

PENGARUH *SURFACE TEXTURING* GERMANIUM (GE) DAN SILIKON (SI) PADA DISAIN SEL SURYA MENGGUNAKAN PROGRAM PCID

Ajeng Widya Roslia¹, Tony Sumaryada¹

¹Bagian Fisika Teori, Departemen Fisika IPB
Jalan Meranti Wing S Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Indonesia
Corresponding email : tsumaryada@ipb.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan *surface texturing* pada disain sel surya ternyata dapat meningkatkan efisiensi sel surya dalam menghasilkan arus listrik tanpa mengubah dan menambahkan banyak parameter dari karakteristik bahan Germanium dan Silikon itu sendiri. Telah dilakukan percobaan menggunakan program PCID dengan nilai dopping yang tepat untuk masing-masing bahan, dan didapatkan nilai efisiensi yang meningkat saat diberikan *surface texturing* pada permukaan lapisan sel surya. Pada germanium didapatkan nilai efisiensi yang mencapai 17.36% pada ketebalan lapisan 3 mikrometer dan sudut 70°. Sedangkan pada silikon didapatkan nilai efisiensi mencapai 11.72% pada ketebalan lapisan 10 mikrometer dan sudut 40°

Keywords : Disain sel surya, efisiensi, *surface texturing*, Germanium, Silicon, PCID

1 PENDAHULUAN

Sumber energi terbarukan dan berkelanjutan seperti sinar matahari, angin, biomassa, gelombang laut, dan lain-lain merupakan harapan dan keharusan bagi kelangsungan hidup umat manusia di masa depan. Sumber-sumber energi tersebut dapat menjamin ketersediaan sumber energi dunia sekaligus mengurangi dampak laju kerusakan lingkungan dan perubahan iklim global. Penelitian yang intensif dan terus menerus untuk menyempurnakan teknologi di bidang energi terbarukan ini adalah mutlak dan perlu dilakukan dan didukung oleh semua pihak.

Energi sinar matahari dimanfaatkan dengan menggunakan panel surya yang terbuat dari material khusus yang dapat menghasilkan arus listrik ketika disinari oleh cahaya matahari. Material yang biasa digunakan dan banyak terdapat di pasaran adalah Silikon. Tingkat efisiensi dari silikon sendiri sebenarnya tidak terlalu tinggi yaitu berkisar dari 7.0 hingga 15 % saja. Namun teknologi pembuatan sel surya

Silikon yang relatif mudah, menjadikan biaya produksinya murah dan memungkinkan produksi panel surya Silikon ini dalam jumlah besar.

Penelitian sel surya saat ini terbagi menjadi dua aliran besar, yaitu penelitian yang bersifat eksperimen (fabrikasi dan karakterisasi) dan penelitian yang bersifat simulasi dan perancangan. Simulasi dilakukan sebagai upaya merancang sel surya dengan melakukan rekayasa baik dari segi parameter intrinsik (*band gap*, *doping concentration* dan lain-lain) maupun parameter ekstrinsik (*texturing*, *concentrator*, *solar spectra*, dan lain-lain). Pada penelitian ini, kami mencoba melakukan perancangan yang sifatnya ekstrinsik yaitu mempelajari pengaruh *surface texturing* terhadap nilai efisiensi dari lapisan sel surya Germanium dan Silikon.

Perancangan yang kami lakukan disini menggunakan program simulasi PC1D yang dikembangkan oleh Basore et al [1,2,3,4]. program ini sangat cocok digunakan untuk material silikon dan germanium, karena memang disain awal dari program ini mulanya dikhususkan untuk kedua bahan tersebut. Sebelum akhirnya dikembangkan untuk material semikonduktor yang lain.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan program simulasi PC1D untuk menghitung efisiensi film tipis Germanium dan Silicon. PC1D adalah suatu program simulasi dengan pendekatan satu dimensi yang dapat mensimulasikan fenomena transport pada bahan semikonduktor. Program tersebut dibangun dari perhitungan *finite element method* dan pertama kali dikembangkan oleh Paul Basore et.al [1,2,3,4] sekitar awal tahun 1990. Program ini awalnya digunakan untuk perancangan sel surya berbasis Silikon dan Germanium, namun pada perkembangannya saat ini banyak digunakan pula untuk perancangan material sel surya hetero junction yang kebanyakan berbasis semikonduktor III-V [5,6]

