

## UJI UV-VIS LAPISAN TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> UNTUK MENENTUKAN BAND GAP ENERGY

Devi Indriani<sup>1\*</sup>, Helga Dwi Fahyuan<sup>1</sup>, Mardian Peslinof<sup>1</sup>, Ngatijo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Mendalo Darat, Jambi 36361

<sup>2</sup>Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Mendalo Darat, Jambi 36361

\*e-mail: Devi140396@gmail.com

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi doping nitrogen terhadap celah pita energi pada lapisan TiO<sub>2</sub> yang ditumbuhkan dengan teknik doctor blade. Lapisan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> dibuat dengan konsentrasi 15%, 25% dan 25% dan lapisan TiO<sub>2</sub> tanpa doping dikalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam. Karakterisasi celah pita energi dengan menggunakan spektrometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200 nm-700 nm. Celah pita energi diperoleh dengan menggunakan persamaan Swanepoel dan metode Touch Plot. Hasil penelitian menunjukkan nilai energi gap tanpa doping sebesar 3,9250 eV dan dengan penambahan doping nitrogen dapat menurunkan celah pita energi berturut-turut 3,8750 eV, 3,8375eV dan 3,9125 eV. Celah pita energi terkecil diperoleh pada konsentrasi 25% sebesar 3,8375 eV.

Kata Kunci: Lapisan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, Transmittansi, Celah pita energi

### Abstract

[Title: TEST UV-VIS LAYER TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> FOR DETERMINING BAND GAP ENERGY] Research has been conducted on the effect of nitrogen doping variations on the energy band gap in the TiO<sub>2</sub> layer which is grown by the doctor blade technique. TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> layers were made with a concentration of 15%, 25% and 25% and TiO<sub>2</sub> layers without doping were calcined at 500°C for 3 hours. Characterization of energy band gap using a UV-Vis spectrometer at a wavelength range of 200 nm-700 nm. The energy band gap is obtained using the Swanepoel equation and the Touch Plot method. The results showed 3.9250 eV without doping gap energy and nitrogen doping can reduce energy band gap 3.8750 eV, 3.8375eV and 3.9125 eV, respectively. The smallest energy band gap was obtained at a concentration of 25% of 3.8375 eV.

Keywords: Coating TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, transmittance, Band gap energy

### PENDAHULUAN

Semikonduktor adalah sebuah material dengan konduktivitas yang berada diantara isolator dan konduktor. Konduktivitas memegang peranan penting pada proses transpor elektron atau *hole* di dalam material. Pada semikonduktor posisi tingkat Fermi bergantung dari jenis bahan tersebut. semikonduktor tipe-n (pembawa mayoritas muatan adalah elektron) posisi tingkat Fermi berdekatan dengan pita konduksi dan semikonduktor tipe-p (pembawa mayoritas muatan adalah *hole*) posisi tingkat Fermi berdekatan dengan pita valensi. Jarak antara pita konduksi dan pita valensi ini dinamakan *band gap energy*. *Band gap energy* merupakan energi yang diperlukan suatu elektron untuk dapat tereksitasi (Sutanto dan Wibowo, 2015).

Material semikonduktor yang banyak menjadi riset pada peneliti dunia adalah TiO<sub>2</sub>. Beberapa tahun terakhir, film TiO<sub>2</sub> dipelajari secara ekstensif karena sifat fotokatalitik yang menarik. Film tipis TiO<sub>2</sub> menemukan berbagai aplikasi dalam berbagai bidang seperti fotokatalisis, gas sensing, anti reflektif dan lapisan pelindung, lapisan antibakteri dan optik, film dielektrik untuk efek

medan generasi baru transistor, dll (Bedikyan dkk, 2013).

TiO<sub>2</sub> memiliki band gap energi sekitar 3,2 – 3,9 eV, material ini juga memiliki indeks bias yang tinggi (n -2,4) sehingga membuat TiO<sub>2</sub> dapat diaplikasikan dalam berbagai hal (Widaryanti, dkk, 2013). Band gap energi yang cukup lebar dari TiO<sub>2</sub> tersebut hanya mampu bekerja di rentang sinar UV, sehingga hanya sekitar 5% dari energi matahari yang dapat dimanfaatkan, agar penggunaan energi matahari dapat dimaksimalkan maka perlu dilakukan usaha untuk memperkecil band gap energi dari TiO<sub>2</sub> dan memperbesar penyerapan cahaya Salah satunya dengan penambahan unsur lain atau disebut juga dengan *doping*.

