



SINTESIS DAN KARAKTERISASI N DOPED TiO₂ (N/TiO₂) NANOTUBE SERTA UJI AKTIVITAS FOTOKATALISIS TERHADAP ZAT WARNA RHODAMIN B

Ida Nur Apriani¹, Jarnuzi Gunlazuardi²

¹ Politeknik STMI Jakarta, Jl Letjend Suprpto No 26, Jakarta Timur, 10510, Indonesia

² Universitas Indonesia, Jalan Margonda Raya Kampus Baru UI, Depok, 16424, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima : 2 Maret 2021
Direvisi : 17 Maret 2021
Diterbitkan : 08 April 2021

KATA KUNCI

Fotokatalisis, Karakterisasi, N doped TiO₂ *nanotube*, Sintesis, TiO₂ *nanotube*

KORESPONDENSI

E-mail Author Korespondensi:

ida_nurapriani@gmail.com

E-mail Co-Author:

jarnuzi@ui.ac.id

A B S T R A K

Telah dilakukan sintesis fotokatalis N/TiO₂ bermorfologi *nanotube* dengan metode anodisasi menggunakan ammonium nitrat (NH₄NO₃) sebagai sumber dopan pada berbagai variasi konsentrasi (0,5M, 1M, 2M), dilanjutkan dengan kalisisasi pada suhu 450°C selama 2 jam untuk mendapatkan fasa kristal anatase. Karakterisasi dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR), *X-ray Diffraction* (XRD), dan DRS (*Diffused Reflectant Spectrometry*) UV-Vis. Pengujian Linear Sweep Voltametri dan Multi Pulse Anperimetri pada fotokatalis N/TiO₂ telah berhasil diterapkan untuk degradasi senyawa Rhodamin B menggunakan sinar UV maupun sinar tampak. Aplikasi dari uji fotoelektrokatalisis menggunakan sinar tampak untuk N/TiO₂-NT memberikan hasil eliminasi sebesar 47,86%, sedangkan bila menggunakan TiO₂ *nanotube* tanpa dopan eliminasi hanya sebesar 25,49%. Hal ini menunjukkan bahwa proses doping yang dilakukan telah berhasil menyisipkan nitrogen ke dalam matrik TiO₂ *nanotube* dan memperbaiki kinerja fotokatalisis nya di daerah sinar tampak.

PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya sektor industri saat ini menyebabkan peningkatan penggunaan zat warna yang dapat mencemari lingkungan. Pembuangan limbah berwarna ke lingkungan merupakan sumber pencemaran dan dapat menimbulkan bahaya, efek toksik dan mengurangi penetrasi cahaya di perairan yang tercemar (Prado dkk, 2008). Banyak metode teknologi yang digunakan untuk mengatasi permasalahan limbah warna ini, seperti metode klorinasi, biodegradasi dan ozonisasi. Metode tersebut membutuhkan biaya operasional yang cukup mahal sehingga kurang efektif diterapkan di Indonesia.

Salah satu cara alternatif yang mulai banyak diusulkan untuk menangani masalah pencemaran zat warna ini adalah dengan menggunakan fotokatalisis. Reaksi fotokatalisis dapat diterapkan sebagai teknik dalam reparasi lingkungan

yang dapat menggunakan sinar matahari yang tak ada habisnya sebagai sumber energinya.

Ada beberapa penelitian terkait TiO₂ bermorfologi *nanotube* yang didoping maupun tidak didoping dengan berbagai metode perlakuan yaitu :

1. You Caho Tang et al (Yu Chao Tang et al., 2011) telah berhasil mensintesis TiO₂ yang didoping Nitrogen dengan TiO₂ sebagai prekursor dan beberapa senyawa sumber Nitrogen seperti NH₄F, NH₄HCO₃, NH₃.H₂O, NH₄NO₃, NH₄COOCH₃, dan CH₄N₂O₈.
2. Nicholas T. Nolan et al (Nicholas T. Nolan et al., 2012) melaporkan untuk mempelajari aktivitas fotokatalitik cahaya tampak dari titanium dioksida yang didoping nitrogen, interaksi antara sumber dopan nitrogen dan prekursor titania selama sintesis sol-gel diselidiki. N-TiO₂ disintesis menggunakan metode sol-gel menggunakan 1,3-diaminopropane sebagai sumber nitrogen. degradasi fotokatalitik metilen biru dan 4-klorofenol adalah dilakukan di

bawah iradiasi dari bola lampu rumah tangga (60W) dan masing-masing menggunakan ruang Q-sun solar chamber. N-TiO₂ disiapkan pada suhu 500°C menunjukkan jumlah aktivitas tertinggi, dengan menggunakan Degussa P25 TiO₂ yang terbilang mahal dari jenis bahan baku TiO₂.

