

EFEK FOTOVOLTAIK PADA PERSAMBUNGAN CdS DENGAN CAMPURAN P3HT/KITOSAN

Sitti Yani, Akhiruddin Maddu, Irmansyah

Departemen Fisika, FMIPA Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
sitti.yani@gmail.com

ABSTRAK

Dalam penelitian ini telah dibuat sel fotovoltaik CdS/P3HT-kitosan dengan memberikan variasi doping Boron pada lapisan CdS. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek fotovoltaik pada persambungan CdS/Poly3-heksitiophene-kitosan. Penumbuhan CdS dilakukan dengan metode Chemical Bath Deposition (CBD) sedangkan penumbuhan polimer dengan metode drop casting. Pemberian doping Boron dilakukan dengan penambahan asam borat (H_3BO_3), jumlah penambahan H_3BO_3 sebanyak 4%, 6% dan 8% dari berat $CdCl_2$. Efek fotovoltaik pada persambungan ini selanjutnya diukur respon dinamik dan kestabilan tegangannya dengan menggunakan sensor tegangan. Pengukuran ini sangat penting dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan rangkaian tertutup (V_{oc}) dan time constant () masing-masing sel. Besarnya V_{oc} dari sel fotovoltaik ini berkisar antara 107 – 286 mV. Sel dengan tegangan V_{oc} terbesar dimiliki oleh sel dengan doping 6% dan suhu annealing 200°C. Besarnya time constant tiap sel berkisar antara 2,5 – 43,75 s. Sel dengan time constant terkecil adalah sel dengan doping 4% wt tanpa annealing sebesar 2,5 yang menunjukkan bahwa recovery respon sel ini sangat baik. Berarti bahwa sel ini memiliki hambatan dalam yang kecil.

Kata Kunci: cadmium sulfida, *chemical bath deposition*, efek fotovoltaik, P3HT, kitosan

IPENDAHULUAN

Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi, luar biasa besarnya yaitu mencapai 3×10^{24} Joule per tahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Dengan kata lain, dengan menutup 0,1% saja permukaan bumi dengan piranti sel surya yang memiliki efisiensi 10% sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia saat ini [1].

Penelitian sel surya sangat intensif dilakukan dengan material dan struktur yang sangat bervariasi. Berbagai jenis material semikonduktor diuji karakteristiknya untuk mendapatkan karakter yang sesuai untuk aplikasi sel surya, diantaranya adalah bahan organik. Di lain pihak, pengembangan metode-metode sederhana dalam fabrikasi sel surya banyak dilakukan untuk menekan biaya produksinya.

CdS merupakan bahan semikonduktor logam *chalcogenide* dari senyawa golongan II-IV yang memiliki celah energi sebesar 2,45 eV, material fotokonduktif, indeks bias 2,5 dan termasuk semikonduktor tipe-n [2]. CdS secara luas digunakan untuk sel surya heterojunction CdS/CdTe dan CdS/Cu₂S. Hal ini disebabkan karena CdS memiliki energi celah pita (*bandgap*) menengah, efisiensi konversinya cocok digunakan sebagai bahan sel surya, stabilitas dan biaya produksinya rendah.

Bahan polimer terkonjugasi menunjukkan sifat optoelektronik semikonduktor seperti sifat mekanik dan manfaat yang diharapkan pada bahan polimer [3]. Diantara berbagai jenis sel surya organik, sistem sel surya organik-anorganik hibrid merupakan jenis yang sangat menjanjikan dimana tidak hanya memiliki area *interface* yang luas dimana eksiton, ikatan antara pasangan elektron-hole, yang dapat dipisahkan secara efektif tetapi juga memiliki dua saluran yang terpisah untuk transpor elektron dan hole, yaitu masing-masing semikonduktor nanorod dan lapisan polimer [4].