Untuk menjalankan program PC1D diperlukan input parameter atau nilai masukan awal untuk bahan yang akan digunakan. Parameter awal tersebut antara lain, luas permukaan piranti, sudut tekstur, ketebalan, konstanta dielektrik, celah energi, indeks bias, koefisien serapan, doping tipe N, doping tipe P, sumber cahaya, dan lain-lain. Dalam penelitian ini nilai

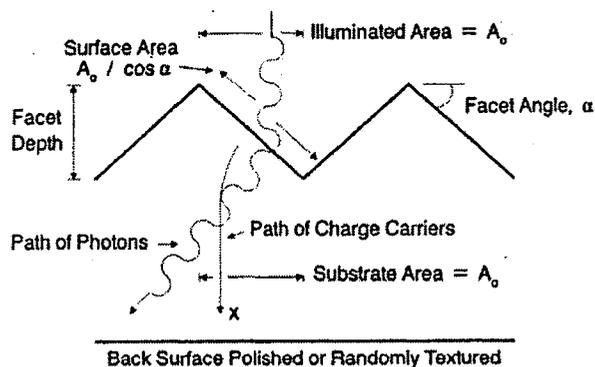
sudut tekstur dan ketebalan bahan akan divariasikan. Tabel.1 menunjukkan beberapa nilai parameter masukan yang digunakan.

Tabel 1. Nilai parameter awal Ge dan Si

Material	Dielectric constant	Band gap energy (eV)	Doping concentration (cm ⁻³)	Carrier type	Incident light intensity (Watt/cm ²)	Temperature (Kelvin)
Ge	16	0.64	10 ¹⁴	n-type	100	300
Si	11.7	1.12	10 ²⁰	p-type	100	300

Variasi sudut tekstur permukaan depan dilakukan dengan cara melakukan *double click* pada kalimat *surface texturing* pada panel PC1D dan mengisi nilai sudut yang dimaksud. Untuk perhitungan banyak sudut, dapat dilakukan dengan menggunakan *Batch Mode* dan mengisi rentang sudut yang diinginkan. Program PC1D akan secara otomatis melakukan simulasi perhitungan arus, tegangan dan daya keluaran dari lapisan sel surya yang digunakan.

Pengaruh *surface texturing* secara umum adalah meningkatkan luasan sel surya yang terekspos sinar matahari. Bila luas permukaan yang disinari tanpa penggunaan sudut tekstur (sudut $\alpha = 0^\circ$) adalah A_0 , dan luas permukaan yang terekspos sinar matahari setelah penteksturan adalah A , maka hubungan A dan A_0 ditunjukkan pada Gambar 1. dan persamaan (1).



Gambar 1. Hubungan antara A_0 dan A . Basore et.al [3]

$$A_0 = A \cos \alpha \quad (1)$$

Nilai efisiensi sel surya secara umum dihitung dengan cara membandingkan daya maksimum keluaran P_m yang dihasilkan dari simulasi dengan daya masukan dari spektrum sinar matahari P_{in} , seperti ditunjukkan pada persamaan (2)

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \quad (2)$$

Untuk nilai P_{in} kita gunakan asumsi intensitas matahari dipermukaan bumi sebesar 0.10 W/cm^2 untuk Si dan Ge.

Pada Gambar 2. Ditampilkan contoh simulasi PC1D menggunakan *Batch Mode* dengan variasi sudut tekstur 10° hingga 80° .