*Doping* merupakan salahsatu metode yang digunakan untuk mengubah sifat dari suatu bahan. Umumnya *doping* yang digunakan untuk memperkecil celah pita energi yaitu dengan menambahkan unsur logam. Penambahan unsur logam ini sangat berbahaya karena peka terhadap korosi dan mengandung racun, apabila diproduksi dalam rentang waktu yang lama akan menyebabkan gangguan kesehatan. Maka diperlukan *doping* yang

ramah lingkungan seperti nitrogen. Nitrogen merupakan *doping* yang cukup efektif karena ukurannya yang tidak jauh berbeda dengan oksigen dan energi ionisasinya yang kecil. Selain itu nitrogen juga dapat menurunkan *band gap energy* TiO<sub>2</sub>.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Perez dkk (2013) tentang sintesis TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> dan pengaruh konsentrasi nitrogen pada *band gap energy*. Sintesis TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> terbukti dapat menurunkan *band gap* sebesar 2,51 eV dengan *doping* sebesar 2 M nitrogen dengan panjang gelombang 494 nm.

Teknik yang digunakan pada proses pendeposisian lapisan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> di atas substrat kaca preparat dengan menggunakan *doctor blade*. Teknik *doctor blade* merupakan pembuatan lapisan yang mengandalkan pengolesan. Teknik ini digunakan karena prosesnya yang sederhana dan biaya yang murah. Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan lapisan TiO<sub>2</sub> tanpa *doping* dan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> dengan variasi konsentrasi 15%, 25% dan 35%. *Doping* ini diharapkan mampu memperkecil celah pita energi TiO<sub>2</sub>. Penurunan celah pita energi dapat diketahui dengan menggunakan karakterisasi UV-Vis. Berdasarkan Pengujian UV-Vis diperoleh nilai transmittansi maksimum dan minimum, data tersebut kemudian diolah dengan persamaan *Swanepoel* dan metode *Touch Plot* untuk menentukan celah pita energi.

## METODE

Penelitian ini diawali dengan membersihkan substrat kaca dalam larutan deterjen untuk menghilangkan kotoran berupa minyak, kabut dan kotoran lain yang menempel pada substrat. Kemudian dibilas hingga bersih dan keringkan hingga benar-benar kering. Selanjutnya dibilas dengan larutan aseton, lalu keringkan kembali.

Larutan nitrogen dibuat dengan variasi 0%, 15%, 25% dan 35% dilarutkan dengan aquades menggunakan perbandingan % TiO<sub>2</sub>:urea.

Kemudian dilakukan pembuatan koloid TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> dengan cara melarutkan pilivinil alkohol (PVA) kedalam aquades, kemudian diaduk dengan *magnetik stirrer*. Selama pengadukan gelas ukur ditutup dengan *aluminium foil*. Hal ini dilakukan untuk mengurangi penguapan saat pengadukan. Selanjutnya ditambahkan serbuk TiO<sub>2</sub> sebanyak 4 g, kemudian diaduk selama 2 jam pada suhu 80°C. Larutan nitrogen yang telah dibuat sebelumnya dicampurkan kedalam larutan TiO<sub>2</sub>. Diaduk kembali dengan *magnetik stirrer* selama 1 jam dengan suhu yang sama. Larutan yang telah diaduk dibiarkan selama 5 hari.

Pasta TiO<sub>2</sub> tanpa *doping* dan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> dideposisikan di atas kaca preparat dengan teknik *doctor blade*. Pasta diteteskan pada kaca menggunakan pipet tetes dan diratakan dengan batang gelas hingga menutupi seluruh permukaan kaca hingga rata. Kemudian kaca dipanaskan pada suhu 150°C selama 30 menit untuk menghilangkan uap air pada lapisan. Kemudian pemanasan dilakukan selama 3 jam pada suhu 500°C. Lapisan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan *ultraviolet visivel* (UV-Vis).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Lapisan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> dapat ditumbuhkan pada substrat kaca menggunakan teknik *doctor blade*. Lapisan diperoleh berwarna putih dan tersebar merata di atas substrat kaca dengan suhu kalsinasi 500°C selama 3 jam. Pengaruh *doping* nitrogen dapat diketahui dengan karakterisasi UV-Vis. Karakterisasi dengan UV-Vis dilakukan dengan memperoleh nilai transmittansi dari lapisan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>. Sampel ditransmittansi dengan panjang gelombang 200-700 nm dengan rentang 100 nm. Kisaran Uv adalah 200-400 nm sedangkan visibel 400-700 nm. Hasil pengukuran transmittansi TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> dapat dilihat pada Tabel 1.

