ANALISIS PERBANDINGAN *DEVICE* SEMIKONDUKTOR SEL SURYA JENIS WAFER, THIN-FILM, DAN HETERO-JUNCTION

Oleh : Praftiwi Umitri

ABSTRAK : Sinar matahari terdiri dari foton-foton yang membawa energi sebesar $E = h.c/\lambda$. Energi tersebut diubah menjadi energi listrik melalui *device* semikonduktor sel surya yang besarnya sebanding dengan jumlah elektron yang mampu digerakan dalam *device* semikonduktor tersebut. Berdasarkan *device* semikonduktornya terdapat 3 jenis sel surya : sel surya jenis wafer, sel surya jenis lapisan tipis (thin-film), dan sel surya jenis hetero-junction. Ketiganya memiliki perbedaan, kelebihan maupun kekurangan masing-masing.

Sel surya merupakan pembangkit listrik yang mengonversi sinar matahari menjadi arus listrik. Energi matahari sangat menguntungkan karena sifatnya yang berkelanjutan (*sustainable*) dan jumlahnya sangat besar. Matahari merupakan sumber energi yang diharapkan dapat mengatasi permasalahan kebutuhan energi masa depan setelah berbagai sumber energi konvensional berkurang jumlahnya.

Total energi matahari yang sampai di permukaan bumi adalah $2,6 \times 10^{24}$ Joule setiap tahunnya. Energi tersebut yang bisa dikonversi melalui proses fotosintesis di seluruh permukaan bumi mencapai $2,8 \times 10^{21}$ J/tahun. Sedangkan total kebutuhan energi di seluruh dunia mencapai 10 TW atau setara dengan 3×10^{20} J/tahun. Jika melihat jumlah energi yang dibutuhkan dan dibandingkan dengan energi matahari yang tiba di permukaan bumi, maka dapat kita asumsikan dengan menutup 0,05% dari area permukaan bumi (total luas permukaan bumi adalah seluas 5,1 x 108 km^2) dengan solar cell yang memiliki efisiensi 20%, seluruh kebutuhan energi yang ada di bumi dapat terpenuhi.

Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel (dari dualisme sifat cahaya). Foton membawa energi sebesar :

$$E = h.c/\lambda$$

dengan h adalah konstanta Plancks (6.62×10^{-34} J.s) dan c adalah kecepatan cahaya dalam vakum (3.00×10^{8} m/s).

Dengan menggunakan sebuah *device* semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkaian dioda tipe p dan n, cahaya yang datang akan mampu diubah menjadi energi listrik yang

sebanding dengan laju pembentukan electron dan hole sebesar :

$$G = \alpha N e^{-\alpha x}$$

α koef.absobsi, N intensitas foton, dan X jarak tempuh foton.

Device semikonduktor sel surya mengalami perkembangan dari waktu ke waktu untuk mendapatkan divais sel surya yang memiliki efisiensi tinggi serta murah dan mudah dalam pembuatannya.

Silikon merupakan bahan yang terbanyak dipakai dalam fabrikasi *device* semikonduktor ini. Silikon merupakan suatu unsur yang banyak terdapat di alam. Untuk pemakaian sebagai semikonduktor, silikon harus dimurnikan hingga suatu tingkat pemurnian yang tinggi sekali yaitu <1 atom pengotor/10^{10} atom silikon. Selain silikon, *device* semikonduktor ini juga umum terbuat dari material aktif lain seperti Galium Arsenida (GaAs), Kadmium Selenium (CdSe), dan masih banyak lainnya. Dengan efisiensi konversi bervariasi mulai dari 8% sampai 40%.

Sel surya generasi pertama adalah jenis wafer (berlapis) silikon. Sel surya jenis ini memiliki ketebalan pada kisaran 180 hingga 240 mikrometer, dan dalam perkembangannya telah mampu mencapai usia aktif mencapai 25 tahun. Jenis ini terbagi lagi menjadi 2 tipe yaitu tipe wafer silikon kristal tunggal dan tipe wafer silikon poli kristal.

Wafer silikon kristal tunggal dalam perkembangannya mampu menghasilkan efisiensi yang tinggi. Namun untuk memproduksi wafer silikon kristal tunggal secara komersial dibutuhkan harga yang sangat tinggi sehingga panel surya menjadi tidak efisien sebagai sumber energi alternatif. Sebagian besar silikon kristal tunggal komersial memiliki efisiensi pada kisaran 16-17%, bahkan wafer silikon sel surya hasil produksi SunPower memiliki efisiensi hingga 20%.

Saat ini hampir sebagian besar panel surya yang beredar di pasar komersial berasal dari screen printing jenis wafer silikon poli kristal. Wafer silikon poli kristal dibuat dengan cara membuat lapisan-lapisan tipis dari batang silikon dengan metode wire-sawing. Harga pembuatan tipe ini lebih murah namun tingkat efisiensinya lebih rendah jika dibandingkan dengan silikon kristal tunggal. Perusahaan yang aktif memproduksi tipe sel surya ini adalah GT Solar, BP, Sharp, dan Kyocera Solar.