File: D:\penelitian&skripsi\My Project PC1D\PC1D5\ge arc 3mikro.prm
(Double-click to add a description)

DEVICE
 Device area: 1 cm²
 Front surface texture depth: 3 μm
 No surface charge
 No Exterior Front Reflectance
 No Exterior Rear Reflectance
 No internal optical reflectance
 Emitter contact enabled
 Base contact enabled
 No internal shunt elements

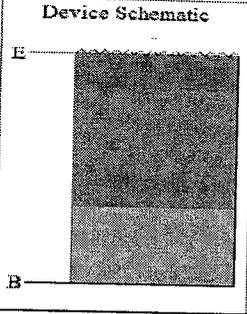
REGION 1
 Thickness: 3 μm
 Material from ge.mat
 Carrier mobilities from internal model
 Dielectric constant: 16
 Band gap: 0.664 eV
 Intrinsic conc. at 300 K: 2.33×10¹³ cm⁻³
 Refractive index from ge.inr
 Absorption coeff. from ge300.abs
 No free carrier absorption
 N-type background doping: 1×10¹⁴ cm⁻³
 1st front diff: P-type, 1×10¹⁷ cm⁻³ peak
 No 2nd front diffusion
 No rear diffusion

Bulk recombination: $\tau_n = \tau_p = 1000 \mu s$
 No Front-surface recombination
 No Rear-surface recombination

EXCITATION
 Excitation modified from one-sun.exe
 Excitation mode: Transient, 16 timesteps
 Temperature: 25°C
 Base circuit: Sweep from -1.5 to 1.5 V
 Collector circuit: Zero
 Primary light source enabled
 Constant intensity: 0.1 W cm⁻²
 Spectrum from am15g.spc
 Secondary light source disabled

RESULTS
 Short-circuit Ib: 0.0514 amps
 Max base power out: 0.0169 watts
 Open-circuit Vb: -0.4074 volts

DEVICE SCHEMATIC



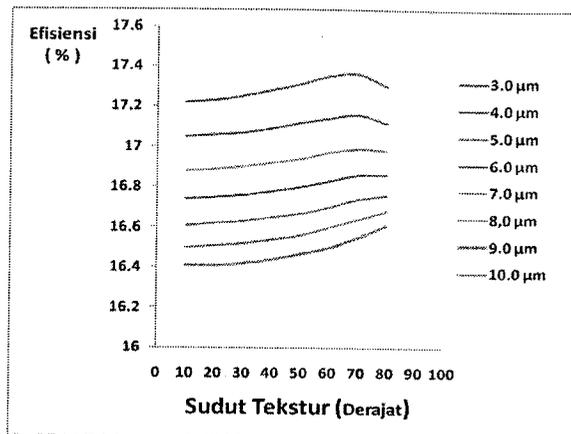
BATCH
 QuickBatch, 8 simulations

Sim #	FrTxAngle	BasePmax	BaseVoc	BaseIsc
1	10	0.01722	-0.4178	0.04955
2	20	0.01722	-0.4176	0.04962
3	30	0.01723	-0.4174	0.04974
4	40	0.01723	-0.417	0.04991
5	50	0.01723	-0.4163	0.05014
6	60	0.01721	-0.4152	0.05044
7	70	0.01713	-0.4129	0.05084
8	80	0.01687	-0.4074	0.05135