Metode yang digunakan dalam konstruksi sel surya merupakan metode yang relatif sederhana, tidak membutuhkan peralatan yang canggih, menghasilkan film yang homogen dan mudah dalam pembuatan film tipis semikonduktor, yaitu metode CBD (*Chemical Bath Deposition*) untuk preparasi lapisan tipis CdS [5,6,7,8,9]. Sementara itu digunakan metode *drop coating* untuk deposisi lapisan P3HT-kitosan agar mendapatkan lapisan polimer yang merata pada permukaan CdS.

Tujuan penelitian ini secara khusus adalah mempelajari efek fotovoltaiik pada persambungan CdS dengan Poly3-Hexylthiophene (P3HT)/kitosan.

2METODOLOGI

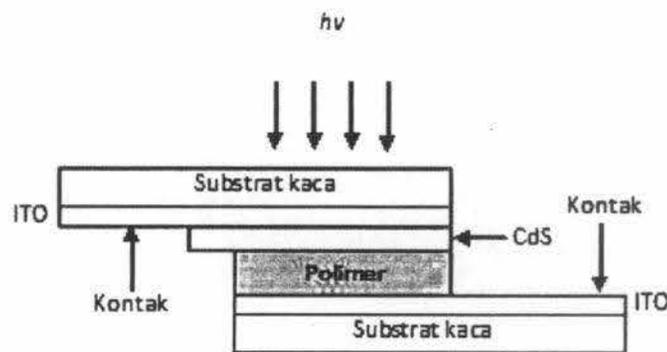
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *hot plate* dilengkapi pengaduk magnetik, tabung reaksi, gelas piala, *furnace*, Interface Scientific Workshop 750 (PASCO), Photometer PMA2200, lampu MHF M1102, gelas ukur dan neraca analitik. Sedangkan bahan yang digunakan adalah kaca TCO, CdCl₂, CS(NH₂)₂, TEA, polietilenglikol (PEG), asam borat (H₃BO₃), kitosan, poly3-hexylthiophene (P3HT), amonium hidroksida (NH₄OH), asam asetat (CH₃COOH), dan akuades.

Film CdS dibuat dengan melarutkan 20 ml CdCl₂ (0,1 M) dicampur dengan 20 ml Thiourea (1 M) di dalam gelas piala 100 ml. Larutan tersebut diletakkan di atas *hot plate* dipanaskan pada suhu 30°C dan diputar pada kelajuan 300 rpm selama 30 menit. 10 mL

NH₄OH (0,1 M) dan 5 ml TEA ditambahkan ke dalam larutan campuran tersebut. Larutan campuran tersebut dipanaskan pada suhu 70°C dan diaduk pada kelajuan 300 rpm selama 1,5 jam. Metode ini diadopsi dari metode CBD yang telah dilakukan oleh Eitssayeam et al. [10] dengan melakukan sedikit modifikasi. Selain itu, dibuat pula film CdS dengan doping Boron dengan menambahkan 4%, 6% dan 8% asam borat (H₃BO₃). Film yang dihasilkan selanjutnya dianil pada suhu 200, 300 dan 400°C.

Polimer campuran P3HT/Kitosan dibuat dari dua larutan. Larutan pertama dibuat dengan mencampurkan kitosan dan PEG masing-masing 2 mg ke dalam gelas piala di atas *hot plate* dan diaduk dengan kecepatan 480 rpm tanpa pemanasan selama 30 menit. Larutan yang terbentuk berwarna bening. Larutan kedua dibuat dengan mencampurkan 3 mg P3HT ke dalam 10 ml kloroform yang diputar dengan kecepatan 400 rpm selama 10 menit. Larutan yang dihasilkan berwarna ungu. Setelah 10 menit, sebanyak 5 ml larutan tersebut dimasukkan ke dalam larutan pertama tanpa menghentikan pengadukan.

Lapisan tipis CdS dideposisikan pada substrat kaca ITO dengan metode CBD, kemudian lapisan tipis P3HT/kitosan dideposisikan di atas permukaan CdS dengan metode *drop casting*. Substrat kaca ITO disisakan sedikit (tanpa lapisan CdS/Polythiophene) untuk tujuan kontak arus. Terakhir dilengkapi lapisan kontak di atas permukaan ITO dan di atas permukaan lapisan P3HT/kitosan (Gambar 1).