Untuk proses pembuatannya, wafer silikon dibuat dari cairan panasnya atau serbuk pasir silikat yang dijadikan kristal silikon silindris yang selanjutnya digergaji membentuk cakram-cakram atau wafer-wafer yang kemudian wafer tersebut diberi

kawat-kawat untuk menghubungkan daerah-daerah N dan P. Wafer-wafer atau sel silikon dipasang dalam sebuah panel yang terdiri atas sebuah bingkai aluminium atau baja tahan karat. Sel-sel itu diberi sambungan listrik dan keseluruhannya dilindungi oleh lapisan kaca atau plastik. Bila sel-sel silikon terkena sinar matahari, maka foton-foton yang jatuh sekita P-N akan menghasilkan pasangan-pasangan hole-elektron. Elektron akan cenderung berjalan ke arah silikon tipe N dan hole akan cenderung berjalan ke arah silikon tipe P. Bila wilayah positif dan negatif ini diberi sambungan listrik maka timbul arus listrik.

Pada sebuah penelitian dijabarkan mengenai pembuatan wafer silikon sebagai devais semikonduktor sel surya. Silikon *grade* semikonduktor diperoleh dari pasir kuarsa SiO_2 setelah melalui proses pemurnian. Proses pemurnian tersebut dengan pemanasan silika terhadap karbon.

$$C_{(padat)} + SiO_{2(padat)} \rightarrow Si_{(cair)} + SiO_{(gas)} + CO_{(gas)}$$

Pemanasan SiO_2 dengan C menghasilkan metallurgical grade silicon (MGS). Pemurnian MGS menghasilkan silicon-bearing gas dari trichlorosilane ($SiHCl_3$).

$$Si\ (padat) + 3HCl\ (gas) \dashrightarrow SiHCl_3\ (gas) + H_2\ (gas) + panas$$

($SiHCl_3$) dan hidrogen bereaksi membentuk silicon grade semikonduktor yang murni (SGS). Silikon yang diperoleh ini berupa polikristal.

$$2SiHCl_3\ (gas) + 2H_2\ (gas) \dashrightarrow 2Si\ (padat) + 6HCl\ (gas).$$

Polikristalin silikon dipecah menjadi gumpalan panjang 1-3 cm dan dibersihkan melalui pencucian dan pengetsaan menggunakan larutan kimia dalam ruang bersih debu. Polisilikon disusun secara teratur disuatu mangkok kuarsa untuk suatu paket berat tertentu tergantung kemampuan mesin. Dtambahkan bahan dopant sesuai perhitungan sesuai resitivitas terencana (tinjau kurva resistivitas-impuritas). Polisilikon dilelehkan menjadi cairan untuk menumbuhkan kristal tunggal, si set pada parameter set proses. Analisis performance bisa menggunakan CFD

Sel surya generasi kedua adalah jenis lapisan tipis (thin film). Tujuan utama dari ide pembuatan jenis ini tentunya untuk mengurangi biaya produksi sel surya. Jenis ini hanya menggunakan < 1% dari bahan baku silikon untuk jenis wafer. Dengan penghematan yang tinggi pada bahan baku tersebut membuat harga per kWh energi yang dibangkitkan menjadi lebih murah.

Metode yang paling sering dipakai dalam pembuatan silikon jenis thin-film adalah dengan PECVD atau *plasma-enhanced chemical vapor deposition* dari gas silane

dan hidrogen. Lapisan yang dibuat dengan metode ini menghasilkan silikon yang tidak memiliki arah orientasi kristal atau yang dikenal sebagai amorphous silikon (non kristal). Metode ini diperkenalkan oleh Spear dan Lacomber pada tahun 1976, dimana lapisan tipis silicon amorf terhidrogenisasi (SiH) ditumbuhkan dengan doping ketidakmurnian

Selain menggunakan material dari silikon, sel surya thin-film juga dibuat dari bahan semikonduktor lainnya yang memiliki efisiensi tinggi seperti Cadmium Telluride (CdTe) dan Copper Indium Gallium Selenide (CIGS). Efisiensi tertinggi saat ini yang bisa dihasilkan oleh sel surya jenis thin-film adalah sebesar 19,5% yakni yang berbahan semikonduktor CIGS.

Pada sebuah penelitian dijabarkan mengenai pembuatan thinfilm devais semikonduktor sel surya berbahan dasar polikristal AgGaSe2. Polikristal ditumbuhkan dengan metoda tungku Bridgmann tegak, dengan memanaskan sampai temperatur 850°C kemudian didinginkan perlahan-lahan sampai temperatur kamar. Didapatkan berupa ingot (batangan) dengan panjang lebih kurang 3 cm dan diameter 13 mm. *komposisi masing masing unsur berat % adalah Ag = 29,3996 %, Ga = 36,8123 % dan Se = 30,29 % (diketahui dari refraksi sinar X).* Untuk penumbuhan polikristal AgGaSe2 pertama-tama masing-masing unsur Ag, Ga dan Se dengan tingkat kemurnian 5N ditimbang sesuai dengan berat atomnya, kemudian dimasukkan kedalam suatu ampul yang terbuat dari kwarsa. Ampul kwarsa divakumkan dengan tingkat kevakuman 10-3 Torr dan kemudian ditutup/dilas untuk kemudian dimasukkan ke dalam tungku Bridgmann tegak.

