

Homogenitas Ketebalan, Konduktivitas Listrik dan *Band Gap* Lapisan Tipis a-Si:H tipe-p dan tipe-p Doping Delta yang dideposisi dengan Sistem PECVD

Enny Kusumawati* dan Eddy Yahya
 Jurusan Fisika-FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 61111

Intisari

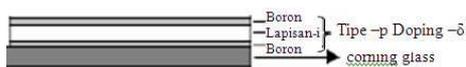
Telah berhasil dideposisi lapisan tipis a-Si:H tipe p-biasa dan tipe p-delta menggunakan PECVD dengan pada temperatur 270°C, tekanan 530mTorr, Laju gas SiH4 = 20 sccm, H2 = 70 sccm, B2H6 = 2 sccm. Lapisan p-delta berstruktur p-i-p menghasilkan ketebalan rata-rata p-delta 198,7 nm dan rata-rata p-tipis 89,7 nm. Sampel dibiarkan dalam ruangan terbuka sehingga warna permukaan sampel tidak homogen. Ketidak-homogenan sampel diuji melalui ketebalan menggunakan ellipsometer dan diamati perubahan band gap menggunakan UV-Vis serta pengukuran konduktivitas dengan metode coplanar kemudian dilihat perbandingan kedua besaran tersebut pada lapisan p-biasa dengan p-delta. Hasilnya, ketebalan lapisan p-biasa cenderung homogen yakni 98,8nm, sedangkan lapisan p-delta bervariasi antara 165,1 - 219,7 nm. Pengukuran *band gap* cenderung homogen dengan nilai tertinggi 1,60 eV untuk tipe p-biasa dan 1,74 eV untuk tipe p-delta. Pengukuran konduktivitas listrik juga cenderung homogen dengan konduktivitas tertinggi saat gelap dan saat terang berturut-turut 0,71 S/cm dan 1,01 S/cm untuk struktur p-biasa serta 0,39 S/cm dan 0,35 S/cm untuk struktur p-delta.

KATA KUNCI: struktur p-delta, PECVD, ketebalan lapisan, *band gap*

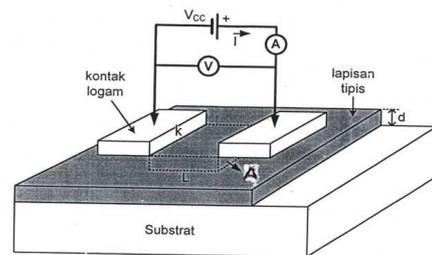
I. PENDAHULUAN

Lapisan-p pada sel surya p-i-n a-Si:H sangat berpengaruh terhadap efisiensi karena berfungsi sebagai lapisan depan penerima cahaya. Sebagai lapisan penerima cahaya, lapisan-p harus bersifat transparan sehingga foton yang masuk semakin banyak, yang berarti konsentrasi pembawa meningkat. Agar lapisan-p bersifat transparan dan mampu meningkatkan konsentrasi pembawa muatan, ditambahkan lapisan-i pada tengah-tengah lapisan-p yang dibuat lebih tipis [1]. Struktur baru ini dikenal dengan doping delta lapisan-p atau biasa disebut lapisan p-delta. Dengan ditambahnya lapisan-i pada tengah-tengah lapisan-p tipis, dangling bond semakin berkurang dan lapisan menjadi lebih transparan sehingga prosentase foton yang sampai pada lapisan intrinsik meningkat. Skema lapisan tipis a-Si:H tipe-p dengan doping delta tampak pada Gambar 1.