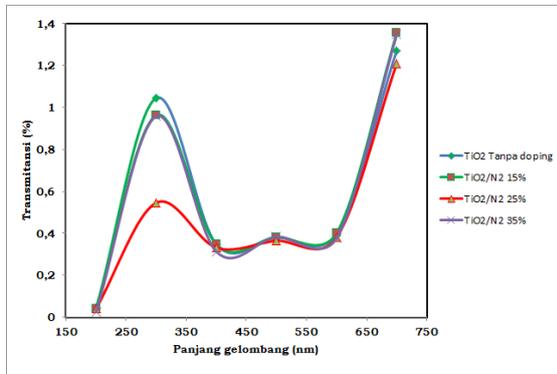
**Tabel 1.** Data transmittansi lapisan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>

Panjang gelombang (nm)	Tanpa <i>doping</i>	Transmittansi (%)		
		15%	25%	35%
200	0,041	0,042	0,041	0,025
300	1,045	0,963	0,546	0,958
400	0,348	0,347	0,332	0,313
500	0,38	0,383	0,365	0,384
600	0,397	0,402	0,381	0,378
700	1,272	1,355	1,211	1,349

Mengetahui band gap energi dimulai dengan penentuan nilai transmittansi maksimum dan minimum, ketebalan lapisan dan koefisien serap lapisan. Kemudian nilai band gap energi ditentukan

dengan metode *Touch Plot* dengan penarikan garis lurus antara koefisien serap ( $h\nu$ ) dan koefisien serap terhadap foton ( $\alpha h\nu^2$ ) perhitungan selengkapnya dapat dijelaskan sebagai berikut.

Panjang gelombang yang digunakan dari 200 nm – 700 nm dengan rentang 100 nm. Nilai transmitansi maksimum (TiO<sub>2</sub> tanpa *doping*)  $T_{M1} = 1,045$  dan  $T_{M2} 0,38$  dan nilai transmitansi minimum  $T_{m1} = 0,348$  dan  $0,397$  dengan panjang gelombang  $1 \lambda_1 = 300$  dan panjang gelombang  $2 \lambda_2 = 500$ . Berdasarkan Tabel 1 maka grafik antara panjang gelombang dan nilai transmitansi diperoleh dan dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Transmittansi UV-Vis

Berdasarkan Gambar 1 maka dapat diketahui nilai transmitansi maksimum dan minimum. Nilai maksimum untuk TiO<sub>2</sub> tanpa *doping* dan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 15%, 25% dan 35% berada pada panjang gelombang 300 nm dan 500 nm. Sedangkan nilai transmitansi minimum berada pada panjang gelombang 400 dan 600 nm. Perubahan nilai transmitansi pada TiO<sub>2</sub> tanpa *doping* dan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 15%, dan 35% tidak begitu jauh hanya saja transmitansi pada sampel 25% lebih rendah pada rentang 200-400 nm. Variasi perbandingan *doping* % nitrogen tidak terlalu mempengaruhi besarnya pergeseran daerah sinar tampak.

Setiap konsentrasi TiO<sub>2</sub> tanpa *doping* dan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> menghasilkan intensitas transmittansi cahaya yang berbeda-beda. kurva transmittansi tersebut menunjukkan banyaknya elektron yang dihasilkan dari setiap sampel. Setiap penyisipan nitrogen yang berbeda-beda memiliki perbedaan yang tidak linear terhadap nilai transmittansinya (Zen dkk., 2016). Perbedaan nilai transmittansi ini menyebabkan *band gap energy* dari sampel juga berbeda.

