

SINTESA LAPISAN TIPIS $MgTiO_3$ DENGAN METODE SOL GEL

$MgTiO_3$ THIN FILMS SYNTHESIS BY SOL GEL METHOD

Widya Angreni*, Mursal dan Elin Yusibani
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Syiah Kuala Darussalam – Banda Aceh

Received: March, 2018 Accepted: May, 2018

Telah dilakukan sintesa lapisan tipis $MgTiO_3$ dengan menggunakan metode Sol Gel. Lapisan tipis $MgTiO_3$ dibuat dengan mencampurkan TiO dan $MgSO_4$ sebagai prekursor. Larutan ini kemudian diaduk selama 1 jam agar campuran menjadi homogen dengan menggunakan magnetic stirrer. Lapisan tipis $MgTiO_3$ dipanaskan dengan variasi suhu mulai dari 300, 400, 500 dan 600°C selama 1 jam. Berdasarkan hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa pada suhu 300 - 500°C nilai ukuran butir kristal semakin besar, sementara pada suhu 600°C ukuran butir kristal mengecil. Struktur kristal yang terbentuk dari lapisan tipis $MgTiO_3$ adalah rutil. Hasil SEM menunjukkan lapisan $MgTiO_3$ terdposisi dengan baik yang ditunjukkan dengan tidak munculnya retakan pada permukaan lapisan serta terdapat adanya pori yang terbentuk dan ketebalan lapisan tipis $MgTiO_3$ berkisar antara 1,67 – 1,79 μm . Hasil pengujian UV-Vis menunjukkan suhu pemanasan mempengaruhi turunnya nilai band gap. Semakin tinggi suhu pemanasan semakin kecil band gap yang dihasilkan, yaitu pada suhu 300°C bernilai 3,22 eV dan pada suhu 600°C bernilai 3,02 eV.

MgTiO₃ thin films synthesis has been done using Sol Gel method. The MgTiO₃ thin films is made by mixing TiO and MgSO₄ as precursors. This solution is then stirred for 1 h to have homogeneous mixture by using a magnetic stirrer. The MgTiO₃ thin films is heated with temperature variations range of 300, 400, 500 and 600°C for 1 h. Based on XRD test showed that at 300 - 500 °C value of crystalline grain size was increased, while at 600°C the size of crystal grains decreased. The crystalline structure formed from a thin films of MgTiO₃ is rutile. The SEM results show a well-deposited MgTiO₃ films which is indicated by the absence of cracks on the surface of the coating and there is a pore formed and the thickness of the MgTiO₃ thin films range of 1.67 to 1.79 μm . UV-Vis test show that the heating temperature affects the decrease in band gap value. The higher the heating temperature give the smaller of band gap, ie at a temperature of 300°C worth 3.22 eV and at a temperature of 600°C worth 3.02 eV, respectively.

Keywords: $MgTiO_3$ thin films, Sol Gel, XRD, SEM, UV-Vis.

PENDAHULUAN

TiO_2 merupakan material semikonduktor yang umum digunakan dalam fabrikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). DSSC atau sel surya tersensitasi zat warna merupakan salah satu jenis sel surya berbasis semikonduktor yang menggunakan fenomena fotoelektrokimia sebagai prinsip dasar untuk menghasilkan energi listrik. Khusus untuk aplikasinya dalam DSSC, TiO_2 berperan sebagai fotokatalis. Sifat fotokatalis TiO_2 yang tinggi namun memiliki energi gap yang cukup besar menyebabkan daya serap terhadap cahaya berada di spektrum sinar violet dan ultra violet, ketika dye terdposisi pada TiO_2 , sinar yang diserap lebih banyak dengan kata lain spektrum penyerapan

menjadi lebar yaitu dari sinar tampak sampai sinar ultraviolet. Kelebihan lain dari TiO_2 adalah memiliki luas permukaan per volume, sehingga dye terserap lebih banyak dan akan meningkatkan arus (Nadeak dan Susanti, 2012). Pada perkembangan penelitian awal, TiO_2 digunakan sebagai fotokatalisis dalam sistem suspensi. Pada saat ini penggunaan TiO_2 sebagai fotokatalisis banyak dilakukan dalam bentuk lapisan tipis, yaitu dengan mengimmobilisasikan TiO_2 pada bermacam-macam material pendukung, di antaranya fiber, gelas silika, dan plat titanium (Nurdin, 2007). TiO_2 murni memiliki *energy gap* yang lebar (3,2-3,8 eV) sehingga hanya memiliki efisiensi fotokatalitik sebesar 5% dari energi matahari (Indah, 2009).