Ketahanan lapisan tipis terhadap perubahan pengaruh lingkungan luar juga merupakan hal penting untuk diteliti pengaruhnya. Pada kenyataannya warna lapisan tipis berubah



Gambar 1: Lapisan P-Delta di Atas Substrat Corning Glass



Gambar 2: Skema Pengukuran Konduktivitas Dengan Metode Coplanar

setelah sampel diletakkan di ruang terbuka. Diduga perubahan sampel juga diikuti dengan perubahan ketebalan lapisan, *band gap* dan konduktivitas bahan. Oleh karena itu perlu diteliti lebih lanjut tentang pengaruh perubahan fisik yang tampak pada lapisan tipis terhadap *band gap* dan konduktivitas lapisan a-Si:H tipe p-biasa dan tipe-p delta hasil deposisi PECVD.

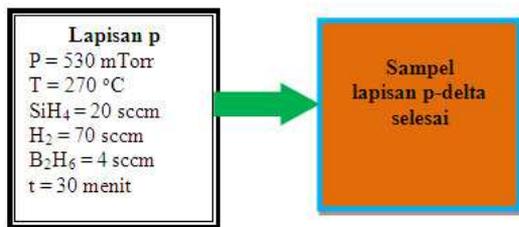
Pengukuran konduktivitas dengan metode coplanar dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\sigma_d = \frac{I}{V} \frac{L}{kd} \tag{1}$$

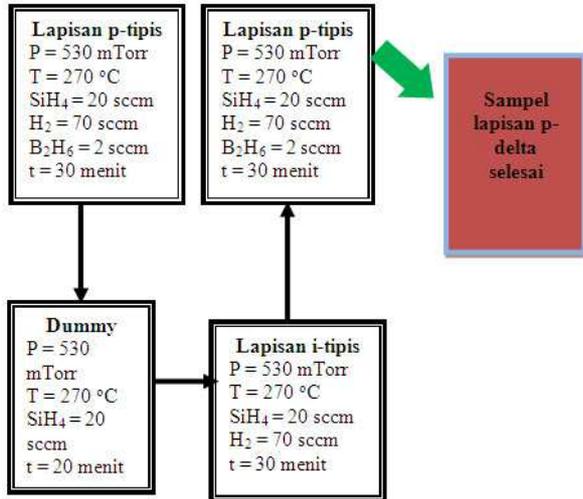
dengan V adalah tegangan yang diberikan, I adalah kuat arus, L adalah jarak antara elektrode, k adalah panjang elektrode dan d adalah ketebalan lapisan tipis. Skema pengukuran dengan metode coplanar dapat dilihat pada Gambar 2.

Transparansi suatu lapisan dapat digambarkan secara kuantitatif dengan besarnya celah pita energi lapisan tersebut. Metode perhitungan celah pita energi lapisan a-Si:H den-

*E-MAIL: enny09@mhs.physics.its.ac.id



Gambar 3: Proses Deposisi Lapisan a-S:H Tipe p-Biasa



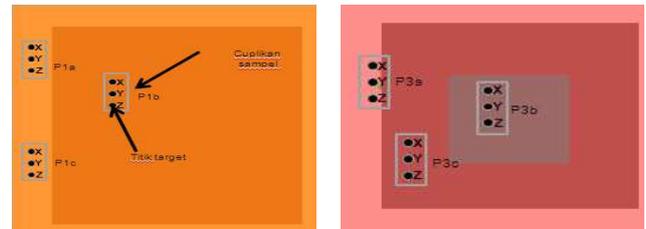
Gambar 4: Proses Deposisi Lapisan a-Si:H Tipe p-Delta

gan metode Touch Plot dengan cara menarik garis secara ekstrapolasi pada daerah linier dari grafik hubungan antara dengan hingga memotong sumbu energi [2]. Perpotongan hasil ekstrapolasi dengan sumbu energi inilah yang menunjukkan celah pita optik.