Besarnya *band gap energy* diperoleh dengan menggunakan persamaan *Swanepoel* dan metode *Touc Plot*. Nilai indeks bias (*n*) dan ketebalan lapisan (*d*) ditentukan dengan menggunakan persamaan *Swanepoel* (untuk sampel TiO<sub>2</sub> tanpa *doping*)

$$N_1 = 2n_s \frac{T_{M1} T_{M2}}{T_{M1} x T_{M2}} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \tag{1}$$

$$N_1 = 2x1,51 \frac{1,045 \quad 0,397}{1,045x0,397} + \frac{1,51^2 + 1}{2} = 6,357$$

$$N_1 = 2n_s \frac{T_{M2} T_{M1}}{T_{M2} x T_{M1}} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \tag{2}$$

$$N_1 = 2x1,51 \frac{0,38 \quad 0,348}{0,38x0,348} + \frac{1,51^2 + 1}{2} = 2,371$$

Keterangan: *n<sub>s</sub>* adalah indeks bias kaca yaitu 1,51 dan *n* adalah indeks bias lapisan. Indeks bias lapisan *n<sub>1</sub>* dan *n<sub>2</sub>* ditentukan dengan menggunakan persamaan 3 dan 4.

$$n_1 = \sqrt{N_1 + \sqrt{N_1^2 - n_s^2}} \tag{3}$$

$$n_1 = \sqrt{6,357 + \sqrt{6,357^2 - 1,51^2}} = 3,541$$

$$n_2 = \sqrt{N_2 + \sqrt{N_2^2 - n_s^2}} \tag{4}$$

$$n_2 = \sqrt{7,7308 + \sqrt{7,7308^2 - 1,51^2}} = 2,049$$

Hasil perhitungan indeks bias digunakan untuk menghitung ketebalan lapisan (*d*) dengan menggunakan persamaan 5.

$$d = \frac{1}{2 \left( \frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_1} \right)} \tag{5}$$

$$d = \frac{1}{2 \left( \frac{1}{650 \times 3,9131} - \frac{1}{350 \times 3,8011} \right)} = 9,38 \times 10^{-8} \text{ m}$$

Setelah diketahui ketebalan dari lapisan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> maka dapat diperoleh nilai koefisien serap (*α*) pada masing-masing panjang gelombang dengan menggunakan persamaan 6.

$$= \frac{1}{d} \ln T \tag{6}$$

Setelah nilai koefisien serap diketahui, kemudian menentukan *hν* dengan menggunakan persamaan 7.

$$h = h \frac{c}{\lambda} \tag{7}$$

Notasi *h* = 6,63x10<sup>-34</sup> J.s, *c* = 3 x 10<sup>8</sup> m/s, dan *λ* = 200 x 10<sup>-9</sup> m – 700x10<sup>-9</sup>. Sehingga diperoleh nilai seperti yang terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai energi serap lapisan TiO<sub>2</sub> tanpa *doping*

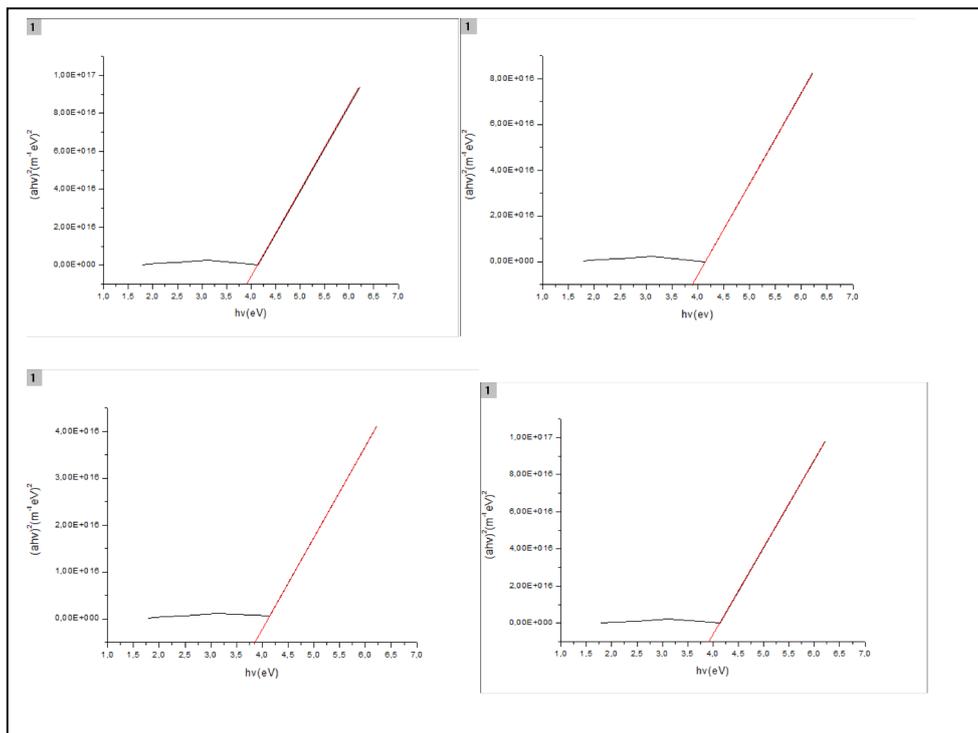
$\lambda$ (nm)	$\alpha$ (m <sup>-1</sup> )	$H\nu \times 10^{-9}$ (J.s)	$h\nu$ (eV)
200	-4,9E+07	9,95E-19	6,215625
300	678058,1	6,63E-19	4,14375
400	-1,6E+07	4,97E-19	3,107813
500	-1,5E+07	3,98E-19	2,48625
600	-1,4E+07	3,32E-19	2,071875
700	3706176	2,84E-19	1,775893