*corresponding Author:mbakwid46@gmail.com

Teknologi fotokatalisis merupakan kombinasi dari proses fotokimia dan katalis yang terintegrasi untuk dapat melangsungkan suatu reaksi transformasi kimia. Reaksi transformasi tersebut berlangsung pada permukaan bahan katalis semikonduktor yang terinduksi oleh sinar (Slamet *et al.* 2003).

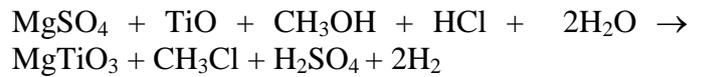
Agar penggunaan energi matahari dapat efektif, maka perlu dilakukan usaha untuk memperkecil *energy gap* dan memperbesar penyerapan cahaya yang salah satu caranya adalah menggunakan doping. Doping dapat diartikan sebagai penambahan pengotor pada material dengan tujuan untuk memodifikasi karakteristik elektroniknya (Widiyandari dan Budiman, 2004). Metode doping yang umum digunakan adalah menambahkan berbagai senyawa dye organik (Kiriakidou dan Dimitris, 1999) dan mendoping semikonduktor dengan logam. Penambahan senyawa dye dapat mempersempit *energy gap* namun dapat memperkecil energi pita konduksi, sehingga dapat menurunkan aktivitas fotokatalitik (Choi dkk, 1994).

Ada beberapa permasalahan utama yang terdapat dalam sel surya berbasis TiO₂ ini dan berimplikasi pada rendahnya efisiensi yang dihasilkan. Permasalahan pertama adalah efisiensi penyerapan foton yang sangat kecil yaitu sebesar 5% (Helga dkk, 2015). Maka banyak para peneliti melakukan penelitian pada lapisan tipis TiO₂ berbasis komposit untuk mengembangkan kinerja fotokatalis. Penggabungan antara TiO₂ dan Mg sebagai suatu komposit, untuk meningkatkan aktivitas katalis. Pada penelitian ini, akan digunakan Titanium dioksida (TiO₂) yang di doping dengan Magnesium (Mg). Komposit MgTiO₃ akan dimilling lebih dahulu agar campuran TiO₂ dan Mg lebih homogen (Hardeli dkk, 2013). Penelitian ini menggunakan metode sol-gel karena lebih mudah, campuran dan fase yang dihasilkan juga lebih sempurna. Penelitian ini mempelajari pengaruh perlakuan panas yaitu *annealing* terhadap karakteristik MgTiO₃ untuk aplikasi DSSC. Peningkatan temperatur *annealing* mempengaruhi ukuran butir, kemampuan absorbansi, dan morfologi permukaan (Wulandari, 2008).