3. Studi pembangkitan hidrogen dengan bantuan sintesis TiO₂ bermorfologi *nanotube* dengan metode anodisasi (rapid breakdown anodization) menghasilkan Aktivitas fotokatalitik tertinggi yaitu diamati pada 1,25% dan 2,5% dari muatan Pt. Sebuah transformasi fase anatase menjadi rutil diamati pada 5% Pt, dapat dianggap berasal dari penghapusan kisi yang signifikan regangan akibat pengikatan partikel platina pada permukaan TiO₂ *nanotube* (Antony Rajini P. et al., 2012).
4. Ratnawati et al (Ratnawati et al., 2015) menjelaskan TiO₂ bermorfologi *nanotube* tidak berkembang dengan baik terhadap sinar tampak dan variasi dalam teknik annealing secara signifikan mempengaruhi peningkatan sifat doping TNTAs. Sintesis TNTAs annealing dibawah atmosfer atau H₂ tidak hanya mengkonversi amorf ke fase anatase, tetapi juga membantu dalam menggabungkan karbon / nitrogen ke ke matrik TNTAs, serta
5. Aritonang et al (Aritonang et al., 2018) juga menjelaskan TiO₂ nanotube dan TiO₂ yang didoping Ag / Nitrogen menunjukkan peningkatan degradasi fotoelektrokatalitik (PEC) yang signifikan pada biru metilen (MB), sekitar 92% selama 240 menit. di bawah iradiasi cahaya tampak. Konstanta kinetika TiO₂ yang didoping Ag / N elektroda sekitar 9 kali lebih tinggi dari TiO₂ saja.

Berdasarkan pengetahuan di atas maka peneliti melakukan serangkaian percobaan untuk memodifikasi TiO₂. Salah satu teknik yang dianggap efektif yaitu teknik doping yang prinsipnya adalah menyisipkan dopan pada matriks katalis sehingga memiliki celah energi cahaya lebih kecil, yang setara dengan energi cahaya tampak.

Pada Penelitian ini, hasil dari fotokatalis TiO₂ dengan metode anodisasi yang telah terdoping nitrogen ini memiliki absorpsi yang kuat pada daerah cahaya tampak untuk degradasi dari *p-nitrophenol*, *Rhodamin B* dan *methyl orange* dengan sinar UV maupun iradiasi dengan sinar matahari.

METODE

a. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *backer glass* 20 ml, Pengaduk magnet, Kertas abrasif CC1500/CC2000, *magnetic stirrer*, sonikator, tanur, oven, kotak reactor fotokatalisis, lampu UV 12 watt, lampu Philips 120 W, dan *Power Supply* DC 60 Volt, potensiostat (Edaq model EA401). Kemudian karakterisasi dengan

Instrumen yang digunakan adalah, *Diffused Reflectance Spektrofotometer* UV-Vis (DRS-UV Vis Shimadzu 2550), *Scanning Electron Microscopy* (SEM-Phillips XL30), *X-ray Diffraction* (XRD-Philips PW 1710), *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR Prestige 21 Shimadzu). Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah plat Titanium (Ti) (Baoji Jinsheng Metal Material Co, purity 99.6%, ketebalan 0,3 mm), aquades (H₂O), aseton teknis (CH₃COCH₃), Etanol teknis 96% (C₂H₅OH), ammonium fluorida (NH₄F) (Merck), *stainless steel* (504), NH₄NO₃ (merck), KOH (merck) Etilen Glikol (merck), Platina (Pt), elektroda Ag/AgCl dan zat warna *Rhodamin B* (merck).

