



Synthesis of ZnO/NiO Thin Film on Fluorine-doped Tin Oxide (FTO) by Two Step Electrodeposition as Photoanode of a Solar Cell

Ines Ayu Handayani^{a*}, Abdul Haris^a, Didik Setiyo Widodo^a

^a Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

* Corresponding author: inesayuhandayanis@gmail.com

<https://doi.org/10.14710/jksa.21.3.124-130>

Article Info	Abstract
<p><i>Article history:</i> Received: 9 July 2018 Revised: 22 July 2018 Accepted: 22 July 2018 Online: 31 July 2018</p> <p><i>Keywords:</i> two step electrodeposition; solar cells; nickel oxide; zinc oxide</p>	<p>Synthesis of ZnO/NiO Thin Film on Fluorine-doped Tin Oxide (FTO) by Two Step Electrodeposition has been conducted. The film was used as a photoanode of a solar cell. Synthesis was performed by two step electrodeposition with FTO as anode and carbon rod as cathode. NiO was firstly electrodeposited at 2.4 V from 0.2 M of NiCl₂ solution at pH 11, 70°C, under stirring of 250 rpm after air bubbling. Second step, ZnO was electrodeposited at 2.6 V from precursor Zn(NO₃)₂ 0.2 M, pH 12, 70°C with air bubbling and stirring of 250 rpm. Product was then calcined at 450°C for 2 hours followed with XRD characterization. A solar cell was constructed by utilizing the ZnO/NiO film as photoanode related to aluminium plat as cathode. Data resulted showed that the efficiency in NiO deposition was 39.4% with mass of 8 mg and 16 µm in thin film size. Efficiency in ZnO deposition was 12.7% with mass of 14.7 mg and 11 µm in thin film size. XRD data informed that NiO and ZnO were thin filmed to FTO substrate with powder size of 30.31 nm and ZnO of 21.07 nm. Photovoltaic activity test with illuminating UV light 15 W onto the film resulted in that the average voltages of 240.93 mV and current density of 7.34 mA/cm². Under tungsten light of 15 W illumination the system produced average voltages of 166.20 mV and current density of 5.48 mA/cm². Finally, the solar cell was tested under 7 W-LED illumination that was calibrated to silicon solar cell equal to sun light of 1.5 AM (100 mW/cm²) resulted in efficiency of 0.027%.</p>
<p><i>Kata Kunci:</i> elektrodeposisi dua langkah; sel surya; nikel oksida; zink oksida</p>	<p>Abstrak</p> <p>Telah dilakukan penelitian mengenai sintesis lapis tipis ZnO/NiO pada FTO dengan metode elektrodeposisi dua langkah untuk fotoanoda pada sel surya. Metode yang digunakan adalah elektrodeposisi dua langkah pada potensial konstan dengan FTO berperan sebagai katoda dan batang karbon sebagai anoda. Tahap pertama elektrodeposisi NiO pada potensial 2,4 Volt dari prekursor NiCl₂ 0,2 M pada kondisi pH 11, suhu 70°C dengan <i>bubbling</i> udara dan pengadukan 250 rpm. Tahap kedua elektrodeposisi ZnO pada potensial 2,6 Volt dari prekursor Zn(NO₃)₂ 0,2 M pada kondisi pH 12, suhu 70°C dengan <i>bubbling</i> udara dan pengadukan 250 rpm. Selanjutnya endapan dikalsinasi pada suhu 450°C selama 2 jam dan dikarakterisasi menggunakan XRD. Sel surya dibuat dari lapis tipis ZnO/NiO pada FTO sebagai fotoanoda dihubungkan dengan lempeng aluminium sebagai katoda dan selanjutnya diuji sebagai sel surya. Hasil elektrodeposisi diperoleh efisiensi pengendapan NiO sebesar 39,4%, massa endapan 8 mg dan ketebalan 16 µm, sedangkan efisiensi pengendapan ZnO sebesar 12,70%, massa endapan 14,7 mg dan ketebalan 11 µm. Data difraksi sinar-X menunjukkan bahwa</p>

sampel mengandung NiO dan ZnO. Ukuran bulir rata-rata kristal NiO sebesar 30,31 nm sedangkan ZnO sebesar 21,07 nm. Hasil uji aktivitas fotovoltaiik pada iluminasi sinar UV 15 W menghasilkan voltase rata-rata 240,93 mV dengan densitas arus rata-rata 7,34 mA/cm² dan pada iluminasi sinar tungsten 15 W menghasilkan voltase rata-rata 166,20 mV dengan densitas arus rata-rata sebesar 5,48 mA/cm². Efisiensi sel surya dilakukan pada iluminasi lampu LED 7 W yang intensitasnya dikalibrasi dengan *silicon solar sel* setara dengan cahaya matahari 1,5 AM (100 mW/cm²) dihasilkan 0,027%.