METODOLOGI

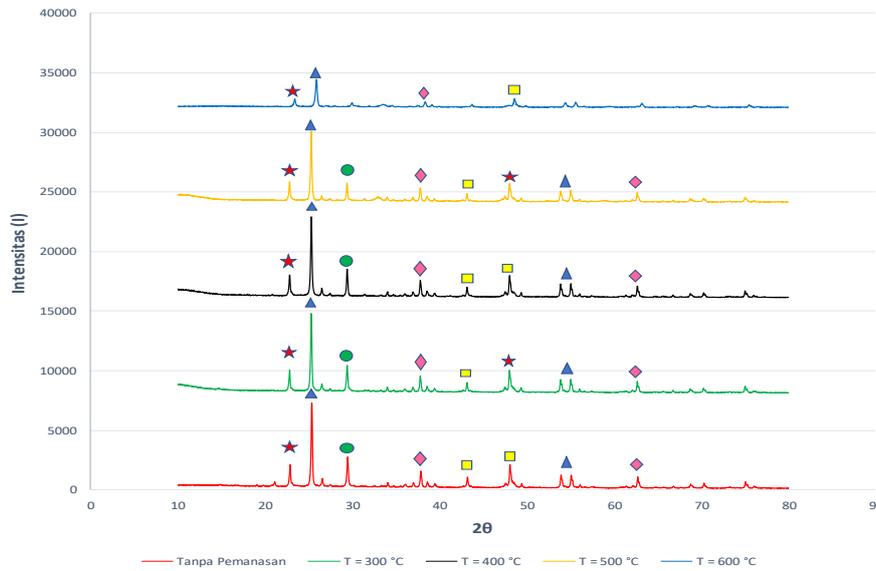
Preparasi fotoelektroda meliputi pembuatan pasta MgTiO₃ dan pemberian variasi temperatur *annealing*. Bahan dasar dari MgTiO₃ berupa serbuk

MgSO₄ (kemurnian 17,5 %) dan TiO (kemurnian 80 %). Persamaan reaksi kimianya adalah sebagai berikut:



Pembuatan pasta MgTiO₃ menggunakan metode Sol-gel yaitu campuran MgTiO₃ dimasukkan ke dalam 40 mL metanol. Larutan diaduk selama 30 menit pada temperatur ruang dan ditambahkan larutan HCl sebanyak 7 tetes dan ditambahkan aquades sebanyak 20 mL dalam larutan tersebut, diaduk selama 30 menit. Pasta MgTiO₃ didiamkan selama 72 jam sampai terbentuk sol. Sol yang terbentuk dilapiskan pada substrat fleksibel ITO pada bagian konduktifnya dengan ukuran 2x2 cm. Pelapisan sol pada substrat dilakukan secara manual dengan bantuan penggaris untuk perataan serbuk pada substrat, sedangkan ketebalan komposit MgTiO₃ bergantung pada lakban yang diberikan. Kemudian dipanaskan dengan variasi temperatur 300, 400, 500 dan 600°C selama 2 jam. Fotoelektroda yang telah jadi akan dikarakterisasi dengan difraktometer sinar-x untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur terhadap fasa kristal dan ukuran butir kristal dalam lapisan elektroda MgTiO₃. Berdasarkan hasil pola difraksi sinar X, akan dilakukan identifikasi fasa yang didasarkan pada pencocokan data posisi puncak difraksi yang terukur dengan basis data JCPDS (*Joint Committee for Powder Diffraction Standard*). Fasa-fasa yang telah dikompilasi yaitu dalam bentuk CD PDF (*Powder Diffraction File*). Setelah itu pencarian posisi puncak dan pencocokan pada fasa basis data dilakukan dengan langkah mencari dan mencocokkan (*search-mach*) secara manual. Pencocokan dilakukan dengan cara melihat nilai harga *d* dari fasa tertentu yang nilainya sesuai dengan yang tertera pada JCPDS. Cara analisa hasil identifikasi fasa yaitu dengan memperhatikan sudut 2θ, faktor jarak kisi (*d*) dan besar intensitas (*I/I_o*) dengan harga *d* dari fasa tertentu. Ukuran kristal yang diperoleh dari data hasil XRD yang dapat dihitung dengan menggunakan metode Scherrer (Pers. (1)).

