

Studi Awal Fabrikasi Sel Surya Perovskite Berbasis Pb dari Ekstraksi Kawat Solder

Divya Addini M. M.¹, Putri Pratiwi¹, Elisabeth Medina D. S.¹, Fitri A. Permatasari¹, Akfany H. Aimon¹, dan Ferry Iskandar^{1,2,a)}

¹Laboratorium Material Energi dan Lingkungan
Kelompok Keahlian Fisika Material dan Elektronik,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

² Research Center for Nanoscience and Nanotechnology,
Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)}Email : ferry@fi.itb.ac.id

Abstrak

Sel surya perovskite organik-inorganik ($CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$) merupakan salah satu jenis sel surya yang menarik perhatian para peneliti karena biaya fabrikasi yang murah dan efisiensi konversi energi yang terus meningkat. Perovskite $CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$ disintesis dari CH_3NH_3I dan $PbCl_2$ yang dilarutkan pada DMF (Anhydrous N,N-Dimethylformamide). Namun, prekursor berbasis timbal seperti $PbCl_2$ sulit didapatkan di Indonesia sehingga dibutuhkan sumber alternatif lain untuk mendapatkan prekursor tersebut dengan metode sintesis yang sederhana dan murah. Pada penelitian ini, akan dilaporkan sintesis prekursor $PbCl_2$ dengan mengekstraksi timbal dari kawat solder melalui metode pemanasan. Keterbentukan $PbCl_2$ hasil sintesis dari kawat solder dilihat menggunakan X-Ray Diffractometer (XRD) yang menunjukkan kemiripan pola difraksi dengan $PbCl_2$ komersil. Dari hasil uji performa sel surya, didapatkan efisiensi divais sel surya perovskite berbasis timbal dari kawat solder lebih tinggi dibandingkan dengan divais sel surya perovskite komersil, masing-masing sebesar 0,26% dan 0,03%. Sehingga kawat solder dapat digunakan sebagai prekursor $PbCl_2$ yang disintesis dengan metode sederhana untuk diaplikasikan pada sel surya perovskite.

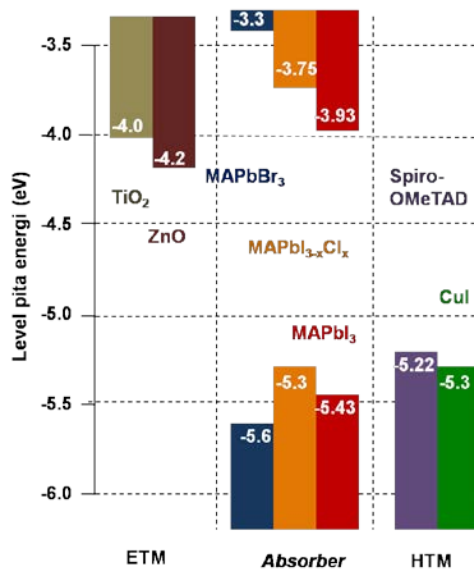
Kata kunci : efisiensi, kawat solder, perovskite.

PENDAHULUAN

Pada beberapa tahun terakhir, teknologi fotovoltaik yang memanfaatkan cahaya matahari semakin dikenal sebagai komponen esensial untuk produksi energi global. Sel surya merupakan divais energi terbarukan yang menjadi salah satu topik riset yang menarik bagi peneliti. Hingga saat ini, sel surya terdiri dari berbagai jenis seperti sel surya berbasis kristal silikon yang sering disebut sebagai generasi pertama sel surya yang mendominasi pasar sel surya di dunia saat ini. Akhir-akhir ini, sebagian penelitian sel surya terfokus pada sel surya generasi ketiga yaitu berbasis organik atau campuran organik-inorganik seperti *dye sensitized solar cells* (DSSC), sel surya perovskite (PSC) dan lainnya[1,2].