II. EKSPERIMEN

Tahap awal pembuatan sampel adalah mempersiapkan substrat *corning eagle* yaitu dipotong 10 x 10 cm² dan dibersihkan dengan alkohol. Pada Gambar 3 dan 4, variabel deposisi meliputi tekanan, laju gas, dan temperatur diinput pada panel kontrol, selanjutnya sampel dimasukkan dalam *chamber*. Pada lapisan tipe p-biasa, sampel hanya masuk PL3 sebanyak satu kali. Sedangkan untuk lapisan p-delta, setelah deposisi lapisan p, sampel harus dikeluarkan dari PL3 untuk menghindari kontaminasi pengotor pada deposisi lapisan intrinsik dengan *dummy* [3]. Saat sampel dikeluarkan dari PL3, PL3 dilapisi dengan lapisan intrinsik dengan mengalirkan gas silan.

Setelah sampel lapisan a-Si:H tipe p-biasa dan tipe p-delta selesai, sampel disimpan dalam ruangan terbuka sehingga terjadi perubahan kehomogenan warna pada permukaan sampel. Setiap daerah berbeda warna dicuplik untuk diukur ketebalannya dengan ellipsometer. Gambar perubahan warna pada serta pemilihan daerah cuplikan tampak pada Gambar 5.



(a)Lapisan p-Biasa

(b)Lapisan p-Delta

Gambar 5: Perubahan Warna Lapisan Serta Pemilihan Daerah Cuplikan.

TABEL I: Sampel Lapisan Tipis Tipe P-Biasa, Sudut 70°, Waktu Deposisi Lapisan P 30 Menit

No.	Target	Ketebalan cuplikan sampel(nm)		
		P1a	P1b	P1c
1	X	98,7	98,7	98,7
2	Y	98,8	98,7	98,7
3	Z	99,0	98,5	98,8
rata-rata		98,8	98,6	98,7

Sampel dikarakterisasi dengan metode coplanar untuk menentukan konduktivitas listrik di setiap titik target pada cuplikan sampel seperti tampak pada Gambar 5. Penentuan *band gap* menggunakan data absorbansi spektrometer UV-Vis dengan panjang gelombang 200-900 nm.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel I terlihat lapisan-p a-Si:H memiliki ketebalan rata-rata sekitar 9.87×10^{-6} cm. Sedangkan pada Tabel II menunjukkan variasi perbedaan ketebalan yang cukup besar dengan selisih $\approx 20-30$ nm.

Sesuai pengamatan dengan mata telanjang dan melalui pengukuran manual bahwa lapisan p-biasa memiliki kehomogenan warna permukaan 80% dari luas sampel sedangkan lapisan p-delta sekitar 30% dari luas sampel. Hal ini diduga terjadi karena proses deposisi pada lapisan-p delta yang keluar-masuk PL3 sebanyak tiga kali sehingga kuat ikatan pada daerah *interface* mudah rusak yang ditandai dengan degradasi warna setelah sampel diletakkan di ruang terbuka. Selain itu degradasi warna dimulai dari bagian tepi sam-

TABEL II: Sampel Lapisan Tipis Tipe p-Delta, Sudut 70°, Waktu Deposisi Lapisan p-Tipis 10 menit, Lapisan-i Tipis 30 menit

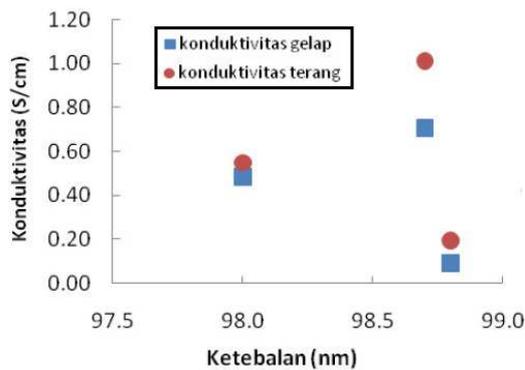
No.	Target	Ketebalan cuplikan sampel(nm)		
		P3a	P3b	P3c
1	X	159,0	219,8	167,9
2	Y	219,0	220,0	162,0
3	Z	218,0	220,0	165,0
rata-rata		198,7	219,7	165,1