1. Pendahuluan

Persediaan sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil semakin menipis sehingga mendorong peneliti untuk mengembangkan sumber energi alternatif. Sel Surya silicon kristalin merupakan salah satu solusi yang dikembangkan untuk mendapatkan sumber energi yang dapat diperbarui, namun mempunyai kekurangan diantaranya bahan yang mahal, dan menghasilkan bahan toksik yang berbahaya bagi lingkungan. Berkembangnya teknologi sel surya tidak terlepas dari kemajuan teknologi semikonduktor, dan telah banyak material semikonduktor yang sudah dibuat dan telah diaplikasikan sebagai sel surya [1, 2]. Pada penelitian sebelumnya beberapa metode telah dilakukan untuk membuat semikonduktor lapis tipis *pn junction*, diantaranya sintesis hidrotermal, deposisi lapisan atom, *spray pirolisis*, *Chemical Bath Deposition*. Pada penelitian ini digunakan metode elektrodeposisi karena mempunyai kelebihan yang memungkinkan untuk mengatur ketebalan lapisan dengan mudah, aplikasi yang sederhana serta membutuhkan biaya operasi yang relatif lebih murah untuk mendeposisi ZnO/NiO pada FTO [3, 4]. Pemilihan material ZnO semikonduktor tipe n memiliki *bandgap* 3,4 eV, yang memberikan peluang ZnO untuk diaplikasikan sebagai solar cell. Nikel oksida merupakan semikonduktor tipe p dengan *bandgap* 3,5-3,7 eV. Apabila kedua material tersebut digabungkan menjadi lapisan *pn-junction* berpotensi untuk diaplikasikan sebagai panel surya dan fotokatalis [5-7]. Efisiensi arus pengendapan pada proses elektrodeposisi merupakan perbandingan antara jumlah materi yang terendapkan secara aktual dengan jumlah materi yang didapatkan melalui perhitungan teoritik [8, 9]. Efisiensi arus dihitung dengan persamaan:

$$\eta = \frac{W_a}{W_b} \times 100\% \quad (1)$$

dengan: efisiensi arus (η), berat endapan hasil penimbangan (gram) (W_a) dan berat endapan teoritis (gram) (W_b). Karakteristik lapis tipis yang telah disintesis menggunakan difraksi sinar X serta aplikasi sel surya dengan karakteristik arus-tegangan atau (*I-V*). Besarnya efisiensi sel surya dihitung dengan persamaan:

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{Cahaya}} \times 100\% \quad (2)$$

dengan daya sel surya (P_{MAX}) dan daya cahaya matahari (P_{cahaya}). Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran

global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya [10-12]. Dalam penelitian ini dilakukan proses sintesis ZnO/NiO pada FTO sebagai katoda dan batang karbon sebagai anoda dengan metode elektrodeposisi dua langkah pada potensial aplikasi konstan dan selanjutnya lapis tipis ZnO/NiO pada FTO yang dihasilkan digunakan sebagai fotoanoda dan dihubungkan dengan katoda lempeng aluminium sebagai katoda dijadikan sebagai sel surya. Dalam penelitian ini juga akan diukur efisiensi pengendapan NiO dan ZnO dan ketahanan sel surya serta efisiensi sel surya.

2. Metode Penelitian

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu NiCl₂.6H₂O 98% p.a (*Merck*), Zn(NO₃)₂.4H₂O 98,5% p.a (*Merck*), Kaca FTO (*Sigma Aldrich, surface resistivity ~7Ω/sa*), Elektroda batang karbon, NaOH 99% p.a (*Merck*), Akuades, Aseton, kertas pH universal (*Merck*)

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Electroanalyzer (GW Instek GOR-30600)*, Instrumen difraksi sinar X (*Shimadzu 7000*), *Furnace (Naberthem)*, *Hot plate* dan *stirrer (IKA C-MAG HS 7)*, Neraca analitik (*Ohaus*), Termometer, Alat gelas standar penelitian (*Herma, Pyrex*), Multimeter (*Krisbow, KW0600267*), Lampu 15Watt (*Philips*), Lampu UV 15Watt (*Philips*), lampu LED 7 Watt (*Philips*)

Penentuan potensial aplikasi.