Sel surya perovskite memiliki perkembangan efisiensi yang signifikan dalam 5 tahun terakhir dibandingkan dengan sel surya generasi ketiga lainnya[3]. Sel surya perovskite pertama kali dikembangkan pada tahun 2009 oleh Kojima dkk, dengan mengaplikasikan larutan perovskite pada sel fotoelektrokimia dengan efisiensi yang didapat adalah sebesar 3,81%[4]. Stabilitas devais sel surya dengan menggunakan larutan perovskite sangatlah rendah, oleh karena itu pada tahun 2012 Kim H dkk mengganti larutan menjadi padatan perovskite yang kemudian menghasilkan efisiensi yang meningkat hingga menjadi 9.7%[5], hal ini menjadi sel surya perovskite pertama yang dibuat. Setelah itu perkembangan sel surya perovskite menjadi sangat pesat dengan dilakukannya berbagai inovasi baik dalam penggunaan material maupun proses fabrikasi sel surya untuk meningkatkan efisiensinya[6]. Sehingga pada tahun 2015 didapatkan efisiensi tertinggi oleh Seok dkk hingga mencapai 20,1 % [1].

Perovskite adalah nama dari struktur kristal dengan susunan AMX_3 , keadaan A dan M dapat ditempati oleh berbagai kation anorganik. Material perovskite yang umum diaplikasikan pada sel surya adalah material perovskite organohalida, yang merupakan gabungan kation organik seperti $CH_3NH_3^+$ dan kation inorganik seperti Pb^{2+} , Sn^{2+} atau Cu^{2+} , dengan anion yang berasal dari golongan halida[1]. Pada gambar 1, ditunjukkan beberapa material beserta tingkat energinya yang biasa digunakan dalam sel surya perovskite. Dibandingkan dengan 2 jenis perovskite yang lain, $CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$ menunjukkan performa sel surya yang baik dikarenakan ion Cl dapat mengurangi densitas dari $CH_3NH_3^+$ sehingga akan meningkatkan kristalinitas perovskite dan meningkatkan *coverage* film seperti yang ditunjukkan Yu dkk[7]. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan digunakan material penyerap cahaya berupa $CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$ dengan material transfer elektron adalah TiO_2 dan CuI sebagai material transfer hole untuk pengganti spiro-ometad.



Gambar 1. Diagram tingkat energi beberapa material yang digunakan dalam sel surya perovskite[1]

$CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$ sebagai material utama penyusun sel surya perovskite ini membutuhkan bahan utama berupa timbal (Pb). Timbal yang digunakan pada material perovskite pada umumnya berasal dari bijih timbal yang proses ekstraksinya sulit dan berbahaya karena membutuhkan suhu yang sangat tinggi yaitu sekitar 1400°C serta menghasilkan gas rumah kaca dan uap yang berbahaya sebagai sampingannya[8]. Karena proses ekstraksi yang sulit, material yang mengandung timbal seperti $PbCl_2$ tidak banyak beredar dan sulit didapatkan di Indonesia. Oleh karena itu, dibutuhkan sumber alternatif lain untuk menghasilkan timbal dengan ekstraksi mudah dan tidak berbahaya. Salah satu solusinya adalah dengan mengekstraksi Pb dari kawat solder yang merupakan salah satu bahan yang terususun atas 40% Pb dan 60% Sn yang mudah didapatkan di Indonesia dengan harga yang relatif murah. Ekstraksi Pb dari kawat solder ini dapat dilakukan karena memiliki proses yang lebih mudah dan dapat dilakukan pada suhu ruang. Pada penelitian ini dilakukan sintesis perovskite $CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$ berbasis Pb dari kawat solder yang diaplikasikan pada sel surya perovskite.

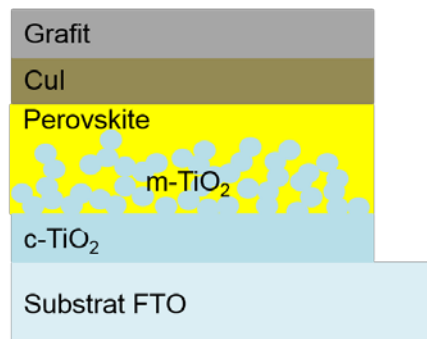
METODE

Persiapan prekursor perovskite

$PbCl_2$ disintesis dengan melarutkan 3 gram kawat solder pada 42 mL HNO_3 (Merck). Dari larutan tersebut, diperoleh larutan $Pb(NO_3)_2$ dan padatan yang harus dipisahkan menggunakan sentrifugasi. Selanjutnya, 30 mL larutan $Pb(NO_3)_2$ direaksikan dengan 4,28 mL NaCl teknis dalam aqua dm yang kemudian akan terbentuk serbuk $PbCl_2$ setelah dikeringkan didalam oven selama 12 jam. Berikutnya, CH_3NH_3I (MAI) disintesis dengan mereaksikan CH_3NH_2 (Sigma Aldrich) dan HI (Sigma Aldrich) pada lingkungan nitrogen atmosfer dan kemudian dievaporasi sehingga terbentuk serbuk MAI berwarna putih. Terakhir, serbuk $PbCl_2$ dan MAI yang telah diperoleh dilarutkan dalam pelarut DMF sehingga dihasilkan larutan perovskite.