Gambar 1 Struktur Junction CdS/P3HT-Kitosan

Respon dinamik dan kestabilan tegangan pada persambungan CdS-P3HT/kitosan diukur dengan menggunakan sensor tegangan yang dihubungkan dengan Interface Scientific Workshop 750 (PASCO). Data diambil dengan menggunakan software DataStudio. Intensitas

cahaya yang diberikan diukur dengan menggunakan photometer PMA2200. Tabel 1 menunjukkan kode sel yang dibuat dengan memvariasikan jumlah doping Boron yang diberikan dan temperatur annealing terhadap film CdS.

3HASIL DAN PEMBAHASAN

Sel surya polimer hibrid menggunakan kombinasi polimer dan bahan semikonduktor anorganik terkonjugasi yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energy listrik. Keuntungan dua bahan dengan sifat elektronik yang merupakan persambungan tipe p dan n sangat penting dalam operasi dari setiap sel surya polimer hibrid karena fotoeksitasi dari polimer terkonjugasi menyediakan ikatan pasangan elektron-hole atau eksiton dibanding muatan bebas. Eksiton ini dapat dipisahkan secara efisien pada *interface* dengan bahan kedua melalui transfer elektron atau *hole* untuk menghasilkan muatan bebas yang dapat membangkitkan efek fotovoltaiik.

Dalam penelitian ini dibuat delapan buah sel surya dengan variasi doping barium (B) pada film CdS dengan juga variasi suhu anil pada film CdS, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

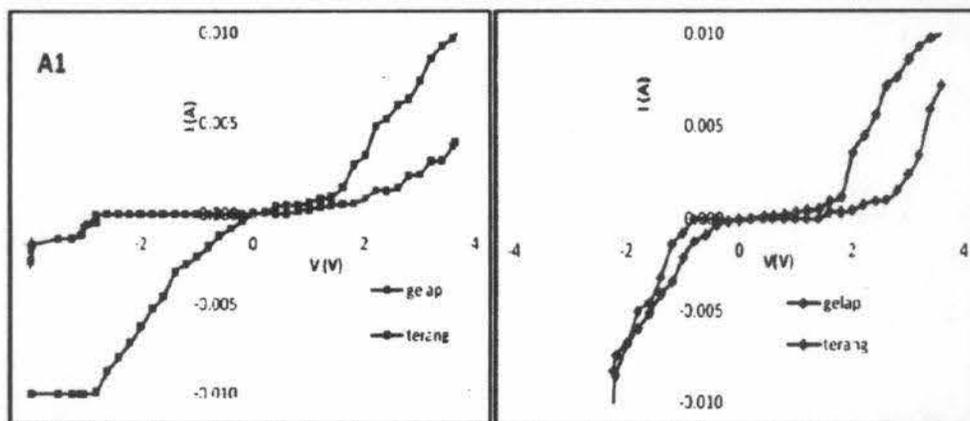
Tabel 1 Kode Sampel Sel CdS/P3HT-Kitosan

Kode Sel	Doping CdS(%)	T annealing CdS(°C)	Kode Sel	Doping CdS (%)	T annealing CdS(°C)
A1		0	C1		0
A2	0	200	C2	6	200
A3		300	C3		300
A4		400	C4		400
B1		0	D1		0
B2	4	200	D2	8	200
B3		300	D3		300
B4		400	D4		400

Gambar 2 menunjukkan kurva arus-tegangan sel A1 dan A2. Gambar ini memperlihatkan distribusi arus-tegangan yang tidak linier dan tidak simetri menunjukkan bahwa pada sel terbentuk potensial penghalang yang dapat menghambat aliran muatan. Kurva ini dapat menjelaskan bahwa pada setiap sel telah terbentuk persambungan (*junction*) yang sangat diharapkan dalam sebuah sel fotovoltaiik baik itu dalam kondisi gelap maupun pada saat disinari.