Melakukan elektrodeposisi dengan katoda FTO, dan anoda karbon untuk mengukur potensial aplikasi pembentukan ZnO dan NiO dengan memvariasi potensial sehingga diperoleh grafik *V vs I* untuk potensial aplikasi yaitu potensial dengan lonjakan arus yang tajam pertama kali.

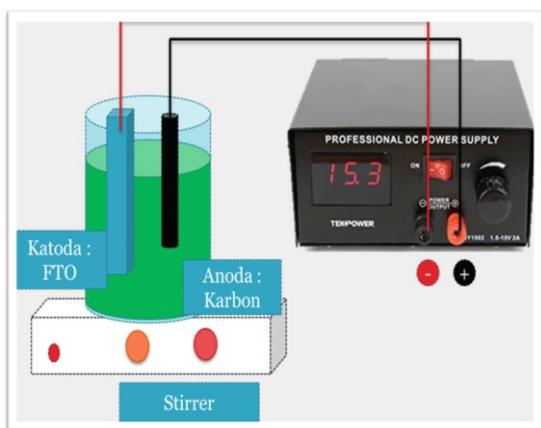
Preparasi larutan dan elektroda.

Larutan 0,2 M Zn(NO₃)₂ dibuat dengan menimbang Zn(NO₃)₂.4H₂O sebanyak 5,307 gram dan larutan 0,2 M NiCl₂ dibuat dengan menimbang 4,851 gram NiCl₂.6H₂O. Masing-masing bahan dilarutkan dengan sedikit aquades secara terpisah. Setelah itu, larutan NiCl₂ dan Zn(NO₃)₂ masing-masing diencerkan dengan akuades pada labu ukur 100 mL. Larutan NiCl₂ ditambahkan larutan NaOH 1 M 50 mL hingga pH 11 kemudian dipanaskan dengan suhu 70°C dan *bubbling* udara selama 30 menit dan dilakukan elektrodeposisi tahap pertama sedangkan Zn(NO₃)₂ dilakukan penambahan NaOH 1 M

hingga pH 12 pada gelas beker 150 mL, larutan dipanaskan dengan suhu 70°C setelah itu dilakukan *bubbling* udara selama 30 menit kemudian langsung dilakukan elektrodeposisi tahap kedua. Elektroda kaca FTO dipotong 7x2 cm. FTO dicuci dengan aquades, lalu aseton selama 10 menit dan aquades kembali selanjutnya ditimbang dan batang karbon digunakan sbagai anoda.

Elektrodeposisi dua langkah.

Proses elektrodeposisi dilakukan secara bertahap pertama elektrodeposisi NiO dilakukan dengan anoda karbon dan katoda FTO dengan memberikan potensial aplikasi 2,4 V selama 3 jam disertai pengadukan 250 rpm larutan NiCl₂ untuk menjaga larutan tetap homogen selama proses elektrodeposisi. Selanjutnya, kaca FTO yang telah terdeposisi NiO dilakukan kalsinasi dengan suhu 450 °C selama 1 jam dan dilakukan penimbangan. Tahap kedua elektrodeposisi ZnO, kaca FTO berfungsi sebagai katoda dan karbon berfungsi sebagai anoda dilakukan elektrodeposisi larutan Zn(NO₃)₂ dengan memberikan potensial aplikasi 2,6 V dielektrolisis selama 3 jam dan pengadukan 250 rpm tertera pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Gambar Elektrodeposisi NiO pada FTO.

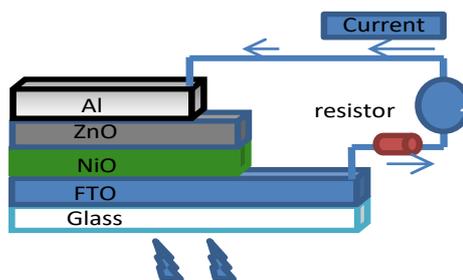
Selanjutnya, FTO yang terdeposisi NiO-ZnO dilakukan kalsinasi 450°C selama 2 jam, setelah itu dilakukan penimbangan.

Karakterisasi dengan XRD.

Karakterisasi dengan difraksi sinar X dilakukan untuk mengetahui secara kualitatif dan ukuran bulir kristal senyawa NiO-ZnO yang telah disintesis. Karakterisasi dengan difraksi sinar X dilakukan sampel elektroda lapis tipis yang telah disintesis dengan metode elektrodeposisi.