b. Prosedur

- **Sintesis TiO₂ Nanotube dan Doping Nitrogen ke dalam TiO₂** : TiO₂ nanotube disintesis menggunakan plat Titanium melalui metode anodisasi. Plat Ti dipotong dengan ukuran 45 x 10 mm, kemudian diamplas menggunakan kertas abrasif CC1500 sampai CC2000 Selanjutnya dilakukan sonikasi dalam aseton, etanol, dan aquades masing-masing selama 30 menit. Setelah proses *cleaning* dilakukan, plat Ti dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C. Plat Ti yang sudah bersih dan kering digunakan sebagai anoda dan *stainless steel* sebagai katoda, keduanya dirangkai pada sistem elektrokimia dengan jarak sekitar 1,5 cm dan dihubungkan dengan *power supply*. Jarak ini dipilih dengan mempertimbangkan ukuran reaktor dan morfologi TNTA yang akan diproduksi (Liu H. et al., 2010), Elektrolit yang digunakan adalah larutan 20 mL etilen glikol yang mengandung 0,3% NH₄F dan 2% H₂O, diaduk dengan bantuan *magnetic stirrer* (Aritonang et al., 2018). Proses anodisasi berlangsung selama 1 jam dengan potensial konstan 40 V dan Variasi arus terhadap waktu selama anodisasi dicatat dan diamati melalui alat *power supply*. Hasil anodisasi dibilas dengan aquades dan dikeringkan. Lapisan film TiO₂ yang terbentuk dikalsinasi pada suhu 450°C selama 2 jam dengan laju kenaikan suhu 2°C/menit. Perlakuan yang sama terhadap sintesis TiO₂ nanotube dengan penambahan larutan NH₄NO₃ variasi konsentrasi (0,5M, 1M dan 2M) sebagai sumber dopan dengan metode anodisasi serta potensial konstan sebesar 40 V selama 1 jam. Lapisan film N/TiO₂ yang terbentuk dikalsinasi pada suhu 450°C selama 2 jam dengan laju kenaikan suhu 9°C/menit.
- **Karakterisasi** : Karakterisasi dilakukan terhadap TiO₂ *nanotube* dan TiO₂ *nanotube* yang di doping nitrogen (N/TiO₂-NT). *Scanning Electron Microscopy* (SEM) digunakan untuk melihat morfologi *nanotube* Gugus fungsi yang terdapat pada TiO₂ *nanotubes* dan N/TiO₂-NT hasil sintesis ditentukan dengan menggunakan FT-IR. XRD digunakan untuk menentukan struktur kristal TiO₂ *nanotube*. *Diffused Reflectance Spektrofotometer* UV-Vis (DRS UV-Vis) digunakan untuk menentukan

besarnya energi celah pada TiO_2 nanotube. Pengukuran konsentrasi larutan *Rhodamin B* setelah degradasi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

- Pengujian Fotoelektrokimia dan Uji Aktivitas Fotokatalisis :** Untuk pengujian fotoelektrokimia dan uji aktivitas fotokatalisis dari arus listrik yang diakibatkan oleh cahaya (foton) atau disebut juga dengan *photocurrent* diukur dengan menggunakan alat potensiostat (Edaq model EA401). TiO_2 nanotube dirangkai dalam sistem elektrokimia sebagai elektroda kerja yang dihubungkan dengan kabel berwarna hijau, plat Pt yang berfungsi sebagai elektroda *counter* dihubungkan dengan kabel berwarna merah, dan Ag/AgCl yang berfungsi sebagai elektroda *reference* dihubungkan dengan kabel berwarna hitam. Ketiga elektroda tersebut dicelupkan dalam larutan elektrolit KOH 0,1 M dalam air untuk pengukuran *photocurrent* dengan metode Linear sweep voltametri (LSV) pada alat potensiostat (Edaq model EA401), tersebut dicelupkan dalam larutan elektrolit KOH 0,1 M dalam air untuk pengukuran *photocurrent* dengan metode Linear sweep voltametri (LSV) pada alat potensiostat (Edaq model EA401), untuk menentukan arus pada elektroda kerja terukur di saat potensial antara elektroda kerja dan *reference* disweep secara linear terhadap waktu (Surahman, H. 2014). Untuk menguji arus yang terjadi, dilakukan dengan disinari lampu *visible* (Philips, 120 Watt).