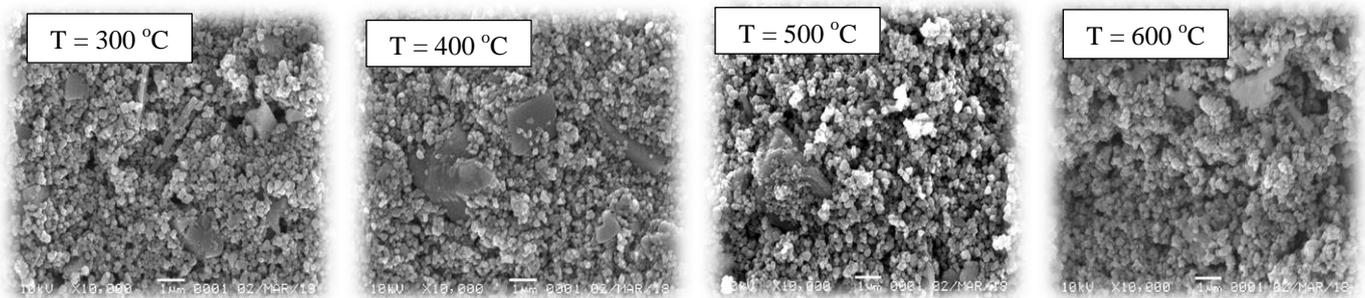
$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$



Gambar 1 Pola Difraksi Sinar - X Lapisan MgTiO₃

Tabel 1 Ukuran Kristal Pada Sampel Lapisan MgTiO₃

Perlakuan Annealing (°C)	2θ (°)	θ (°)	FWHM	Ukuran Kristal (nm)	Fasa
Sebelum	25.31	12.65	0.164	52.15	TiO ₂
	37.81	18.90	0.161	54.87	MgTiO ₃
	62.12	31.06	0.160	60.95	MgO
300	25.25	12.62	0.168	51.01	TiO ₂
	37.75	18.87	0.160	55.22	MgTiO ₃
	62.08	31.04	0.161	60.47	MgO
400	25.26	12.63	0.171	50.27	TiO ₂
	37.76	18.88	0.159	55.69	MgTiO ₃
	62.09	31.04	0.176	55.54	MgO
500	25.25	12.62	0.157	54.46	TiO ₂
	37.74	18.87	0.154	57.48	MgTiO ₃
	62.07	31.03	0.150	64.90	MgO
600	25.84	12.92	0.245	35.08	TiO ₂
	38.31	19.15	0.225	39.47	MgTiO ₃
	62.64	31.32	0.280	35.07	MgO



Gambar 2 Citra SEM Lapisan MgTiO₃ pada Variasi Temperatur Annealing 300 – 600 °C dengan Waktu Tahan 2 jam, dengan perbesaran 10.000x