Aplikasi sel surya

Setelah dilakukan sintesis lapisan semikonduktor ZnO-NiO/FTO, dilakukan uji untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan dengan merangkaikan lapisan semikonduktor pada kaca FTO sebagai anoda dan lempeng aluminium sebagai katoda. Lalu, rangkaian sel surya diiluminasi dengan sinar UV dan sinar tungsten masing masing 15 W dan dilakukan pengamatan arus serta tegangan yang dihasilkan tertera pada gambar 2:



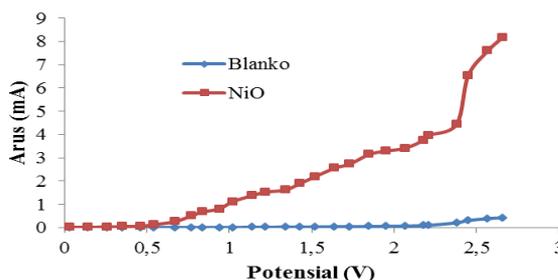
Gambar 2. Gambar sel surya ZnO/NiO pada FTO saat diiluminasi.

Uji efisiensi sel surya dilakukan pada iluminasi lampu LED 7 W yang intensitasnya dikalibrasi dengan *silicon solar sel* setara dengan cahaya matahari 1,5 AM (100 mW/cm²).

3. Hasil dan Diskusi

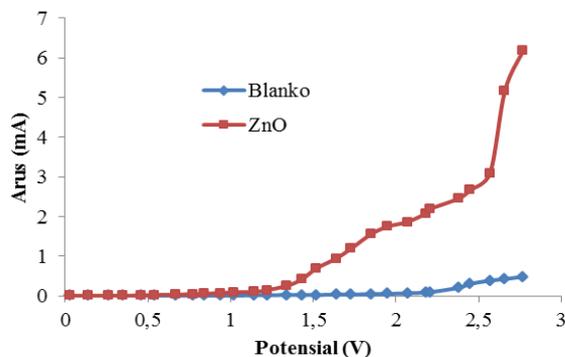
Penentuan potensial aplikasi

Potensial aplikasi pembentukan NiO ini ditentukan dengan cara memplotkan arus yang dihasilkan dari proses elektrolisis karbon sebagai anoda, FTO sebagai katoda dalam larutan NiCl₂ 0,2 M dengan variasi potensial tertera pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. Grafik V vs I penentuan potensial aplikasi NiO

Berdasarkan gambar 3 dapat diamati terjadi lonjakan arus tertinggi pertama pada potensial +2,4 volt antara blanko dan analit sehingga dapat digunakan sebagai potensial aplikasi elektrodeposisi NiO. Untuk pembentukan ZnO dari pekursor Zn(NO₃)₂ dengan variasi potensial tertera pada gambar 4 berikut.

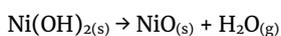
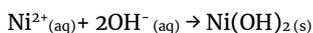
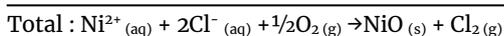
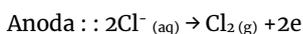
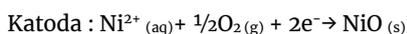


Gambar 4. Grafik V vs I penentuan potensial aplikasi ZnO

Berdasarkan gambar 4 dapat diketahui titik lonjakan arus tertinggi pertama yaitu pada +2,6 volt sehingga dapat digunakan sebagai potensial aplikasi elektrodeposisi ZnO.

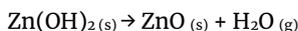
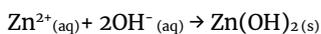
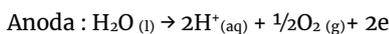
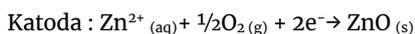
Elektrodeposisi

Proses elektrodeposisi dilakukan secara bertahap, pertama dilakukan elektrodeposisi NiO terlebih dahulu, kemudian pada kaca FTO yang sama ZnO dideposisikan setelah proses elektrodeposisi NiO selesai. Pada prekursor NiCl₂ dilakukan penambahan NaOH 1 M hingga mencapai pH 11 sesuai dengan diagram *pourbaix* Ni agar pembentukan NiO lebih sempurna pada saat elektrodeposisi. Reaksi yang terjadi saat proses elektrodeposisi NiO adalah sebagai berikut