Fabrikasi sel surya perovskite

Fabrikasi sel surya perovskite diawali dengan preparasi substrat FTO. Kemudian dilanjutkan dengan pendeposisi *compact* TiO_2 (cp- TiO_2) dan *mesoporous* TiO_2 (mp- TiO_2). Cp- TiO_2 disintesis dengan melarutkan 0,3 mL TTIP (Sigma Aldrich) kedalam campuran 0,1 mL HCl 1M dan 5 mL ethanol absolut (Merck). Cp- TiO_2 sebagai lapisan penghantar elektron dideposisi menggunakan metode *spin-coating* dengan kecepatan putaran 2000 rpm selama 60 s. Proses deposisi dilanjutkan dengan pemanasan sampel didalam furnace pada suhu $500^\circ C$ selama 30 menit. Untuk deposisi mp- TiO_2 , larutan Ti-nanoxide HT-L/SC (Solaronix) dideposisi diatas cp- TiO_2 dan dilanjutkan dengan pemanasan di dalam furnace pada suhu $210^\circ C$ selama 1 jam. Selanjutnya, proses deposisi lapisan perovskite dengan metoda *spin-coating* pada kecepatan rotasi 2000 rpm selama 60 s. Sample yang telah dideposisi lapisan perovskite dipanaskan selama 45 menit sehingga berubah warna menjadi coklat kehitaman. Proses fabrikasi sel surya dilanjutkan dengan deposisi lapisan penghantar hole, sebanyak 0,38 gram serbuk CuI dilarutkan pada 20 mL acetonitrile (Merck) dan dideposisi menggunakan metode *spray-coating*. Pada lapisan terakhir, grafit dideposisikan diatas lapisan CuI dan berperan sebagai elektroda. Berikut ilustrasi konfigurasi lapisan pada sel surya perovskite dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi lapisan pada sel surya perovskite

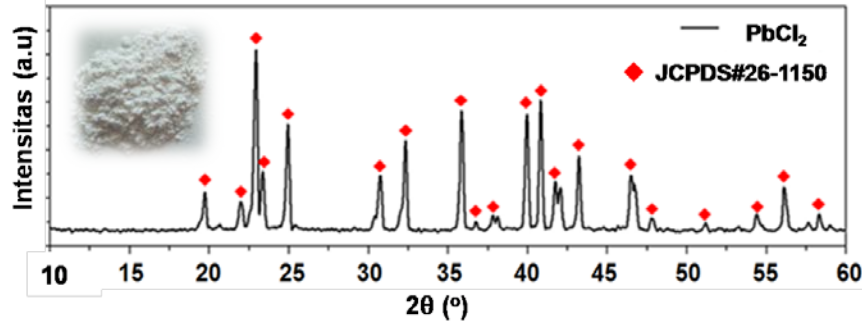
Karakterisasi

Pengujian hasil sintesis prekursor $PbCl_2$ dan MAI dilakukan dengan menggunakan XRD Phillips Analytical PW1710 BASED dengan sumber radiasi $Cu K\alpha$ ($\lambda=1,54\text{\AA}$). Karakterisasi FTIR (Spectrometer Bruker Alpha) dilakukan untuk menentukan ikatan kimia yang terbentuk pada kedua prekursor. Pengukuran UV-Vis (Ocean optic HR2000CG-UV-NIR) dilakukan untuk menentukan transmitansi optik, ketebalan lapisan tipis dan band-gap dari perovskite. Selanjutnya karakterisasi performa sel surya perovskite dengan menggunakan solar simulator (Keithley 237) dengan lampu halogen yang diukur pada AM 1.5G dan intensitas 100 mW/cm^2 .