Penentuan band gap energi dengan metode *Touch Plot*. Metode *Touch Plot* merupakan penarikan garis lurus antara perkalian energi serap ( $h\nu$ ) dengan koefisien yang diserap terhadap foton ( $\alpha h\nu^2$ ) sehingga diperoleh nilai band gap energi TiO<sub>2</sub> tanpa

*doping*. Nilai  $\alpha h\nu^2$  terhadap panjang gelombang dapat dilihat pada Tabel 3 dan penentuan band gap energi dengan metode *Touch Plot* dapat dilihat pada Gambar 2.

**Tabel 3.** Nilai  $\alpha h\nu^2$  pada TiO<sub>2</sub> tanpa *doping*

$\lambda$ (nm)	$Ah\nu^2$ (m <sup>-1</sup> eV) <sup>2</sup>
200	9,35E+16
300	7,89E+12
400	2,55E+15
500	1,37E+15
600	8,69E+14
700	4,33E+13



**Gambar 2.** Penentuan band gap energi TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> (a) tanpa *doping* (b) 15% (c) 25% dan (d) 35%

Band gap energi pada lapisan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Band gap energy dengan variasi *doping* N<sub>2</sub>

Konsentrasi <i>doping</i> (%)	Band gap Energy (eV)
Tanpa <i>doping</i>	3,9250
15	3,8750
25	3,8375
35	3,9125

Berdasarkan Tabel 4 diketahui nilai *band gap energy* TiO<sub>2</sub> tanpa *doping* sebesar 3,9250 eV. Penambahan *doping* nitrogen dengan variasi konsentrasi 15%, 25% dan 35% masing-masing sebesar 3,9250 eV, 3,8750 eV, 3,8375 eV dan 3,9125 eV. Maka dapat dikatakan bahwa variasi konsentrasi berpengaruh terhadap *band gap energy* yang dihasilkan. Ketakmurnian (pengotor) mengubah karakteristik semikonduktor material-material dengan cara memasukkan elektron yang berlebih atau lubang elektron yang berlebih (Vlack, 1989). Nitrogen adalah unsur golongan V yang

berfungsi sebagai donor atau pengotor. Dengan demikian, hampir semua elektron donor akan masuk ke pita konduksi pada suhu kamar. Sehingga jika presentase *doping* nitrogen meningkat, maka jumlah atom donor meningkat pula. Peningkatan *doping* pada penelitian ini tidak seiring dengan penurunan *band gap energy* yang dihasilkan.