Pada saat elektrodeposisi terjadi reaksi reduksi oksigen dan nikel secara bersamaan ketika diberikan potensial aplikasi sebesar 2,4 volt. Pembentukan lapisan NiO pada kaca FTO secara elektrodeposisi ini diperkuat dengan memberikan perlakuan *bubbling* udara ke dalam larutan NiCl₂ dan pemanasan. Proses *bubbling* udara ini bertujuan agar meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut dalam sampel sehingga akan memperbesar peluang pembentukan ion-ion hidroksida dari reaksi reduksi oksigen pada lapisan kaca FTO dan pemanasan dilakukan agar Ni(OH)₂ yang telah terbentuk dari reaksi ion Ni²⁺ dengan ion OH⁻ segera terdehidratisasi dan membentuk lapisan NiO. Kaca FTO yang telah terdeposisi NiO dilakukan kalsinasi dengan suhu 450°C selama 1 jam untuk membentuk oksida dengan mengubah Ni(OH)₂ dan kemungkinan Ni menjadi NiO. Proses elektrodeposisi sintesis NiO menghasilkan endapan sebesar 8 mg, dengan persamaan (1) diperoleh efisiensi sebesar 39,4% . Efisiensi yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa arus digunakan untuk reaksi yang lain seperti, larutan yang tidak homogen, dan elektrolisis air merupakan beberapa penyebab rendahnya efisiensi pengendapan.

Pada elektrodeposisi ZnO, digunakan nilai potensial aplikasi 2,6 Volt dan reaksi yang terjadi pada saat elektrodeposisi ZnO adalah sebagai berikut :



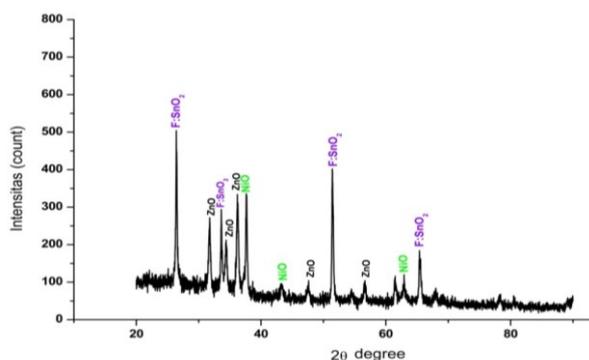
Potensial aplikasi yang diberikan adalah sebesar 2,6 V karena apabila potensial aplikasi yang diberikan terlalu

besar akan memperbesar peluang terbentuknya logam Zn pada kaca FTO, sedangkan lapisan yang diharapkan terbentuk pada kaca FTO adalah lapisan ZnO. Pada prekursor Zn(NO₃)₂ dilakukan penambahan NaOH 1 M hingga mencapai pH 12 sesuai dengan diagram *pourbaix* Zn agar pembentukan ZnO lebih sempurna pada saat elektrodeposisi.

Perlakuan *bubbling* udara dan pemanasan sebelum elektrodeposisi ZnO bertujuan meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut dalam larutan sehingga kemungkinan terbentuknya ion-ion hidroksida pada kaca FTO dapat lebih besar. Pemanasan 70°C yang dilakukan juga bertujuan untuk mendehidratasi Zn(OH)₂ yang telah terbentuk setelah ion-ion Zn²⁺ dan ion-ion OH⁻ bereaksi sehingga terbentuk ZnO pada kaca FTO. Setelah dilakukan elektrodeposisi selama 180 menit dengan pencatatan arus perlima menit dilakukan kalsinasi dengan suhu 450°C selama 2 jam sehingga didapatkan endapan berwarna abu-abu yang menandakan terbentuknya ZnO pada FTO/NiO. Setelah dilakukan kalsinasi dilakukan penimbangan dan dihasilkan lapisan ZnO sebesar 14,7 mg dengan persamaan (1) diperoleh efisiensi 12,70%. Efisiensi tersebut menunjukkan bahwa arus yang digunakan untuk proses deposisi ZnO sebesar 12,70%. Efisiensi arus sering dipakai sebagai pedoman menilai apakah semua arus yang masuk digunakan untuk mengendapkan ion logam pada katoda., larutan yang tidak homogen, dan elektrolisis air merupakan beberapa penyebab rendahnya efisiensi pengendapan

Karakterisasi dengan XRD

Proses analisis dengan instrumen difraksi sinar X (Shimadzu 7000) terhadap sampel tersebut dilakukan pada rentang sudut difraksi (2θ) 10,00°– 90,00° dengan radiasi CuKα1 (λ=1,54060 Å), tegangan 30 kV dan arus 30mA. Hasil difraksi sinar-X pada sampel diberikan pada gambar 3.3 dibandingkan dengan nilai *d spacing* dari puncak-puncak kristalin yang muncul dalam spektra dengan puncak-puncak standar dari NiO dan ZnO berdasarkan *The Joint Committee on Powder Diffraction Standart* (JCPDS).