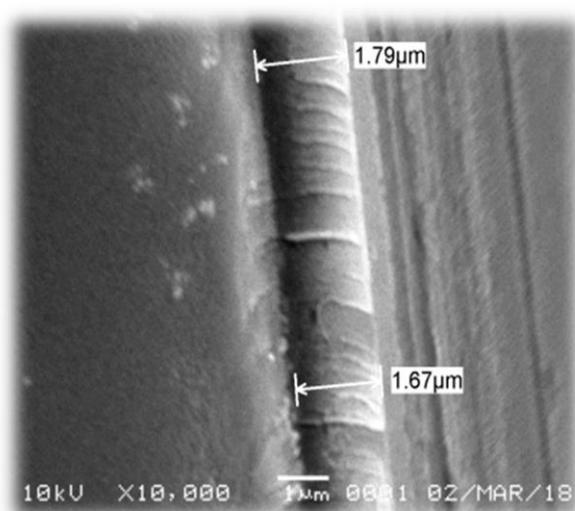
Dengan D ukuran kristal (nm), k konstanta (0.916), λ panjang gelombang sinar-X, β pelebaran kurva puncak difraksi yaitu FWHM dan θ sudut dari puncak tertinggi ($^{\circ}$). Setelah dilakukan pengujian XRD, sampel akan diuji dengan SEM untuk melihat morfologi dan ketebalan, setelah itu sampel juga akan diuji dengan spektrofotometer UV-Vis untuk menganalisis penyerapan cahaya dan pita energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengujian, hasil pengukuran dari XRD dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil XRD pada gambar tersebut dapat terlihat fasa 2θ yang muncul yaitu fasa TiO_2 pada 25.3164° , 53.9156° dan 55.0816° , fasa K_2O pada sudut 29.4269° , fasa P_2O_5 pada sudut 48.0576 , 43.1724° dan 26.5248° , fasa H_2SO_4 pada sudut 22.8285° , fasa MgTiO_3 pada sudut 37.8181° dan 62.7084° . Ketajaman puncak masih terlihat pada grafik sebelum terjadi pemanasan, hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel dari material tersebut masih besar dan juga intensitas dari fasa-fasa yang muncul terlihat sangat besar. Ketika sampel dipanaskan pada variasi temperatur $300 - 500^{\circ}\text{C}$ perubahan yang terjadi pada variasi temperatur tersebut belum begitu terlihat. Perubahan yang sangat signifikan terlihat pada temperatur 600°C , dimana terlihat ketajaman puncak pada grafik sudah menurun. Hal ini mengidentifikasi bahwa ukuran butir dari fasa TiO_2 telah mengecil akibat adanya kenaikan temperatur, dan intensitas dari unsur pengotor sudah tidak terdeteksi. Melalui perhitungan kuantitatif menggunakan metode *Scherrer* dari Pers. (1), didapatkan data ukuran kristal seperti pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil perhitungan ukuran kristalin dari tabel, terlihat bahwa ukuran butir kristal berubah-ubah secara tidak teratur pada setiap variasi pemanasan. Pada setiap variasi temperatur anil, ukuran butir kristal mengalami pembesaran dan juga pengecilan. Untuk ukuran butir kristal terkecil tercatat pada temperatur 600°C , sementara ukuran butir terbesar rata-rata tercatat pada temperatur 500°C . Pembesaran dan mengecilnya ukuran kristal seperti yang ditunjukkan pada tabel mempengaruhi ukuran pori-pori partikel. Distribusi ukuran pori akan mempengaruhi distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk ke dalam partikel adsorben.

Adsorben dengan porositas yang besar mempunyai kemampuan menyerap yang lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben yang memiliki porositas kecil. Kemampuan suatu semikonduktor fotokatalis oksida logam transisi dilaporkan dapat mengalami peningkatan apabila memiliki ukuran partikel dalam kisaran nanometer. Menurut Tanaka, et al (dalam Xu, et al 1999), ukuran partikel sangat mempengaruhi proses fotokatalisis untuk mendegradasi limbah organik. Hal ini dikarenakan luas permukaan yang sama pada namun ukuran partikel yang semakin kecil menghasilkan ukuran pori-pori semakin besar. Ukuran pori semakin besar ketika suhu yang diberikan lebih tinggi. Pori-pori ditunjukkan sebagai warna gelap/hitam dan butiran dengan warna terang atau putih, sebagai contoh perbedaan yang kontras untuk suhu 300°C dengan 600°C (Gambar 2). Pembesaran ukuran pori diikuti penggabungan butiran yang satu dengan lainnya mulai terlihat dengan adanya kenaikan suhu. Pada suhu 600°C mempunyai pori-pori paling besar.