Tidak adanya hubungan linieritas variasi *doping* nitrogen terhadap *band gap energy* mungkin dikarenakan oleh tidak adanya korelasi linier antara banyaknya nitrogen dan kemampuan nitrogen untuk mensubstitusi oksigen pada TiO<sub>2</sub>. Menurut Riyani dkk (2015) penurunan *band gap energy* yang sedikit yaitu sebesar 0,08 eV pada TiO<sub>2</sub>. Kemungkinan besar yang terjadi pada lapisan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> adalah substitusi sebagian atom O pada TiO<sub>2</sub> oleh nitrogen dari urea. Terjadinya kenaikan nilai *band gap energy* pada konsentrasi 35% kemungkinan disebabkan oleh penambahan *doping* telah melebihi batas kemampuan maksimal penambahan *doping* nitrogen.

Berdasarkan data yang diperoleh, didapatkan *band gap energy* terkecil pada konsentrasi TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 25%. Hal ini dapat dinyatakan bahwa konsentrasi *doping* nitrogen yang optimum berada pada % tersebut yaitu sebesar 3,8375 eV. Penyempitan *band gap energy* pada *doping* ini mungkin disebabkan oleh pencampuran orbital N 2p dengan orbital O 2p (Selvaraj dkk., 2013)

*Band gap energy* pada TiO<sub>2</sub> dengan struktur anatase yaitu sekitar 3,2 eV. Berdasarkan hasil yang diperoleh sesuai perhitungan didapatkan *band gap energy* pada TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 0% sebesar 3,9250 eV. Perbedaan hasil *band gap energy* pada literatur dan percobaan mungkin disebabkan oleh keadaan suhu furnace yang tidak stabil pada saat kalsinasi dan *hotplate* yang digunakan tidak sama sehingga laju putar saat pengadukan juga mempengaruhinya. Perbedaan nilai *band gap energy* dengan literatur juga didapatkan oleh Daniyati dkk (2015) tentang penentuan energi band gap optik film TiO<sub>2</sub> menggunakan metode *Touch Plot*, yang diperoleh sebesar band gap energi rata-rata sebesar 3,77 eV. Meskipun nilai *band gap energy* yang diperoleh besar yaitu sebesar 3,9250 tetapi masih dalam rentang *band gap energy* pada semikonduktor TiO<sub>2</sub>.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa lapisan

TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> telah berhasil dibuat dengan teknik *doctor blade* pada suhu 500°C. Band gap energi pada TiO<sub>2</sub> sebesar 3,9250 eV dapat turun hingga 3,8375 eV dengan menggunakan metode *Touch Plot*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bedikyan, L., Zakhariyev, S & Zakhariyeva, M. 2013. Titanium Dioxide Thin Film: Preparation and Optical Properties. *Jurnal of chemical tecnology and metallurgy*. 48, 6: 555-558.
- Daniyati, R., Zharvan, V., Ichsan, N., Pramono. Y.H dan Yudoyono. G. 2015. penentuan energi celah pita optik Film TiO<sub>2</sub> menggunakan metode *Touch Plot*. *Prosiding seminar sains dan teknologi*. 1-5
- Perez, E., Torres, M. F., Morales, G., Murgia, V and Sham, E. 2013. Synthesis of N-TiO<sub>2</sub> Effect of the Concentration of Nitrogen in the Band Gap. Bolivia. 649-655.
- Riyani, K., Setyaningtyas dan D, Dwiasih. 2015. Pengolahan Limbah Batik Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Dopan-N dengan Bantuan Sinar Matahari. Fakultas Sains dan Teknik. Universitas Jenderal Soedirman. Vol 2: 581-587
- Selvaraj, A., Parimiladevi, R. and Rajesh, K.B. 2013. Synthesis of Nitrogen Doped Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>) and its Photocatalytic Performance for the Degradation of Indigo Carmine Dye. *J. Environ Nanotecnol*. Vol:3, 35-41.
- Sutanto, H. dan S. Wibowo. 2015. *Semikonduktor Dan Fotokatalis Seng Oksida (Zno) dan Titania*. Semarang.
- Vlack, L.H.V. 2004. elemen-elemen ilmu dan rekayasa material, Edisi ke-6. Erlangga:Jakarta
- Widaryanti, N. Henyk. 2013. Fabrication and Characterization Nanoparticles and Film of TiO<sub>2</sub>. Surabaya: ITS.
- Zen, JF., Handayani, IP dan Rosi, M. 2016. Optimasi pembuatan sel surya TiO<sub>2</sub> Teknik Fisika, Universitas Telkom. e-Proceeding of Engineering Vol. 3: 2091-209.