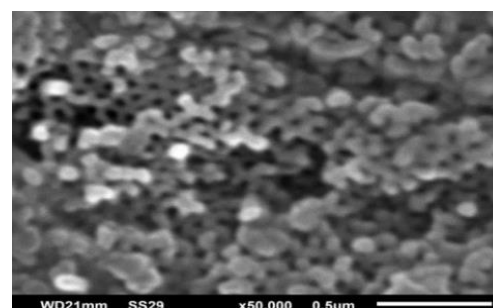
Aktivitas fotokatalitik dihasilkan dengan menggunakan iluminasi cahaya tampak, sehingga mengeliminasi pewarna *Rhodamin B* (Rh B). Sebagai perlakuan awal, permukaan spesimen diiradiasi dengan cahaya tampak intensitas tinggi (lampu philips 120 watt selama 60 menit untuk menghilangkan zat organik). Setelah itu, spesimen direndam dalam 5mg L^{-1} Rh B dengan larutan 0,1 M KOH terjadi penyerapan molekul Rh B ke permukaan. Aktivitas fotokatalitik dengan mengukur absorbansi Rh B pada 550 nm selama iradiasi setiap 10 menit, selama 60 menit menggunakan analitik spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu, Jepang).

HASIL DAN DISKUSI

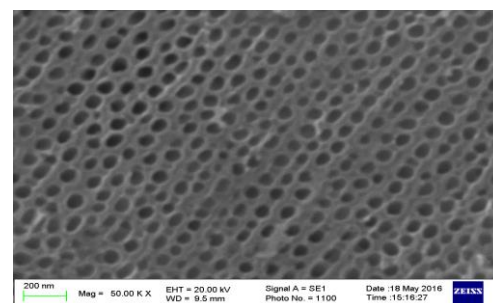
a. Analisa SEM

Gambar 1 memperlihatkan morfologi SEM (a) TiO_2 -NT dan (b) N/ TiO_2 -NT menggunakan metode anodisasi yang dihasilkan pada 40 V selama 2 jam dalam larutan elektrolit etilen glikol yang mengandung 0,3% NH_4F , kadar air 2% dan annealed dengan suhu 450°C selama 2 jam. Sedangkan untuk N / TiO_2 Gambar 1 (b) menunjukkan perlakuan yang dihasilkan sama dengan TiO_2 -NT tetapi pada peningkatan larutan elektrolit etilen glikol yang

mengandung NH_4NO_3 (0,5M, 1M, dan 2M) dan annealed dengan suhu 450°C selama 2 jam. Sedangkan untuk N / TiO_2 Gambar 1 (b) menunjukkan perlakuan yang dihasilkan sama dengan TiO_2 -NT tetapi pada peningkatan larutan elektrolit etilen glikol yang mengandung NH_4NO_3 (0,5M, 1M, dan 2M) dan annealed dengan suhu 450°C selama 2 jam.

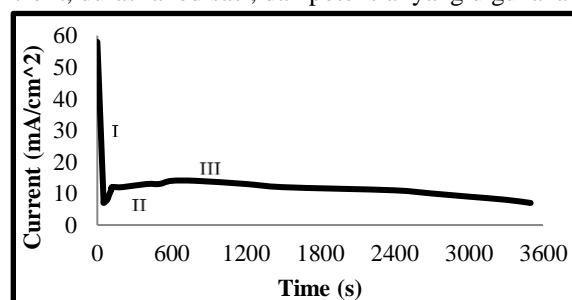


Gambar 1. Morfologi SEM (a) TiO_2 -NT



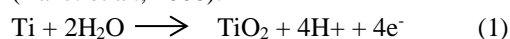
(b) N/ TiO_2 -NT

TiO_2 -NT atau N / TiO_2 -NT (1M) dengan struktur tubular baik sesuai dengan ukuran nanometer (Regonini D. et al., 2008). Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi bentuk morfologi tersebut adalah jarak antar elektroda, komposisi elektrolit, durasi anodisasi, dan potensial yang digunakan.