TABEL III: Hasil Perhitungan Konduktivitas Gelap dan Fotokonduktivitas Lapisan Tipis a-Si:H Tipe p-Biasa

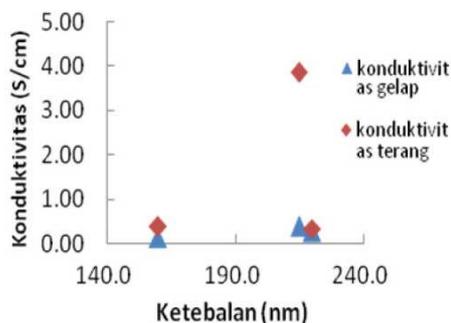
Variabel Terkait	P1a		P1b		P1c	
	Gelap	Terang	Gelap	Terang	Gelap	Terang
$\frac{1}{R} (\times 10^{-7})$	0,88	1,93	4,75	5,38	7,00	10,00
$R (\Omega \times 10^6)$	11,40	5,18	2,11	1,86	1,43	1,00
Tebal lapisan	98,8	98,8	98,0	98,0	98,7	98,7
diameter (cm)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$A (\times 10^{-7} cm^2)$	9,88	9,88	9,80	9,80	9,87	9,87
L (cm)	1	1	1	1	1	1
resistivitas ($\Omega.cm$)	11,20	5,12	2,06	1,82	1,41	0,99
Konduktivitas ($\times 10^{-2} S/cm$)	8,9	19,5	48,5	54,9	70,9	101,0

TABEL IV: Hasil perhitungan Konduktivitas Gelap dan Fotokonduktivitas Lapisan Tipis a-Si:H Tipe p-Delta

Variabel Terkait	P3a		P3b		P3c	
	Gelap	Terang	Gelap	Terang	Gelap	Terang
$\frac{1}{R} (\times 10^{-7})$	8,37	82,9	5,68	73,20	2,00	6,00
$R (\Omega \times 10^6)$	1,20	12,10	1,76	1,37	5,00	1,67
tebal lapisan (nm)	215,0	215,0	220,0	220,0	160,0	160,0
diameter (cm)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$A (\times 10^{-7} cm^2)$	2,15	2,15	2,20	2,20	1,60	1,60
L (cm)	1	1	1	1	1	1
resistivitas ($\Omega.cm$)	2,57	0,26	3,87	3,01	8,00	2,67
konduktivitas ($\times 10^{-2} S/cm$)	39	386	26	33	13	36



Gambar 6: Variasi Konduktivitas terhadap Ketebalan pada Lapisan Tipis Tipe p-Biasa



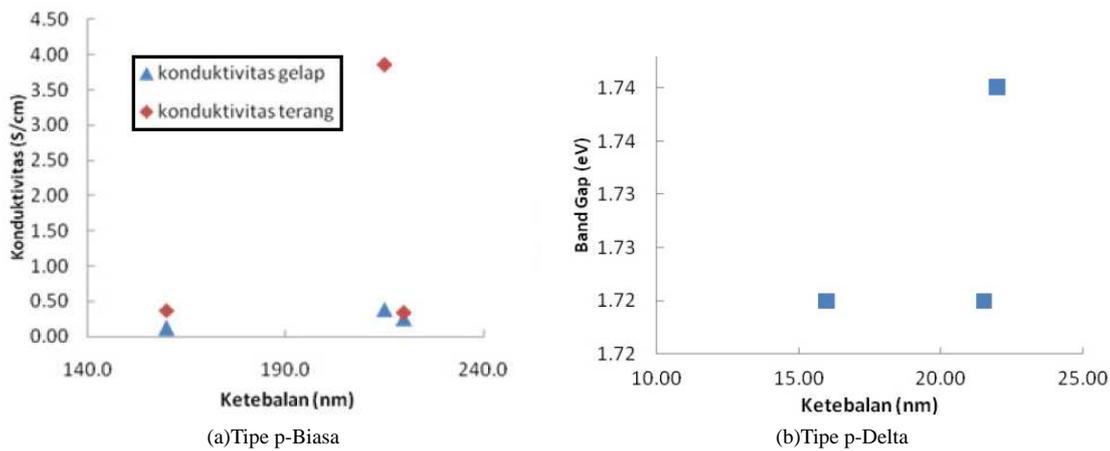
Gambar 7: Variasi Konduktivitas terhadap Ketebalan pada Lapisan Tipis Tipe p-Delta