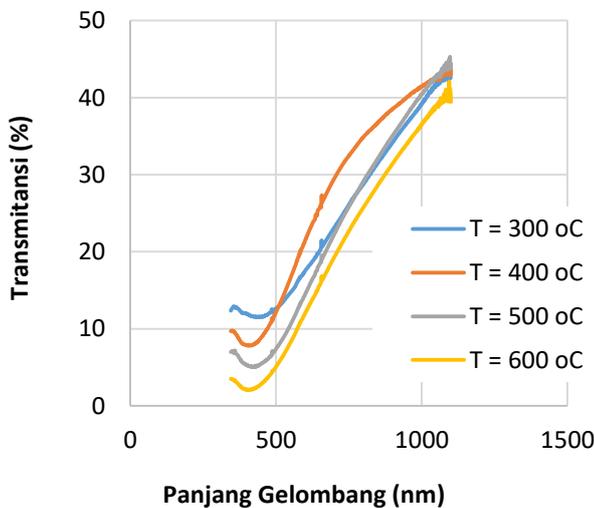


Gambar 3 Citra SEM *Cross Section* MgTiO_3 dengan perbesaran 10.000x

Pada Gambar 2 menunjukkan mikrostruktur masing-masing lapisan yang di annealing dengan temperatur yang berbeda. Hampir secara keseluruhan permukaan MgTiO_3 terdiri dari partikel-partikel yang seragam. Dari hasil pengamatan, pada temperatur anil $300 - 500^{\circ}\text{C}$ adanya penggumpalan di beberapa bagian dan pada temperatur anil 600°C penggumpalan tersebut semakin banyak berkurang. Penggumpalan ini kemungkinan terjadi akibat tidak larutnya MgTiO_3 pada larutan HCL. Secara

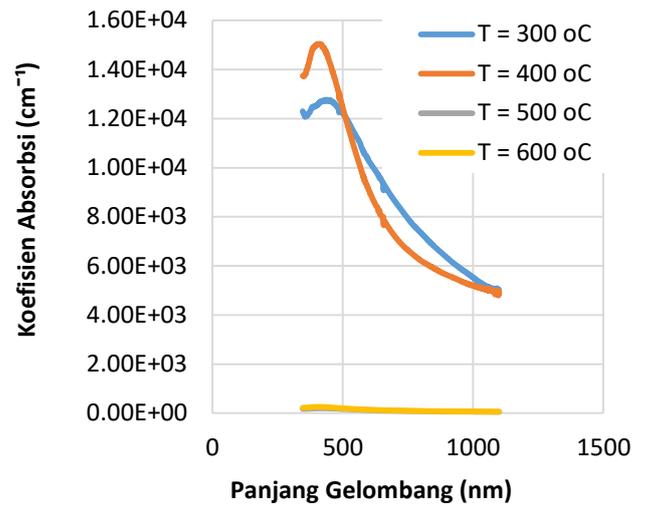
keseluruhan, lapisan MgTiO₃ terdepositasi dengan baik yang ditunjukkan dengan tidak munculnya retakan pada permukaan lapisan serta terdapat adanya pori yang terbentuk. Septina, dkk menganalisis bahwa pori inilah yang nantinya akan mengabsorpsi molekul dye. Semakin banyak pori yang terbentuk, maka akan semakin banyak larutan dye yang diserap. Dengan harapan, semakin banyak sinar matahari yang diserap, dan energi listrik yang dihasilkan menjadi semakin besar pula. Sedangkan pada Gambar 3 menunjukkan hasil SEM *cross section* dengan perbesaran 10.000x. dapat dilihat bahwa tebal lapisan MgTiO₃ berkisar antara 1,67 – 1,79 μm.

Gambar 4 menunjukkan adanya perubahan transmitansi yang cukup tajam dari kelima sampel lapisan MgTiO₃ variasi temperatur anil 300 - 600 °C pada rentang panjang gelombang 400 nm sampai 1100 nm yang menunjukkan adanya serapan optis yang cukup tinggi pada panjang gelombang tersebut. Terlihat nilai transmitansi tertinggi terdapat pada temperatur 500°C dan nilai transmitansi terendah terdapat pada temperatur 600°C.



Gambar 4 Grafik Transmittansi Lapisan MgTiO₃

Gambar 5 menunjukkan nilai panjang gelombang yang diserap (absorpsi) dalam rentang 350 - 800 nm. Pada temperatur anil 300°C, tingkat kemampuan penyerapan cahaya masih terlihat rendah. Seiring dengan kenaikan temperatur, kemampuan penyerapan cahaya semakin terlihat bagus. Akan tetapi, pada panjang gelombang 498 nm mulai mengalami penurunan secara berkala untuk tiap variasi temperatur anil.



