, N., Ningsih, R., 2015, Syinthesis and Characterization Titanium Dioxide (TiO_2) Doped Vanadium (V) Using Solid State Method, *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 4, 44-49.

Rahman, M.A., Hossain, M.A., Das, B., 2016, Synthesis of TiO_2 Nanotube by Electrochemical Anodization of Ti Foil in Room Temperature, *Mechanical Enggineering Research Journal*, 10, 90-93.

Solano, R.A., Herrera, A.P., Maestre, D., Cremades, A., 2019, Fe-TiO_2 Nanoparticles Synthesized by Green Chemistry for Potential Application in Waste Water Photocatalytic Treatment, *Journal of Nanotecnology*, 1-11.

Wen, L., Liu, B., Zhao, X., Nakata, K., Murakami, T., Fujishima, A., 2012, Synthesis, Characterization, and Photocatalysis of Fe-Doped TiO_2: A Combined Experimental and Theoretical Study, *International Journal of Photoenergy*, 1-11.

Yu, J., Wu, Z., Gong, C., Xiao, W., Sun, L., Lin, C., 2016, Fe^{3+}-Doped TiO_2 Nanotube Arrays on Ti-Fe Alloys Enhanced Photoelectrocatalytic Activity, *Nanomaterials*, 6, 2-12.

Zaleska, A., 2008, Doped-TiO_2: A Review. *Recent Patents on Engineering*, 2:157-164.

Zhang, Q., Ma, L., Shao, M., Huang, J., Ding, M., Deng, X., Xu, X., 2014, Review Article: Anodic Oxidation Synthesis of One-Dimensional TiO_2 Nanostructures for Photocatalytic and Field Emission Properties, *Journal of Nanomaterials*, 1-14.