pel dimana kontak lapisan pada bagian tepi dengan lingkungan luar semakin besar. Akibatnya reaksi kimia dengan lingkungan sekitar lebih cepat terjadi pada daerah tepi. Selain faktor teknis keluar-masuk PL3, kualitas mesin PECVD juga berpengaruh besar terhadap ketebalan lapisan yang dihasilkan. Hal ini ditandai dengan waktu penumbuhan lapisan p-tipis awal dan p-tipis akhir sama yaitu 30 menit, tapi terdapat selisih ketebalan 23,6 nm. Hal tersebut dapat disebabkan oleh plasma yang muncul-hilang-muncul-hilang selama proses deposisi, sehingga laju penumbuhan lapisan tidak stabil. Data ketebalan lapisan selanjutnya digunakan untuk menghitung *band gap* dan konduktivitas lapisan tipis.

Pengukuran konduktivitas dilakukan pada temperatur ruang 25°C dengan penerangan 2080 watt/m² sebagai sumber cahaya untuk mendapatkan konduktivitas terang. Masing-masing sampel dilakukan pengukuran I-V sebanyak 3 kali pada titik target X, Y dan Z. Hasil pengukuran I-V diplotkan sehingga diperoleh kemiringan grafik sebagai nilai $\frac{1}{R}$.

Tabel III dan IV menunjukkan nilai $\frac{1}{R}$ yang digunakan untuk menghitung nilai konduktivitas lapisan tipis tipe p-biasa dan tipe p-delta. Terlihat bahwa fotokonduktivitas lebih tinggi dari konduktivitas gelap. Hal ini terjadi karena pada saat penyinaran elektron mendapatkan energi yang digunakan bergerak menuju pita konduksi sehingga terjadi pasangan hole-elektron [4].

Nilai konduktivitas gelap lapisan tipis P1a, P1b, dan P1c bervariasi disebabkan nilai resistivitas bahan yang bervariasi. Dari segi ketebalan yang relatif sama (98,7 nm) ternyata menghasilkan konduktivitas yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa nilai konduktivitas jenis suatu bahan tidak dipengaruhi oleh faktor ketebalan, melainkan dipengaruhi jenis bahan penyusunnya. Begitu pula dengan kehomogenan



Gambar 8: Pengaruh Ketebalan terhadap *band gap* Lapisan tipis a-Si:H.

TABEL V: Hasil Perhitungan Bandgap Lapisan Tipis Tipe p-Biasa

Variabel	P1a	P1b	P1c
Tebal lapisan (nm)	98,8	98,0	98,7
<i>band gap</i> (eV)	1,5	1,6	1,6

TABEL VI: Hasil Perhitungan Bandgap Lapisan Tipis Tipe p-Delta

Variabel	P3a	P3b	P3c
Tebal lapisan (nm)	215,0	220,0	160,0
Band gap (eV)	1,72	1,74	1,72

warna kepekatan permukaan mencapai 80% untuk lapisan tipis-p biasa. Nilai konduktivitas lapisan-p doping delta tidak signifikan dengan perbedaan ketebalan.