Gambar 5 Grafik Koefisien Absorpsi Lapisan MgTiO₃ dengan Variasi Temperatur

Tabel 2 Data Energi Gap Lapisan MgTiO₃

Temperatur (°C)	Lebar Band Gap (eV)
300	3,22
400 °C	3,27
500 °C	3,20
600 °C	3,06

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai band gap terkecil didapat pada lapisan MgTiO₃ dengan temperatur 600°C dan 500°C yaitu bernilai 3,06 eV dan 3,20 eV sementara nilai band gap terbesar didapat pada temperatur 400°C dan 300°C dengan nilai 3,27 eV dan 3,22 eV. Berdasarkan referensi, semakin kecil nilai band gap suatu elektroda maka penyerapan foton akan semakin mudah dan cepat. Hal ini dapat terjadi karena foton tidak membutuhkan energi yang besar untuk bereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapat bahwa variasi temperatur anil yang diberikan dapat mempengaruhi ukuran butir pada lapisan elektroda MgTiO₃. Dimana ukuran butir terbesar pada lapisan dengan temperatur 300 °C dengan nilai 54,46 nm (TiO₂), 57,48 nm (MgTiO₃) dan 64,90 nm (MgO). Sedangkan untuk ukuran butir terkecil terdapat pada lapisan dengan temperatur 600 °C yang memiliki nilai 35,08 nm (TiO₂), 39,47 nm (MgTiO₃) dan 35,07 nm (MgO). Hasil SEM menunjukkan bahwa lapisan MgTiO₃ terdepositasi dengan baik yang ditunjukkan dengan

tidak munculnya retakan pada permukaan lapisan serta terdapat adanya pori yang terbentuk. Pemberian variasi temperatur annealing pada hasil UV-Vis menunjukkan bahwa tingkat kemampuan penyerapan cahaya semakin baik pada temperatur 600 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- Angela, R., dan Pratapa, S. 2012. Sintesis $MgTiO_3$ dengan Variasi Temperatur Kalsinasi Menggunakan Metode Pencampuran Larutan. *Jurnal Sains dan Seni ITS* Vol. 1, ISSN: 2301-928X
- Basitoh D., Is Fatimah., and Tatang S. J. Penggunaan Ekstrak Pigmen Kulit Buah Manggis (*Garcinia mangostana*) Sebagai Zat Peka Cahaya TiO_2 -Montmorillonit Dalam *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC). FMIPA. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Badawy M.I., Souaya E.M.R., Gad-Alah T.A., Abdel-Wahde M.S., Ulbricht M. 2013. *Fabrication of Ag/TiO₂ Photocatalytic for the treatment of simulated hospital wastewater under sunlight. Environmental Progress and Sustainable Energy*.33 (3), 886-894.
- Chao W-S., Ting C-C., 2010. Experimental Study On Reversal Structure Of Photoelectrode In Dsscs. *Proceedings of the ASME 2010 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2010 Vancouver*, British Columbia, Canada IMECE2010-38497
- Dadi, R., 2014. Pembuatan Sel Surya TiO_2 Nanokristal Berbahan Dasar Anthocyanin Sebagai Material Dye, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY, Yogyakarta, ISSN : 0853-0823.
- Gratzel, M. (2003). "Review: Dye Sensitized Solar Cells", *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, Vol. 4, hal. 145– 153.
- Green, Martin A.1982. *Solar Cell Operating Principles Technology And System Application*"prenticell Hall, Inc Evylewood Cliffs N,J.
- Hardeli, Suwardani, Riky, Fernando, T., Maulidis, dan Ridwan, S. 2013. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Berbasis Nanopori TiO_2 Menggunakan antosianin dari Berbagai Sumber Alami. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*.
- Helga, D. F., Samsidar, Faizar, F., Heriyanti, SampeNapitupulu, dan Sarina, P, 2015. Disain Prototipe Sel Surya DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) Lapisan Grafit/ TiO_2 Berbasis Dye Alami, Prodi Fisika dan Prodi Kimia, FST, Universitas Jambi.
- Heriyanti, S., 2006, Kajian Sensitisasi Lapis Tipis TiO_2 oleh Zat Warna Alami untuk Sel Surya Berbasis Sensitiser Zat Warna, Skripsi, FMIPA UGM, Jogjakarta.
- Ludin, N.A., dkk. 2014. *Review on The Development of Nature Dye Photosensitizer for Dye Sensitized Solar Cell. Renewable and Suinable Energy*, 386-396.
- Linsebigler, A.L., Lu, G. Dan Yates, J.T., 1995, *Photocatalysis on TiO_2 Surface:Principles, Mechanism and Selected Results*, Chem. Rev., 95, 735-758.
- Maya, S., Widya, K., Drs. Gontjang, P, M.Si.,2012. Studi Awal Fabrikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (*Amaranthus Hybridus l.*) Sebagai *Dye Sensitizer* Dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya Pada DSSC, Jurusan Fisika, FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Mulyadi, T. 2015. Pengertian, Ciri, dan Sifat magnesium. <http://budisma.net/2015/02/pengertian-ciri-dan-sifat-magnesium.html> (Tanggal akses, 26 Februari 2015)
- Nam, T. V., Trang, N. T., and Cong, B. T. 2012. *Mg-Doped TiO_2 for Dye-Sensitized Solar Cell: An Elektronik Structure Study. Proc. Natl. Conf. Theor. Phys.* 37, pp. 233-234.
- O'Regan dan Gratzel, 1991, *A Low Cost, High Efficiency Solar Cell Based On Dye Sensitized Coloidal TiO_2 film*, Nature, 737-740.
- Ratnasari, D., Hermanihadi, S., Indriyanto, W., Fathony, A., Devi WH. F., Agung R, P. dan Amin Rais, Y. 2009. Tugas Kimia Fisika X-Ray Diffraction (XRD), Surakarta: FT UNS.
- Slamet, Syakur R dan Danumulyo W. 2003. Pengolahan Limbah Logam Berat Chromium (VI) Dengan Fotokatalis TiO_2 . Makara, Teknologi, 7 (1): 27-32.