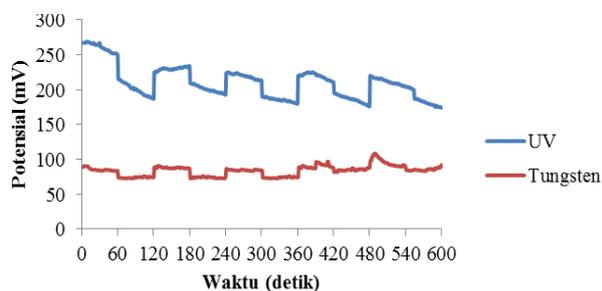
Gambar 5. Difraktogram ZnO-NiO/FTO

Data hasil analisis difraksi sinar X dilakukan perbandingan dengan data JCPDS yaitu JCPDS no. 89-

1397 untuk standar ZnO dan JCPDS no. 89-8851 untuk standar NiO. Pada difraktogram sampel hasil elektrodeposisi dua langkah pada 2θ sebesar $31,76^\circ$; $34,34^\circ$ dan $36,2^\circ$ memiliki nilai intensitas yang cukup tinggi meskipun lebih rendah dibanding intensitas difraktogram standar, *peak* ini hampir berimpit dengan standar ZnO pada 2θ $31,737^\circ$; $34,379^\circ$ dan $36,215^\circ$ dengan selisih berturut-turut 0,023 ; 0,039; 0,015. Pada nilai 2θ $47,62^\circ$ dan $56,58^\circ$ intensitas yang cukup kecil hampir berimpit dengan *peak* standar ZnO pada 2θ yang hampir sama dengan selisih 0,136; 0,044, dan 0,143 menunjukkan bahwa ZnO terdapat pada elektroda lapis tipis hasil sintesis namun dalam kuantitas rendah. Puncak pada 2θ sebesar $37,44^\circ$ dengan intensitas tinggi hampir berimpit dengan *peak* standar NiO dengan selisih 0,181, pada 2θ sebesar $43,32^\circ$ intensitas lebih kecil dibanding intensitas pada difraktogram standar namun 2θ ini hampir berimpit dengan standar NiO dengan selisih 0,029 kemudian pada 2θ sebesar $62,92^\circ$ memiliki intensitas yang lebih tinggi dibanding intensitas pada difraktogram standar NiO dengan selisih 2θ dengan standar sebesar 0,033. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat keberadaan NiO dalam elektroda lapis tipis ZnO-NiO/FTO dengan kuantitas cukup tinggi. Keberadaan senyawa SnO₂:F yang sangat tinggi intensitasnya kemungkinan dikarenakan lapisan SnO₂:F lebih tebal dan merata dibandingkan lapisan hasil sintesis yang kurang terlapis sempurna. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus Debye-Scherrer, ukuran rata-rata bulir kristal NiO sebesar 30,31 nm sedangkan ZnO sebesar 21,70 nm.

Aplikasi sel surya

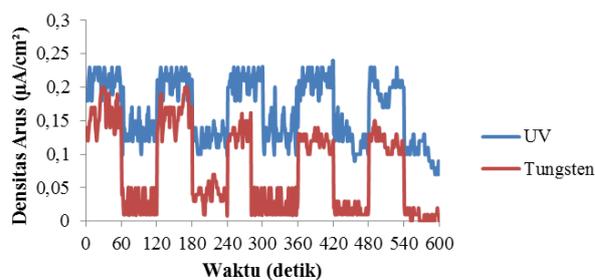
Setelah dilakukan sintesis lapisan semikonduktor ZnO-NiO/FTO, dilakukan uji aktivitas fotovoltaiik. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk membuktikan bahwa elektroda lapis tipis hasil sintesis menghasilkan energi listrik melalui proses deplesi *pn-junction* yang terjadi apabila terdapat sumber cahaya/foton . Grafik potensial vs waktu aktivitas fotovoltaiik sel surya tertera pada gambar 6 berikut:



Gambar 6. Grafik potensial vs waktu aktivitas fotovoltaiik sel surya

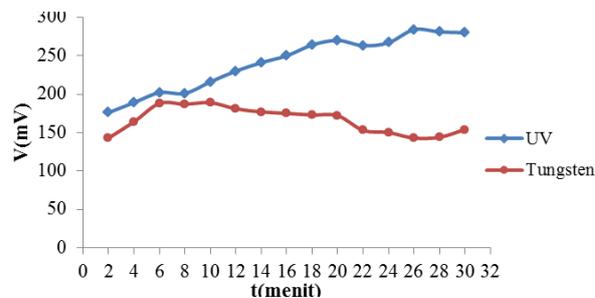
Rangkaian alat sel surya diiluminasi masing-masing oleh lampu UV dan *tungsten*. Semua rangkaian diukur kuat arus dan tegangan yang dihasilkan setelah diiluminasi dengan pengujian proses fotovoltaiik, yaitu pengukuran arus dan tegangan dengan dan tanpa