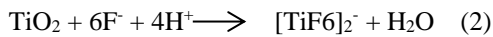
Gambar 2. Profil perubahan terhadap waktu selama proses anodisasi pada potensial 40 V dan waktu 60 menit

Bagian I, pada gambar 2 menunjukkan terjadi penurunan arus yang sangat signifikan dari 58,2 mA hingga 8,1 mA dalam waktu 30 detik. Reaksi pembentukan lapisan oksida TiO_2 secara elektrokimia dapat dituliskan sebagai berikut (Bai J. et al., 2008):



Bagian II, pada gambar 2 menunjukkan kenaikan arus yang terukur dari menit ke dua sampai menit ke-20 yang mengindikasikan terjadinya pelarutan sebagian lapisan

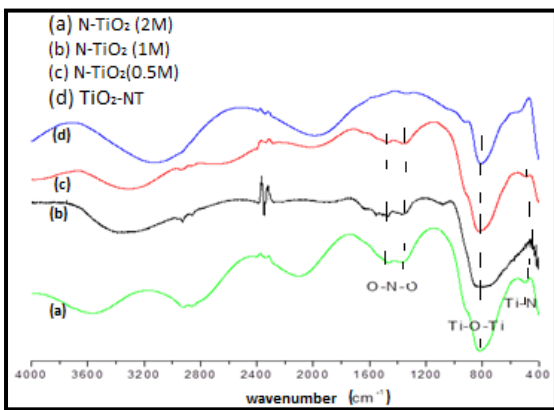
oksida sehingga membentuk pori-pori akibat ion H⁺ dan F⁻ (pelarut kimia pada lapisan *nanotube* jika logam yang terbentuk dapat larut dalam air) dengan reaksi sebagai berikut:



Bagian III, pada gambar 2 menunjukkan penurunan respon arus secara perlahan menandakan terjadinya keseimbangan antara pembentukan oksida dan disolusi oksida yang menghasilkan struktur *nanotube* telah terbentuk baik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

b. Analisa FT-IR

Pada gambar 3 mengindikasikan keberadaan gugus Ti-N pada puncak serapan 450-500 cm⁻¹ dan O-N-O ditandai adanya puncak serapan 1360cm⁻¹ (vibrasi ulur simetris) dan pada puncak serapan 1500an cm⁻¹ (vibrasi ulur asimetris) (Aritonang et al., 2018).

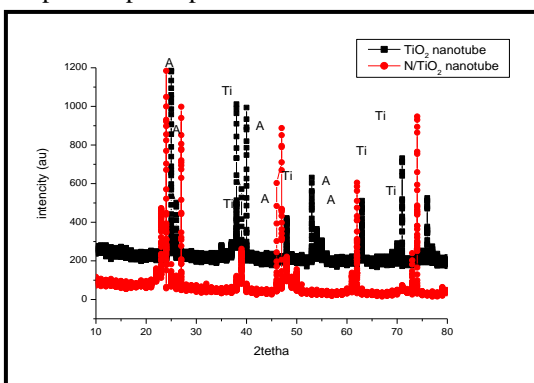


Gambar 3. Spektrum FTIR TiO₂-NT dan N/TiO₂-NT

Keberadaan gugus hidroksil pada permukaan TiO₂ merupakan hal yang banyak diamati para peneliti, baik berasal dari gugus titanil sebagai -OH terminal dari fasa kristal TiO₂ maupun dari air yang terserap pada permukaan. Sementara itu munculnya serapan yang mengindikasikan keberadaan gugus Ti-N dapat menjadi petunjuk keberhasilan penyisipan nitrogen ke dalam matrik TiO₂.

c. Analisa XRD

Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran kemudian dicocokkan dengan interpretasi data standar difraksi sinar-X (JCPDS). Pada gambar 4 merupakan hasil XRD pada tiap sampel.



Gambar 4. difraktogram TiO₂-NT dan N/TiO₂-NT

Sintesis TiO₂ *nanotube* diiradiasi dengan sumber cahaya Cu Kα (1,5406 Å) dan rentang 2θ 20-80°. Pola difraksi hasil sintesis TiO₂ dan N / TiO₂ dibandingkan dengan data JCPDS No. 00-021-1272. untuk struktur anatase dan JCPDS No. 00-044-1294 untuk logam titanium. Gambar 4 menunjukkan pola difraksi TiO₂ dan N / TiO₂ setelah dikalsinasi. Ukuran kristal dihitung pada 2θ dengan intensitas tertinggi pada 25.2503 dan 25.6130 (23.8 dan 26.7 nm) untuk TiO₂ dan N / TiO₂ dari anatase kristal yang diperoleh (Ratnawati et al., 2015).