Kedua sel dalam kondisi gelap menunjukkan kenaikan arus ketika diberikan panjar maju hal ini dikarenakan daerah deplesi pada persambungan akan mengalami penyempitan sehingga elektron yang sangat berkontribusi terhadap arus yang dihasilkan dapat mengalir dengan mudah. Pada saat itu, sel diberikan tambahan tegangan eksternal yaitu 0 - 4 volt. Ketika diberikan panjar mundur (-4 - 0 Volt), potensial penghalang sel akan semakin besar sehingga muatan-muatan pembawa tidak dapat mengalir. Dalam keadaan itu, arus yang dihasilkan mendekati nol. Namun, pada tegangan yang lebih kecil, akan terjadi kebocoran arus.

Adanya penyinaran oleh cahaya pada permukaan sel akan meningkatkan pasangan elektron-hole pada daerah persambungan CdS/Polimer. Pasangan elektron-hole ini akan terpisah akibat adanya medan listrik yang selanjutnya akan berkontribusi terhadap peningkatan arus foto sehingga dari Gambar 2, terlihat adanya peningkatan arus ketika sel disinari dibandingkan pada kondisi gelap. Oleh karena itu sel yang dibuat bersifat fotovoltaiik.



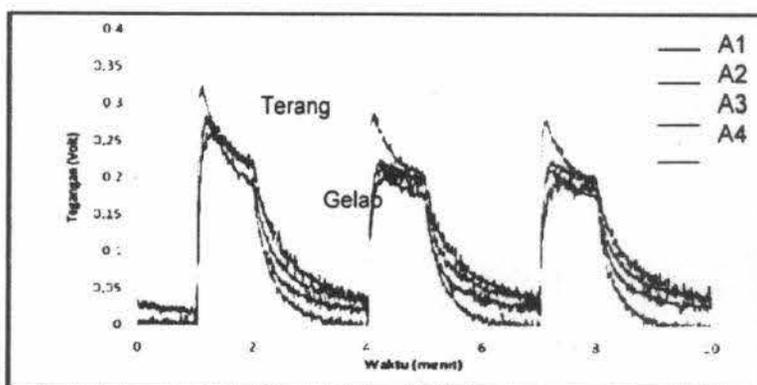
Gambar 2 Kurva karakteristik arus(I)-tegangan(V) sel A1 dan A2

Respon dinamik sel terhadap cahaya ditunjukkan pada Gambar 3. Pada gambar terlihat bahwa karakteristik tiap sel berbeda-beda. Besarnya intensitas cahaya yang diberikan sebesar $71,8 \text{ W/m}^2$. Sel A4 menunjukkan sensitivitas yang lebih baik dibandingkan dengan sel A1, A2 dan A3. Perbedaan sensitivitas ini dapat disebabkan oleh perbedaan karakteristik sel dalam merespon cahaya. Sel yang tingkat sensitivitasnya rendah hanya dapat merespon cahaya jika cahaya yang mengenainya memiliki intensitas yang tinggi. Hal ini juga dapat disebabkan oleh sedikitnya eksiton yang dibangkitkan dan sedikitnya jumlah muatan yang

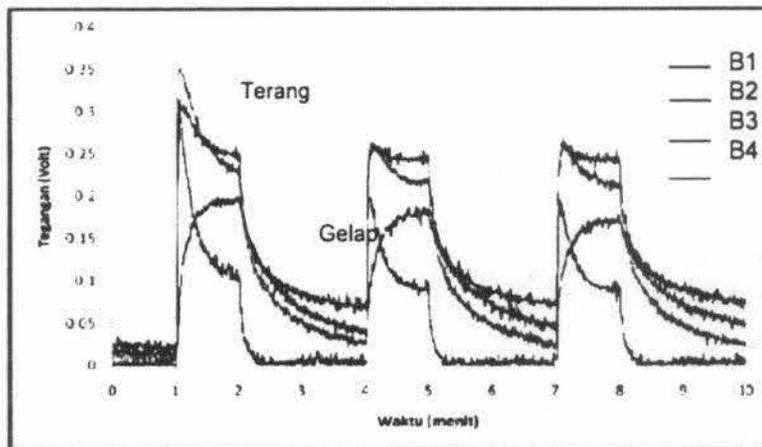
sampai pada elektroda ketika sel disinari dengan cahaya yang intensitasnya rendah. Sedikitnya muatan yang sampai di elektroda disebabkan tebalnya film yang lebih panjang dari panjang lintasan difusi muatan sehingga banyak muatan yang berekombinasi sebelum sampai di elektroda. Jadi, tebal sel juga mempengaruhi respon dinamik sel.