iluminasi secara periodik selama 600 detik. Pada proses tanpa iluminasi sinar ultraviolet dan *tungsten* secara periodik mengalami penurunan potensial dan densitas arus saat transisi dari iluminasi sinar *tungsten* ke tanpa iluminasi sinar *tungsten*, hal ini membuktikan bahwa elektroda lapis tipis ZnO-NiO/FTO mengalami proses fotovoltaiik hanya pada saat terdapat sumber foton untuk menghasilkan energi listrik. Grafik densitas arus vs waktu aktivitas fotovoltaiik sel surya tertera pada gambar 7 berikut:



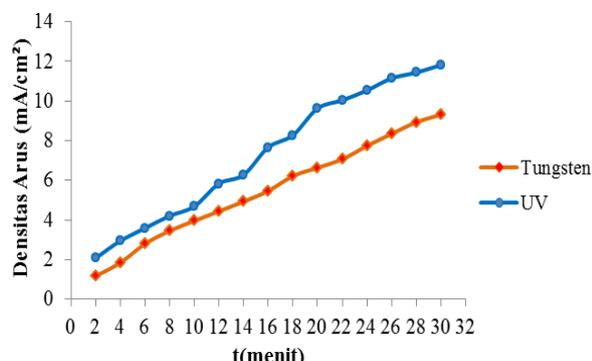
Gambar 7. Grafik densitas arus vs waktu aktivitas fotovoltaiik sel surya

Setelah dilakukan sintesis lapisan semikonduktor ZnO-NiO/FTO, dilakukan uji untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan dengan merangkaikan lapisan semikonduktor pada kaca FTO sebagai anoda dan lempeng aluminium yang telah diampas sebagai katoda. Lempengan aluminium dapat digunakan sebagai katoda karena logam ini memiliki sifat konduktivitas listrik yang baik sehingga dapat menerima elektron (akseptor elektron) dari FTO yang menghasilkan elektron. Alat multimeter dipasang paralel terhadap resistor untuk mengukur tegangan seperti pada gambar 8, sedangkan pada pengukuran kuat arus, alat multimeter dipasang seri dengan dilalui hambatan seperti pada gambar 9. Rangkaian sel surya diiluminasi dengan sinar ultraviolet langsung pada bagian kaca FTO dan dilakukan pengamatan arus serta tegangan yang dihasilkan pada multimeter. Selanjutnya, bagian kaca FTO juga dilakukan penyinaran dengan lampu *tungsten*, dilakukan pengamatan arus serta tegangan yang dihasilkan selama 30 menit.



Gambar 8. Grafik potensial vs waktu aplikasi sel surya

Potensial rata-rata yang dihasilkan dari penyinaran sinar ultraviolet sebesar 240,93 mV, sedangkan potensial yang dihasilkan dari penyinaran sinar tampak sebesar 166,2 mV. Hal ini menunjukkan bahwa elektroda lapis tipis hasil sintesis lebih bekerja maksimum pada rentang gelombang ultraviolet dibanding gelombang sinar tampak.



Gambar 9. Grafik densitas arus vs waktu aplikasi sel surya

Rata-rata arus yang dihasilkan pada iluminasi sinar tungsten selama 30 menit yaitu sebesar 54,8 mA dengan densitas arus rata-rata sebesar 5,48 mA/cm² dan pada iluminasi sinar ultraviolet selama 30 menit dihasilkan arus sebesar 73,37 mA dengan densitas arus 7,34 mA/cm².

4. Kesimpulan

Elektroda lapis tipis ZnO-NiO/FTO telah berhasil disintesis melalui elektrodeposisi dua langkah menggunakan potensial aplikasi untuk NiO sebesar 2,4 V pada pH 11 sedangkan ZnO pada potensial aplikasi sebesar 2,6 V dengan pH 12. Efisiensi pengendapan NiO sebesar 39,4%, massa endapan 8 mg dengan ketebalan 16 µm, sedangkan efisiensi pengendapan ZnO sebesar 12,70%, massa endapan 14,7 mg dengan ketebalan 11 µm. Hasil data difraksi sinar-X menunjukkan bahwa sampel mengandung NiO dan ZnO. Ukuran bulir rata-rata kristal NiO sebesar 30,31 nm sedangkan ZnO sebesar 21,07 nm. Sel surya menghasilkan voltase rata-rata 240,93 mV dengan densitas arus rata-rata 7,34 mA/cm² pada sinar ultraviolet dan iluminasi sinar tungsten menghasilkan voltase rata-rata 166,20 mV dengan densitas arus rata-rata sebesar 5,48 mA/cm². Efisiensi sel surya dilakukan pada iluminasi lampu LED 7 W yang intensitasnya dikalibrasi dengan *silicon solar sel* setara dengan cahaya matahari 1,5 AM (100 mW/cm²) dihasilkan 0,027%.