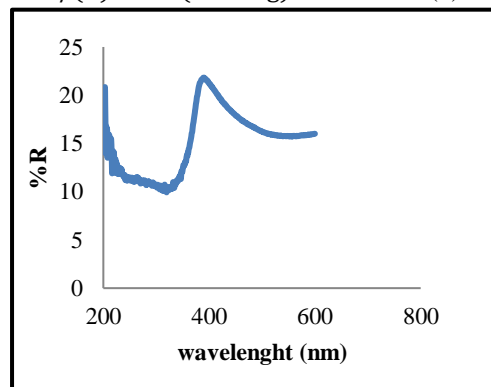
d. Analisa Spektra DRS UV-Vis

Hasil pengukuran spektra DRS UV-Vis dilihat dari nilai *band gap* pada fotokatalisis yang diperoleh, dapat ditentukan menggunakan persamaan Kubelka-Munk function F(R) and plot Tauc di bawah ini :

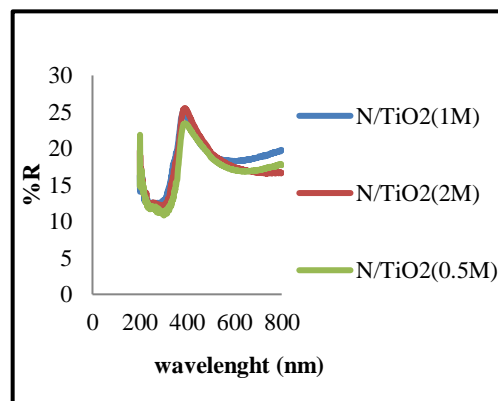
$$F / (R) = K/S = (1 - R)^2 / 2R \quad (3)$$

Nilai F mempunyai hubungan dengan energi foton melalui persamaan:

$$F / (R) = A (h\nu - E_g)^{n/2} \quad (4)$$



Gambar 5. % R (a) TiO₂-NT



(b) N/TiO₂-NT

Dengan memplotkan Semikonduktor TiO₂ terhadap F(R) dengan hv menunjukkan daerah linier tepat di atas tepi penyerapan optik (Surahman H, 2014). Ekstrapolasi bagian linier dari plot Tauc ke sumbu hv menghasilkan energi celah pita (E_g) dari fotokatalis seperti yang dapat digambarkan pada gambar 5. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 5, semua fotokatalis mengalami penurunan nilai *band gap*.

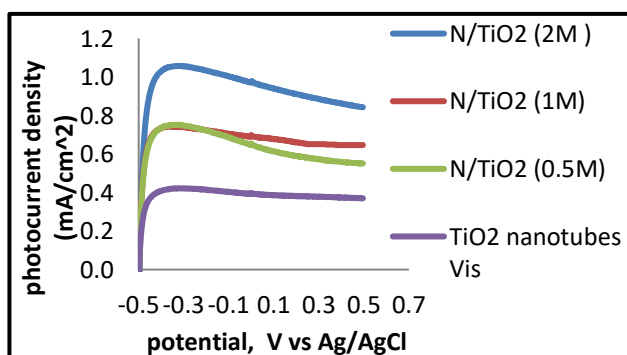
Tabel 1. Nilai *band gap* TiO₂ *nanotube*, dan N/TiO₂ *nanotube*

Matrik	Metode Anodisasi				
	Fotokatalis	Konsentrasi sumber dopan NH ₄ NO ₃			
		0 M	0,5M	1M	2M
TiO ₂		3,18	-	-	-
N/TiO ₂		-	2,975	2,979	3,01

Berdasarkan data nilai *band gap* yang diperoleh pada tabel 1 menunjukkan bahwa TiO₂ *nanotube* yang telah didoping dengan nitrogen akan menghasilkan *band gap* yang lebih rendah dibandingkan dengan TiO₂ *nanotube* yang tanpa didoping dengan nitrogen. Nilai *band gap* terkecil adalah sebesar 2,98 eV pada N/TiO₂ (1M). Hal ini menunjukkan penyerapan yang lebih baik di daerah cahaya *visible* (Mohapatra S.K. et al., 2007).