Berdasarkan kurva respon dinamik (Gambar 3) dapat diketahui seberapa besar tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). Nilai V_{oc} masing-masing sel dapat dilihat pada Tabel 2. Tegangan yang dihasilkan oleh sel tidak menunjukkan stabilitas yang belum baik. Misalnya untuk sel A1, ketika disinari, tegangan V_{oc} mencapai nilai 234 mV. Namun setelah tidak disinari dan selanjutnya disinari lagi, terlihat bahwa V_{oc} yang dihasilkan lebih kecil yakni sebesar 196 mV saja. Sedangkan respon dinamik untuk sel B1, B2 B3 dan B4 diperlihatkan pada Gambar 4.

Besarnya respon dinamik sel juga dapat dilihat dari konstanta waktu, jika sel dianalogikan sebagai kapasitor. Tabel 2 juga menunjukkan konstanta waktu tiap sel. Besarnya konstanta waktu sel dapat pula dilihat dari lambatnya penurunan tegangan ketika penyinaran dihentikan.



Gambar 3 Respon dinamik dan kestabilan tegangan sel A1, A2, A3 dan A4 terhadap cahaya

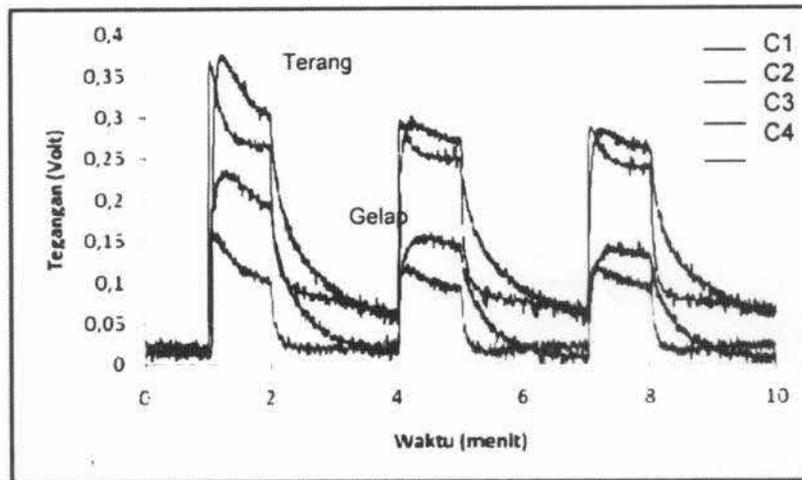


Gambar4 Respon dinamik dan kestabilan tegangan sel B1, B2, B3 dan B4 terhadap cahaya