5. Persantunan

Penulis mengucapkan terimakasih atas terselesaikannya penelitian ini atas support peralatan, bahan dan diskusi pada Laboratorium Kimia Analitik dan Departemen Kimia FSM Universitas Diponegoro.

6. Daftar Pustaka

- [1] Fengshou Tian, Yanli Liu, Synthesis of p-type NiO/n-type ZnO heterostructure and its enhanced photocatalytic activity, *Scripta Materialia*, 69, 5, (2013) 417-419 <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2013.05.040>
- [2] R. Karsthof, P. Racke, H. von Wenckstern, M. Grundmann, Semi-transparent NiO/ZnO UV photovoltaic cells, *physica status solidi (a)*, 213, 1, (2016) 30-37 <http://doi.org/10.1002/pssa.201532625>
- [3] Yanli Liu, Guizhi Li, Riding Mi, Congkun Deng, Pengzhao Gao, An environment-benign method for the synthesis of p-NiO/n-ZnO heterostructure with excellent performance for gas sensing and photocatalysis, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 191, (2014) 537-544 <https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.10.068>
- [4] Giovanni Zangari, Electrodeposition of Alloys and Compounds in the Era of Microelectronics and Energy Conversion Technology, *Coatings*, 5, 2, (2015) 195
- [5] S. Thanikaikarasan, T. Mahalingam, Influence of solution pH in electrodeposited iron diselenide thin films, *Journal of Alloys and Compounds*, 511, 1, (2012) 115-122 <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2011.09.003>
- [6] Yanchao Mao, Yongguang Cheng, Junqiao Wang, Hao Yang, Mingyang Li, Jian Chen, Mingju Chao, Yexiang Tong, Erjun Liang, Amorphous NiO electrocatalyst overcoated ZnO nanorod photoanodes for enhanced photoelectrochemical performance, *New Journal of Chemistry*, 40, 1, (2016) 107-112 [10.1039/C5NJ01815C](https://doi.org/10.1039/C5NJ01815C)
- [7] Miao Wang, Xurui Xiao, Xiaowen Zhou, Xueping Li, Yuan Lin, Investigation of PEO-imidazole ionic liquid oligomer electrolytes for dye-sensitized solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, 9, (2007) 785-790 <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2007.01.009>
- [8] Yiyong Wu, Doyon Chang, Dongsoo Kim, Sik-Chol Kwon, Influence of boric acid on the electrodepositing process and structures of Ni-W alloy coating, *Surface and Coatings Technology*, 173, 2, (2003) 259-264 [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(03\)00449-3](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(03)00449-3)
- [9] Mustaqim Mustaqim, Abdul Haris, Gunawan Gunawan, Fabrikasi Dye-Sensitized Solar Cell Menggunakan Fotosensitizer Ekstrak Bunga Rosela (*Hibiscus sabdariffa* L) dan Elektrolit Padat Berbasis PEG (Polyethylene Glycol), *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 20, 2, (2017) 62-67 <http://dx.doi.org/10.14710/jksa.20.2.62-67>
- [10] Joko Suryadi, Gunawan Gunawan, Abdul Haris, Pembuatan dan Penentuan Nilai Efisiensi Sel Surya Berpewarna Tersensitisasi dengan Senyawa Antosianin dari Buah Manggis (*Garcinia mangostana* L.) sebagai Pewarna Pensensitisasi, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 13, 3, (2010) 88-94 <http://dx.doi.org/10.14710/jksa.13.3.88-94>
- [11] Sri Handayani, Gunawan Gunawan, Abdul Haris, Pengaruh Pasta ZnO dengan Penambahan Dish Detergent dan PVA pada Kaca Konduktif terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell dari Ekstrak Bunga Rosela (*Hibiscus sabdariffa* L.), *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 16, 3, (2013) 90-96 <http://dx.doi.org/10.14710/jksa.16.3.90-96>

- [12] Devi Maryani, Gunawan Gunawan, Khabibi Khabibi, Penentuan Efisiensi DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) yang Dibuat dari Semikonduktor ZnO yang diemban Fe³⁺ Melalui Metode Presipitasi, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 15, 1, (2012) 29-35 <https://doi.org/10.14710/jksa.15.1.29-35>