- Smestad and Gratzel M. 1998. *Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology; A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Energy Converter*. J, Chem.Educ. 75,752-756.
- Suhartatik, N., Karyantina, M., Mustofa, A., Cahyanto, M. N., Raharjo, S., Rahayu, E. S. 2013. Stabilitas Ekstrak Antosianin Beras Ketan Hitam (*Oryza sativa glutinosa*) selama Proses Pemanasan dan Penyimpanan. *Jurnal Agritech* Vol. 33, No. 4, Yogyakarta.
- Septina, W., Fajarisandi, D., Aditia, M. Pembuatan prototip solar cell dengan bahan organik-inorganik (*dye sensitized solar cell*). Laporan Akhir Penelitian Bidang Energi, Penghargaan PT. Rekayasa Industri (2007)
- Vlanck, V, Lawrence. 2004. Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material Edisi Ke-6. Jakarta: Erlangga.
- Wulandari, H., 2008. Performa Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna (DSSC) Berbasis ZnO Dengan Variasi Tingkat Pengisian dan Besar Kristalit TiO₂, Skripsi, Jurusan Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Xu, Shi, Fan, Dong, Shi, dan Hu. 1999. *Effects of Particle Size of TiO₂ on Photocatalytic Degradation of Methylene Blue in Aqueous Suspensions*. *Chemical Reviews*, (38): 373-379.
- Yuwono, A. H., Munir, B., Ferdiansyah, A., Rahman, A., dan Handini, W. 2010. *Dye Sensitized Solar Cell with Conventionally Annealed and Post-Hydrothermally Treated Nanocrystalline semiconductor Oxide TiO₂ Derived from Sol-gel Process*. *Jurnal Makara Teknologi*, Vol. 14, No. 2
- Zamrani R.A., dan Gontjang P., 2013. Pembuatan Dan Karakterisasi *Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* Menggunakan Ekstraksi Kulit Buah Manggis Sebagai *Dye Sensitizer* Dengan Metode *Doctor Blade*, *Jurnal Sains Dan Seni Pomits* Vol. 1, No.2, 2301-928X.