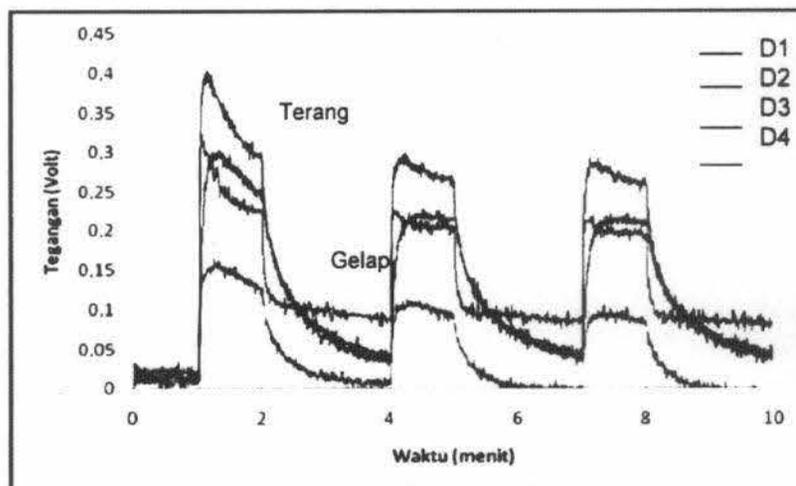
Dari kurva dinamik terlihat bahwa sel B4 mempunyai nilai V_{oc} yang lebih besar dibanding sel yang lainnya. Sedangkan konstanta waktu yang paling baik dimiliki oleh sel B1. Hal ini berarti bahwa sel ini merespon cahaya datang dengan baik walaupun terlihat bahwa sel ini memiliki V_{oc} yang lebih kecil. Kecilnya konstanta waktu *recovery response* mempercepat penurunan tegangan ketika penyinaran dihentikan. Sel B2 merupakan sel yang memiliki konstanta waktu yang paling besar yang berarti bahwa sel ini menunjukkan respon yang kurang baik terhadap cahaya. Gambar 5 menunjukkan respon dinamik dan kestabilan tegangan sel C1, C2, C3 dan C4 terhadap cahaya.

Parameter fotovoltaik yang diamati terutama nilai tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) sangat dipengaruhi oleh struktur selnya masing-masing. Lapisan polimer yang terlalu tebal dapat meningkatkan hambatan dalam sel. Peningkatan hambatan ini berarti penurunan konduktivitas sel yang mempengaruhi mobilitas muatan pembawa di dalam sel. Selain itu dapat pula dipengaruhi oleh luas permukaan masing-masing sel.

Ketebalan lapisan polimer yang diteteskan pada tiap sel tidak dapat dikatakan sama untuk semua sel. Walaupun pada saat penetasan dilakukan teknik *drop casting* di mana diharapkan diperoleh ketebalan polimer yang sama untuk semua sel, namun karena polimernya bersifat gel maka terjadi kebocoran pada tepi lapisan. Pengurangan jumlah polimer berarti penurunan jumlah eksiton yang dapat dibangkitkan ketika sel disinari.



Gambar 5 Respon dinamik dan kestabilan tegangan sel C1, C2, C3 dan C4 terhadap cahaya



Gambar 6 Respon dinamik dan kestabilan tegangan sel D1, D2, D3 dan D4 terhadap cahaya

Dari Tabel 2 terlihat bahwa sel dengan doping 6% wt dan suhu *annealing* 200 °C memiliki tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) paling besar yakni 286 mV. Sel ini memiliki konstanta waktu sebesar 10,87 detik yang menunjukkan bahwa sel ini memiliki respon cahaya yang baik walaupun tak sebaik sel B1. Sel ini memiliki luas permukaan persambungan yang luas dan morfologi sel yang baik secara kasat mata. Luasnya bidang

interface antara CdS dan polimer berarti semakin banyak pula pasangan elektron-*hole* yang ada sehingga arus dan tegangan yang dihasilkan pun akan semakin banyak.

Celah energi dan konduktifitas CdS merupakan parameter mikroskopik yang mempengaruhi efek fotovoltaiik persambungan CdS/P3HT-Kitosan. Hal ini tidak dapat diketahui secara pasti bagaimana pengaruh morfologi, celah energi dan konduktivitas CdS terhadap mekanisme fotovoltaiik yang terjadi. Pada saat persambungan CdS/P3HT-Kitosan dikenai cahaya maka elektron pada CdS (tipe-n), persambungan dan pada P3HT-Kitosan terjadi eksitasi elektron jika energi foton yang mengenai sel tersebut lebih besar dari celah energi pada tiap bagian tersebut. Walaupun CdS sendiri secara khusus berfungsi sebagai *window layer* dan penyedia level energi bagi elektron namun CdS harus memiliki mobilitas elektron yang tinggi yang berkaitan erat dengan konduktivitas.