HASIL DAN ANALISIS

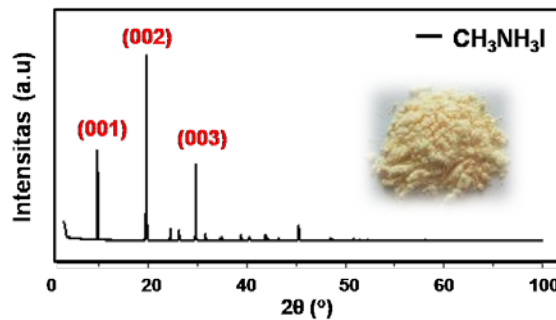
Hasil prekursor yang telah disintesis serta pola XRD yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 3. $PbCl_2$ yang disintesis dari kawat solder memiliki tampilan yang serupa dengan $PbCl_2$ komersil. Pada pola XRD $PbCl_2$ terlihat

puncak-puncak prekursor telah sesuai dengan referensi JCPDS#26-1150[9]. Hasil analisis data XRD diperoleh informasi $PbCl_2$ yang terbentuk memiliki struktur *cotunite* dengan simetri *orthorombic*.



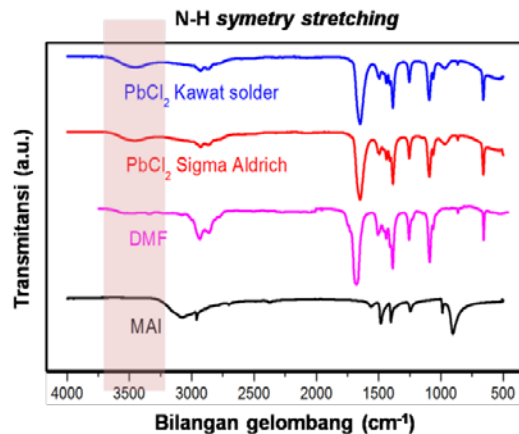
Gambar 3. Hasil karakterisasi XRD pada sintesis prekursor MAI

Hasil sintesis serbuk MAI berwarna putih kekuningan memiliki pola XRD yang ditunjukkan pada gambar 4. Pola XRD yang terbentuk telah sesuai dengan referensi dengan keberadaan sudut-sudut difraksi pada 9.8° (001), 19.7° (002) dan 29.7° (003)[10]. Selanjutnya, MAI yang terbentuk memiliki diameter kristal sebesar 99.6 nm. Berdasarkan hasil tersebut, dapat dikatakan bahwa serbuk $PbCl_2$ yang disintesis dari kawat solder serta serbuk MAI telah berhasil disintesis dan layak digunakan sebagai prekursor pembentuk larutan perovskite.



Gambar 4. Hasil karakterisasi XRD pada sintesis prekursor MAI

Gambar 5 menunjukkan perbandingan transmitansi dari larutan perovskite dengan menggunakan $PbCl_2$ dari kawat solder dan $PbCl_2$ dari sumber Sigma Aldrich, pelarut DMF dan prekursor MAI. Dari perbandingan hasil transmitansi, terlihat puncak-puncak larutan perovskite bersesuaian dengan pelarutnya, yakni DMF. Namun terdapat satu puncak pada bilangan gelombang 3429 cm^{-1} yang bukan merupakan puncak dari DMF. Puncak inilah yang menunjukkan telah terbentuknya perovskite, yaitu ikatan N-H *symmetry stretching*[11].



Gambar 5. Hasil karakterisasi FTIR larutan perovskite dan pelarut

Bandgap merupakan salah satu faktor dalam pemilihan suatu material pada aplikasi sel surya perovskite. Perhitungan bandgap dari suatu material dapat dilakukan dengan memplotting antara energi dengan $(\alpha E)^2$, α merupakan koefisien absorpsi yang didapat dari hasil pengukuran transmitansi menggunakan spektroskopi Uv-vis. Hasil plot kurva tersebut kemudian diekstrapolasi sehingga diperoleh nilai bandgap dari material tersebut. Berdasarkan hasil plot kurva Uv-vis perovskite dengan $PbCl_2$ bersumber dari sigma aldrich diperoleh bandgap sebesar 1.55 eV. Untuk perovskite dengan $PbCl_2$ bersumber dari kawat solder diperoleh bandgap sebesar 1.54 eV. Kedua nilai bandgap tersebut mendekati dengan nilai referensi yang telah ada [12]. Sehingga dapat dikatakan lapisan tipis perovskite yang terbentuk telah memiliki bandgap yang sesuai.