e. Pengujian Fotoelektrokimia dan Uji Aktivitas Fotokatalisis

Arus listrik yang diakibatkan oleh cahaya (foton) atau disebut juga dengan *photocurrent* diukur dengan menggunakan potensiostat. TiO₂ *nanotube* ataupun N/TiO₂ *nanotube* sebagai photoanoda dalam larutan elektrolit KOH 0,1 M disinari iluminasi cahaya tampak. Hasil TiO₂ *nanotube* maupun N/TiO₂-NT ditunjukkan pada gambar 6, Voltammogram Penggabungan TiO₂-NT dengan N/TiO₂ *nanotube* menunjukkan *photocurrent* dari N/TiO₂-NT saat disinari lampu *visible*. ketika lampu *visible* dinyalakan, respon arus dengan steady state yang ditunjukkan masing-masing sebesar 0,42, 0,58 mA, 0,63 mA, 0,82 mA. Dari gambar terlihat bahwa respon arus TiO₂ *nanotube* lebih rendah, dibandingkan dengan N/TiO₂ *nanotube* serta TiO₂ yang didoping nitrogen dapat memperbaiki respon TiO₂ terhadap sinar *visible* (L. Gomathi Devi et al., 2013).



Gambar 6. Voltammogram TiO₂-NT dengan N/TiO₂-NT (0,5M, 1M, 2M)

Degradasi fotokatalisis dari TiO₂ *nanotube* saja menunjukkan aktivitas fotokatalitik di bawah iradiasi cahaya tampak karena energi yang lebih rendah dari

cahaya tampak relatif terhadap energi celah pita dari anatase N / TiO₂-NT (Wawrzyniak et al., 2006). Untuk N / TiO₂-NT, rasio degradasi dapat sangat meningkat dibandingkan dengan fotolisis TiO₂ *nanotube*. Aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi dalam N / TiO₂-NT terutama dapat dikaitkan dengan peningkatan penyerapan cahaya tampak dalam pemisahan elektron dan mengalami fotogenerasi oleh penyisipan doping N.

Pengujian degradasi Rhodamin B menggunakan sel fotoelektrokatalisis, mengalami penurunan konsentrasi optimum dilihat dari kemampuan terbaik TiO₂ *nanotube* maupun N/TiO₂ dalam mendegradasi Rhodamin B. Larutan Rhodamin B terdegradasi paling baik pada N/TiO₂ *nanotube* disinari lampu *visible*, dengan persen degradasi mencapai 47,86% selama 60 menit. Hal ini bersesuaian dengan teori bahwa TiO₂ yang didoping nitrogen dapat memperbaiki kinerja fotoelektrokatalisisnya di daerah sinar *visible* (Pelaez M. et al., 2012).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan telah berhasil disintesis TiO₂ bermorfologi *nanotube* dan TiO₂ bermorfologi *nanotube* yang didoping nitrogen, yang keduanya memiliki fasa kristal anatase. Di bawah iluminasi sinar tampak, terhadap senyawa Rhodamin B menunjukkan bahwa, N/TiO₂ *nanotube* mampu mendegradasi zat warna lebih baik dibandingkan dengan TiO₂ *nanotube*. Hasil aplikasi fotodegradasi pada larutan Rhodamin B menggunakan sinar tampak untuk N/TiO₂-NT memberikan hasil degradasi sebesar 47,86%, sedangkan TiO₂ *nanotube* hanya sebesar 25,49 %. Hal ini menunjukkan bahwa TiO₂ *nanotube* yang didoping nitrogen dapat memperbaiki kinerja fotokatalisisnya di daerah sinar tampak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dr. Jarnuzi Gunlazuardi sebagai pembimbing sekaligus penulis kedua untuk membimbing penulis selama penelitian.