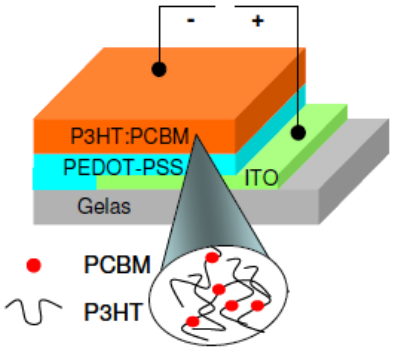
Keunggulan dari jenis thin-film adalah semikonduktornya sebagai lapisan sel surya bisa dideposisi pada substrat yang lentur sehingga menghasilkan divais sel surya yang fleksibel. Namun dominasi pasar bagi jenis thin-film masih jauh dibawah jenis wafer yakni dengan wafer silikon kristal tunggal dan poli kristal mendominasi lebih dari 84% sel surya yang ada dipasaran.

Generasi ketiga dari sel surya adalah jenis hetero-junction yang konsep dasarnya adanya lapisan sebagai donor elektron dan lapisan sebagai akseptor elektron. Berbeda dengan tipe sel surya generasi pertama dan kedua yang menjadikan pembangkitan pasangan electron dan hole dari foton sinar matahari, pada sel surya jenis ini foton yang datang tidak harus menghasilkan pasangan muatan tersebut melainkan membangkitkan exciton. Exciton inilah yang kemudian berdifusi pada dua permukaan bahan konduktor (yang biasanya di rekatkan dengan organik

semikonduktor berada di antara dua keping konduktor) untuk menghasilkan pasangan muatan dan akhirnya menghasilkan efek arus foto (photocurrent).

Dalam penelitian pengembangannya jenis hetero-junction banyak dikaji dengan bahan polimer atau sel surya organik dan sel surya fotoelektrokimia. Sel surya organik dibuat dari bahan semikonduktor organik seperti polyphenylene vinylene dan fullerene. Karena banyak menggunakan bahan polimer, jenis ini terbilang jauh lebih murah namun memiliki masalah dalam hal efisiensi (berada dalam kisaran 10%) dan usia aktif sel yang masih terlalu singkat. Solar sel jenis ini akan mampu memberi pengaruh besar dalam sepuluh tahun ke depan mengingat harga dan proses pembuatannya yang sangat murah.

Pada sebuah penelitian dijabarkan mengenai pembuatan heterojunction devais semikonduktor sel surya berbahan polimer, yaitu dengan P3HT sebagai donor elektron dan metanofuleren (PCBM) sebagai akseptornya serta lapisan titanium sub-oksida (TiO_X) disisipkan di antara lapisan aktif dan lapisan Alumunium. Polimer regioregular poli(3-heksiltiofen) (RR > 90%) dan turunan metanofuleren PCBM diperoleh dari Sigma Aldrich, yang digunakan langsung tanpa purifikasi. Sel-surya dibuat dengan struktur Gelas/ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al, seperti ditunjukkan pada Gambar. Lapisan ITO berfungsi sebagai anoda, lapisan PEDOT:PSS berfungsi sebagai injeksi lubang (*hole*) dan lapisan Al sebagai katoda. Dalam eksperimen tersebut digunakan P3HT dan PCBM dengan rasio 1:1.



Pada penelitian yang menggunakan polimer poli3-heksiltiofen (P3HT) sebagai *device* semikonduktornya tersebut, disebutkan tidak hanya jenis hetero-junction yang bisa dibuat menggunakan polimer namun juga jenis thin-film.

DAFTAR PUSTAKA

http://www.esdm.go.id/berita/artikel/56-artikel/4034-solar-cell-sumber-energi-terbarukan-masa-depan-.html?tmpl=component&print=1&page=

www.sunpowercorp.com

JMEI Jurnal Material dan Energi Indonesia Volume 01, Nomor 01, Tahun 2011, Artikel: Sel Surya Polimer

Suprianto,dkk.STUDI KARAKTERISTIK I-V SEL SURYA p-i-n SILIKON AMORF TERHIDROGENASI (a-Si:H). 2008. ITS

http://www.license.umn.edu/Products/Organic-Photovoltaic-Solar-Cells-using-Graded-Heterojunction-Technology__Z09174.aspx

Laporan Akhir Kumulatif Kegiatan Program Kompetitif LIPI Tahun Anggaran 2007, Judul Penelitian Optimasi Alat Penumbuh Kristal Tunggal Silikon Untuk Divasi Fotonik/Elektronik.