Bila diplotkan data konduktivitas versus ketebalan akan terlihat seperti pada Gambar 6 untuk lapisan tipe p-biasa dan Gambar 7 untuk tipe p-delta. Dari Gambar 6, perubahan ketebalan diikuti dengan perubahan konduktivitas. Namun peningkatan ketebalan tidak sebanding dengan peningkatan konduktivitas. Ketebalan tidak berpengaruh besar terhadap konduktivitas lapisan. Begitupun dengan lapisan tipe p-delta. Konduktivitas tertinggi tipe p-biasa terdapat pada ketebalan 98,7 nm dan tipe p-delta 215,0 nm.

Hasil analisis spektrometer UV-Vis dapat diperoleh nilai *band gap* dengan metode *Tauch Plot*. Tabel V dan VI menunjukkan nilai ketebalan lapisan versus *band gap*. Tabel V dan VI menunjukkan nilai *band gap* yang stabil terhadap perubahan ketebalan lapisan. Lebih jelas terlihat pada Gambar 8. Dari Tabel V dan VI serta Gambar 8 terlihat ketebalan lapisan p-biasa dengan lapisan p-delta tidak berpengaruh

secara signifikan terhadap nilai *band gap* lapisan. Pada lapisan intrinsik, ketebalan lapisan sebanding dengan besar absorpsi [5]. Berbeda dengan lapisan a-Si:H yang diberi pengotor. Ketebalan tidak berpengaruh besar terhadap nilai absorpsi dan *band gap*. Hal ini dikarenakan lapisan p adalah lapisan mati sedangkan lapisan intrinsik adalah lapisan aktif [6] lapisan intrinsik bertindak sebagai daerah deplesi.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa homogenitas ketebalan lapisan p-biasa relatif homogen, rata-rata 98,7 nm. Konduktivitas lapisan p-biasa bervariasi yaitu 0,08; 0,49 dan 0,71 S/cm pada saat gelap dan 0,20; 0,55 dan 1,01 S/cm pada saat terang, dapat disebabkan dari faktor pengukuran dengan I-V meter. Nilai *band gap* lapisan p-biasa relatif homogen yaitu 1,5; 1,6 dan 1,6 eV. Homogenitas ketebalan lapisan p-biasa bervariasi yaitu 198,7; 165,1 dan 19,7 nm. Konduktivitas lapisan p-delta bervariasi yaitu 0,39; 0,26 dan 0,13 S/cm pada saat gelap dan 3,86; 0,33 dan 0,36 S/cm pada saat terang. Nilai *band gap* lapisan p-biasa relatif homogen yaitu 1,72; 1,72 dan 1,74 eV. Konduktivitas lapisan p lebih tinggi dibandingkan konduktivitas lapisan p-delta. *band gap* lapisan p-delta lebih besar dibandingkan lapisan p-biasa. Lapisan p-delta berpotensi untuk digunakan sebagai lapisan muka sel surya p-i-n a-Si:H karena konduktivitas rata-rata yang lebih kecil yaitu 0,26 S/cm dan *band gap* yang lebih lebar yaitu 1,73 eV.

[1] Supu, A., Jurnal Kontribusi Fisika Indonesia, Vol 12 No. 3, hal 75-80 (2001).
 [2] Malago, J.D., Jurnal Aplikasi Fisika, Vol 5, No.1, hal 14-21 (2009).

[3] Kolobov, A. V., *Photo-Induced Metastability in Amorphous Semiconductors* (Weinheim, WILEY-VCH GmbH & Co. KgaA., 2003)

- [4] Yahya, E., *Pembuatan Sel Surya Lapisan Tipis a-Si:H Struktur p-i-n dengan Plasma Chemical Vapor Deposition (PECVD)*, Laporan Penelitian Hibah Bersaing X/2 perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2003, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2003.
- [5] Poortsmans, J. & Vlaadimir, A. , *Thin Film Solar Cells: fabrication, Characterization and Applications* (John Wiley & Sons, 2006).
- [6] Takahashi, K. & Konagai, M., *Amorphous Silicon Solar Cells* (North Oxford Academic, 1986)