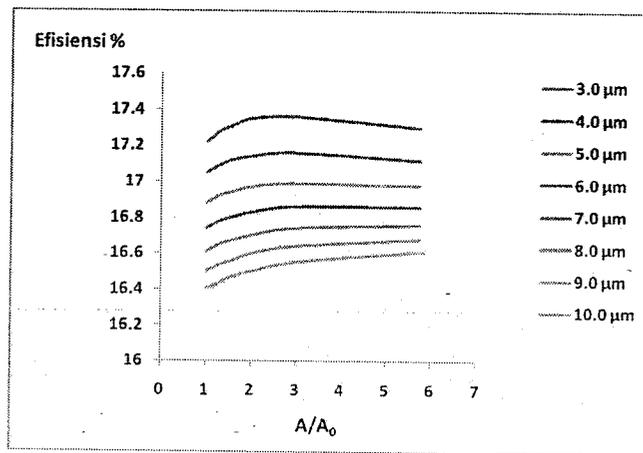
Gambar 2. Contoh Tampilan Simulasi program simulator sel surya PC1D untuk Germanium menggunakan *Batch Mode* dan variasi sudut tekstur atau *surface texturing*.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi untuk lapisan tipis sel surya *Germanium* (Ge) ditampilkan dalam Gambar 3 dan 4. Pada Gambar 1 ditampilkan nilai efisiensi daya keluaran sebagai fungsi dari sudut tekstur muka (*Front Textured Angle*) untuk berbagai macam ketebalan lapisan. Ada dua hal yang dapat diamati di sini, pertama bahwa semakin besar sudut tekstur akan meningkatkan nilai efisiensi daya keluaran. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai efisiensi tertinggi dicapai pada sudut tekstur 70° pada ketebalan lapisan $3.0 \mu\text{m}$. Jika dibandingkan dengan lapisan yang sama dengan sudut tekstur 10° terdapat peningkatan efisiensi sebesar 0.81 %. Ini menunjukkan bahwa secara umum perubahan sudut tekstur tidak berpengaruh banyak pada peningkatan nilai efisiensi dari lapisan sel surya Ge. Yang kedua, kita juga mengamati bahwa semakin tebal lapisan Ge, maka nilai efisiensi akan semakin berkurang. Hal ini selaras dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Tool et.al [7] dimana peningkatan ketebalan lapisan sel surya justru menurunkan nilai efisiensi sel surya. Secara umum pengaruh ketebalan lapisan sel surya akan mempengaruhi mekanisme penjebakan cahaya dan besar energi yang diserap oleh material sel surya tersebut[8]. Pada Gambar 4. Ditampilkan pengaruh variasi perbandingan antara luas permukaan lapisan dengan luas iluminasi terhadap nilai efisiensinya. Terlihat bahwa untuk Ge Variasi sudut semakin berkurang Semakin tebal lapisan maka semakinNilai efisiensi tertinggi diperoleh untuk nilai $A/A_0 = 2.92$ yang sesuai dengan nilai sudut tekstur 70° .



Gambar 3. Nilai efisiensi sebagai fungsi sudut tekstur pada beberapa nilai ketebalan dari lapisan tipis sel surya Germanium (Ge)

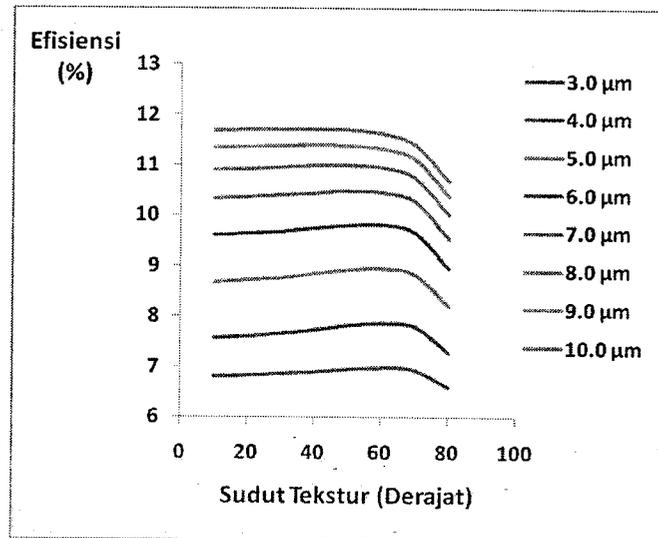


Gambar 4. Nilai efisiensi sebagai fungsi rasio luas permukaan terhadap luas iluminasi pada beberapa nilai ketebalan lapisan tipis sel surya Germanium (Ge).