Tabel 2 Nilai V_{oc} dan Konstanta Waktu Tiap Sel CdS/P3HT-Kitosan

Sampel	V_{oc} (mV)	τ (RC) (detik)	Sampel	V_{oc} (mV)	τ (RC) (detik)
A1	196	37,5	C1	155	19,8
A2	189	20,3	C2	286	22,6
A3	206	25,7	C3	262	20,7
A4	221	11,9	C4	110	5,4
B1	117	2,5	D1	278	20,4
B2	193	38,1	D2	220	26,3
B3	266	43,57	D3	203	15,5
B4	231	31,1	D4	107	10,97

Karena konduktansi sebanding dengan konduktifitas maka bahan yang memiliki konduktansi yang tinggi akan memiliki mobilitas elektron/*hole* yang tinggi pula. Bahan dengan konduktifitas yang tinggi berarti memiliki kemampuan yang tinggi juga untuk mengalirkan elektron/*hole* di dalam bahan tersebut. Jadi secara mikroskopik, baik celah energi maupun konduktansi/resistansi CdS mempengaruhi parameter makroskopik efek fotovoltaiik persambungan dua tipe semikonduktor yang berbeda. Secara teori kedua hal ini sebanding dengan tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). Namun dalam penelitian ini tidak terlihat dengan jelas hubungan tersebut karena ketidak konsistenan dalam tiap pengukuran. Hal ini dapat diatasi dengan penggunaan luas permukaan ITO yang sama, *spacer* (untuk mencegah kebocoran polimer) dan sumber cahaya yang tidak *mobile* sehingga intensitas cahaya yang diberikan terhadap semua sel, sama.

4KESIMPULAN DAN SARAN

Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) pada persambungan CdS/P3HT-kitosan terbesar terjadi pada sel B3 (sel dengan doping 4% wt Boron, temperatur *annealing* 300°C). Hal ini disebabkan oleh sel ini mempunyai permukaan yang luas dan morfologi selnya sangat baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gratzel, M. 2003. Review Dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 4:145–153.
- [2] Hiie J, Dedova T, Valdna V, Muska K. 2006. Comparative Study of Nano-Structured CdS Thin Films Prepared by CBD and Spray Pyrolysis: Annealing Effect. *Thin Solid Films* 511–512:443–447.
- [3] Kietzke T. 2007. Review Article Recent Advances in Organic Solar Cells. *Advances in Optoelectronics*; Article ID 40285:1-15.
- [4] Kang Y, Kim D. 2005. Well-Aligned CdS Nanorod/Conjugated Polymer Solar Cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 90:166–174.
- [5] Khallaf H, Chai G, Lupan O, Chow L, Park S, Schulte A. 2008. Investigation of Aluminium and Indium *in situ* Doping of Chemical Bath Deposited CdS Thin Films. *J. Phys. D: Appl. Phys* 41:185304.
- [6] Cetinorgu E, Gumus C, Esen R. 2006. Effects of Deposition Time and Temperature on The Optical Properties of Air-Annealed Chemical Bath Deposited CdS Films. *Thin Solid Films* 515:1688–1693.
- [7] Khallaf H, Chai G, Lupan O, Chow L, Heinrich H, Park S, Schulte, A. 2009. In-situ Boron Doping of Chemical-Bath Deposited CdS Thin Films. *Hys. Status Solidi* 206(2):256–262.
- [8] Metin H, Sat F, Erat S, Ari M. 2008. Cadmium Sulphide Thin Films Grown by CBD: The Effect of Thermal Annealing on The Structural, Electrical and Optical Properties. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* 10(10):2622–2630.
- [9] Zhou X, Li Z, Xu S. 2008. Preparation and Formation Mechanism of CdS Nano-Films Via Chemical Bath Deposition. *Front. Chem. China* 3(1):18–22.
- [10] Eitssayeam S, Inthatha U, Pengpat K, Tunkasiri T. 2005. Properties of CdS:Ni Films Prepared By Chemical Bath Deposition Method. *Journal of Materials Science* 40:3803–3807.