Pengujian performa divais sel surya telah dilakukan dengan menggunakan solar simulator untuk penentuan efisiensi. Saat dilakukan perbandingan kurva karakteristik J-V pada sel surya perovskite dengan prekursor yang berbeda, dapat diketahui bahwa efisiensi sel surya perovskite berbasis kawat solder lebih tinggi, dengan tegangan *open-circuit* (V_{oc}) dan rapat arus *short-circuit* (J_{sc}) yang lebih besar dibandingkan sel surya perovskite yang bersumber dari Sigma Aldrich. Hasil perhitungan kurva karakteristik J-V dapat dilihat pada tabel 1. Dari hasil perhitungan, diperoleh beberapa parameter seperti V_{oc} dan J_{sc} serta *fill factor* (FF) dengan persamaan $FF = \frac{J_m V_m}{J_{sc} V_{oc}}$. Dari nilai yang diperoleh, FF sel surya perovskite dengan $PbCl_2$ dari sigma aldrich sebesar 24.93% dan sel surya perovskite dengan $PbCl_2$ bersumber dari kawat solder sebesar 25%. Sehingga nilai efisiensi atau *power conversion efficiency* (PCE) adalah 0.03% dan 0.26% masing-masing untuk sel surya perovskite dengan $PbCl_2$ bersumber dari Sigma Aldrich dan kawat solder.

Tabel 1. Parameter karakteristik performa divais sel surya perovskite

Divais	$V_{oc}(V)$	$J_{sc}(mA/cm^2)$	FF(%)	PCE(%)
CH ₃ NH ₃ PbI _{3-x} Cl _x Sigma Aldrich	0,16	0,69	24,93	0,03
CH ₃ NH ₃ PbI _{3-x} Cl _x Kawat Solder	0,5	1,75	25,00	0,26

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil disintesis serbuk $PbCl_2$ berbasis Pb dari kawat solder. Selain itu, dari hasil Uv-Vis didapatkan *bandgap* perovskite sebesar 1,54 eV dengan efisiensi sebesar 0.26%. Berdasarkan hasil studi yang dilakukan, kawat solder yang ditemukan di pasaran dapat digunakan sebagai sumber $PbCl_2$ untuk diaplikasikan pada sel surya perovskite.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih untuk dukungan biaya yang digunakan dalam penelitian ini didanai oleh insentif riset SINAS dari kementerian ristek dikti tahun anggaran 2015. Serta kepada bapak Bambang Priambudi yang telah mengizinkan pengukuran performa sel surya menggunakan solar simulator.

REFERENSI

1. Jin Cui, H. Yuan, J. Li, X. Xu, Y. Shen, H. Lin dan M. Wang, 2015, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, **16**, 14
2. F. Iskandar, A. B. Suryamas, M. Kawabe, M. M. Munir, K. Okuyama, T. Tarao, dan T. Nishitani, 2010, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **49**, 010213
3. www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg
4. Kojima A, Teshima K, Shirai Y dan Miyasaka T, 2009, *J. Am. Chem. Soc.*, **131**, 6050-1
5. Kim H-S dkk, 2012, *Sci. Rep.*, **2**, 591
6. P. Noorlaily, M. Ulfa, S. Z. Bisri, dan F. Iskandar, 2014, *Adv. Mat. Research*, **1112**, 282-285
7. Yu-Che H., T. Wu, M. Li, Wei Qin, dan Bin Hu, 2015, *J. Mat. Chem. A*
8. P.Y. Chen, J. Qi, M. T. Klug, X. Dang, P. T. Hammond dan A. M. Belcher, 2014, *Energy & Environmental Science*, **7**, 3659-3665

9. Park, B.-W., 2014, *Chem. Of Mater.*, **26**,4466-4471
10. N. J. Jeon, dkk.,2014,Nature Materials,**13**, 897–903
11. Kouba M., dkk., 2012, Journal of App. Phys.
12. Abrusci A., dkk., 2013, Nano Lett.