Fakultas MIPA-Universitas Indonesia bidang kimia yang memfasilitasi laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Antony, R. P., Mathews, T., Ramesh, C., Murugesan, N., Dasgupta, A., Dhara, S., Tyagi, A.K. (2012). Efficient photocatalytic hydrogen generation by Pt modified TiO₂ nanotubes fabricated by rapid breakdown anodization. *International journal of hydrogen energy* 37, 8268-8276..
- Aritonang, Anthoni B., Krisnandi K. Yuni., Gunlazuardi, Jarnuzi. (2018). Modification of TiO₂ 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*. volume 8 no. 1, ISSN: 2088-5334.
- Bai J., Zhou B., Li L., Liu Y. (2008). The Formation Mechanism of Titania Nanotube arrays in Hydrofluoric Acid Electrolyte. *J. Mater Science*, Sci. 43: 1880-1884
- Liu H., Liu G., Shi X. (2010). N/Zr-codoped TiO₂ Nanotube array: Fabrication Characterization, and Enhanced Photocatalytic Activity. *Colloids and Surface A: Physicochem. Eng. Aspects*. 363: 35-40
- Liu H., Liu G., Shi X. (2010). N/Zr-codoped TiO₂ Nanotube array: Fabrication Characterization, and Enhanced Photocatalytic Activity. *Colloids and Surface A: Physicochem. Eng. Aspects*. 363: 35-40.
- L. Gomathi Devi, R. Kavitha. (2013). A review on non metal ion doped titania for the photocatalytic degradation of organic pollutants under UV/solar light: Role of photogenerated charge carrier dynamics in enhancing the activity *Applied Catalysis B: Environmental*, Volumes 140–141, August–September 2013, Pages 559-587.
- Mohapatra, S.K., Misra, M., Mahajan, V.K., & Raj, K.S. (2007). A Novel Method for the Synthesis of Titania Nanotubes Using Sonochemical Method and Its Application for Photoelectrochemical Splitting of Water.
- Nicholas T. Nolan, Damian W. Synnott, Michael K. Seery, Steven J. Hinder, Axel Van Wassenhoven, Suresh C. Pillai, (2012). Effect of N -doping on the photocatalytic activity of sol -gel TiO₂, *Journal of Hazardous Materials*, 211 -212, 88 -94.
- Pelaez, M., Nolan, Nicholas T., et. al.. (2012). *A review on the visible active titanium dioxide photocatalyst for environmental applications*. *Applied Catalysis B: Environmental* 125, 331-349. Elsevier
- Prado, A. G. S., Bolzon, L.B., Pedroso, C. P., Moura, A. O., Costa, L.L., (2008). Nb₂O₅ as efficient and recyclable photocatalyst for indigo carmine degradation, *Appl Catal B*, 82,219–224.
- Ratnawati, Gunlazuardi, J, Slamet., (2015). Development of titania nanotube arrays: The roles of water content and annealing atmosphere. *Materials Chemistry and Physics* xxx 1-8.
- Regonini, D., Bowen, C. R., Jaroenworarluck, A., Stevens, R. (2008). *A Review Of Growth Mechanism, Structure And Crystallinity Of Anodized TiO₂ Nanotubes*. *J. Materials Science And Engineering R*.
- Surahman, H. (2014). Pengembangan Sel Fotoelektrokimia Menggunakan Lapisan Tipis TiO₂ Nanotubes Arrays Tersensitasi Cds Nanopartikel pada Substrat Plat Titanium untuk Produksi Hidrogen. Progress Report Departemen Kimia. FMIPA UI.
- Tang, Y. C., Huang, X. H., Yu, H. Q. & Tang, L. H. (2012). Nitrogen-Doped TiO₂ Photocatalyst Prepared by Mechanochemical Method: Doping Mechanisms and Visible Photoactivity of Pollutant Degradation. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy*, Article ID 960726, 10 pages.
- Wawrzyniak, Beata., Morawski, Antoni W., Tryba, Beata., (2006). Volume 2006, Article ID 68248, Pages 1–8

NOMENKLATUR

- F/(R) arti dari faktor kubelka-Munk
 K arti dari koefisien absorpsi
 S arti dari koefisien scattering
 R arti dari nilai reflektan yang diukur
 A arti dari konstanta proporsional
 Eg arti dari energi gap (energi celah)
 n arti dari 1 (untuk transisi langsung yang diperbolehkan)

BIOGRAFI PENULIS



Ida Nur Apriani

Lahir di Jakarta, 26 April 1991. Kuliah Pendidikan D4 setara S1 di STMI Jakarta dengan judul tugas akhir Efektivitas Nanokomposit TiO₂-Zeolit alam untuk degradasi limbah phenol. Pernah bekerja sebagai Quality Control Ink di PT. Inkote Indonesia sejak Februari 2013 s.d Agustus 2014. Kemudian melanjutkan Pendidikan S2 di Universitas Indonesia dengan Program Studi Kimia.dengan judul tesis Sintesis dan karakterisasi N doped TiO₂ nanotube serta uji aktivitas fotokatalisis untuk degradasi zat warna rhodamin B dan bekerja di Politeknik STMI Jakarta sebagai dosen tidak tetap dan teknisi laboran bidang program studi teknik kimia polimer sejak Agustus 2017 – hingga sekarang.