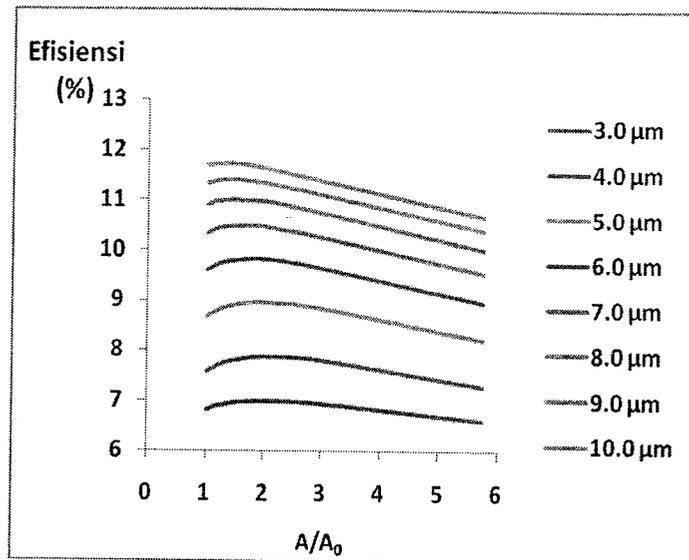
Hasil simulasi untuk Silikon ditampilkan pada Gambar 5 dan 6. Pada Gambar 5 ditunjukkan pengaruh sudut tekstur terhadap nilai efisiensi untuk berbagai macam ketebalan Silikon, terlihat bahwa secara umum terjadi peningkatan yang landai dari nilai efisiensi sel surya hingga sudut sekitar 40° , untuk kemudian jatuh secara linier untuk sudut di atas 40° . Terlihat pula disana pengaruh ketebalan Silikon terhadap nilai efisiensi total sel surya. Semakin tebal lapisan Silikon maka akan semakin besar pula

nilai efisiensinya. Hal ini disebabkan karena semakin tebal lapisan Silikon maka akan semakin banyak pembawa muatan tipe N yang tersedia.

Pada gambar 6 ditunjukkan pengaruh rasio luas permukaan akibat penteksturan dibandingkan dengan luas iluminasi tanpa penteksturan. Efisiensi tertinggi terdapat pada nilai A/A_0 sebesar 1.31 yang sesuai dengan sudut tekstur muka sebesar 40° .



Gambar 5. Nilai efisiensi sebagai fungsi sudut tekstur pada beberapa nilai ketebalan dari lapisan sel surya Silikon (Si).



Gambar 6. Nilai efisiensi sebagai fungsi rasio luas permukaan terhadap luas iluminasi pada beberapa nilai ketebalan lapisan tipis sel surya Silikon (Si).

4 KESIMPULAN

Telah dipelajari pengaruh surface texturing pada material sel surya Germanium dan Silikon menggunakan program PC1D. Pada Germanium dan Silikon kecenderungan yang terjadi adalah semakin besar sudut tekstur maka akan semakin besar pula nilai efisiensi material sel surya, sebelum akhirnya turun kembali setelah mencapai nilai puncak pada sudut 70° .

Kami juga menyimpulkan bahwa satu-satunya faktor yang berbeda dari Germanium dan Silikon dalam penelitian ini adalah ketebalan lapisan. Pada Germanium kecenderungannya adalah semakin tebal lapisan sel surya maka semakin kecil nilai efisiensi sel surya yang diperoleh, sedangkan hal sebaliknya berlaku untuk Silikon.

5. PUSTAKA

- [1] P.A. Basore, D.T. Rover, and A.W. Smith, 1988. "Enhanced Numerical Solar Cell Modelling". 20th IEEE PVSC, Sep 1988, pp.389-396.

- [2] P.A. Basore, 1991. "*PC-1D Version 3: Improved Speed and Convergence*". 22nd IEEE PVSC, Oct 1991, pp.299-302.
- [3] P.A. Basore and D.A. Clugston, 1996. "*PC1D Version 4 for Windows: From Analysis to Design*". 25th IEEE PVSC, May 1996, pp 377-381.
- [4] D. A. Clugston and P.A. Basore, "*Modelling Free carrier Absorption in Solar Cells*", Progress in Photovoltaics, **5**, 229-236
- [5] R. R. King, D. C. Law, K. M. Edmondson, et al., 2007. "*40% efficient metamorphic GaInP/GaInAs/Ge multijunction solar cells,*" Applied Physics Letters, vol. 90, no. 18,
- [6] Allen Barnett et.al, 2007. "*Milestones toward 50% efficient solar cell modules*". 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3-7 September 2007, Milan, Italy
- [7] C.J.J. Tool1, 2004, "*Wafer Thickness, Texture and Performance of Multicrystalline Silicon Solar Cells*", Presented at: 14th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Bangkok, Thailand, 26-30 januari 2004
- [8] Stephen J Fonash, 2010, Solar Cell Device Physics 2nd Edition, Academic Press, USA