

Visualisasi Jalan Optis Cahaya dan Menentukan Refleksi Internal Total pada Lapisan Multi Film Tipis

Ego Srivajawaty Sinaga*¹, Hubertus Ngaderman²

^{1,2}Universitas Cenderawasih

Email: Srivajawati1986@gmail.com

ABSTRACT

Research has been done to visualize the optical path of sunlight on layered thin films. Total internal reflection was also obtained at the end of the study, with conditions where the sunlight entered the layered medium at certain angles. This layered medium is an ideal medium where its properties are homogeneous and isotropic, but this research can also be used as a reference for inhomogeneous and anisotropic media. The purpose of this research is visualization and total internal reflection on layered thin films. Especially for visualization it will be seen the optical paths of light entering the layered medium. To create a visualization, computation is required where the data for several parameters are determined through calculations and the main data is secondary data, namely through experiments. The secondary data is the refractive index of each thin film. The performance of organic solar cells can also be determined if we look at the incident of light returning to the layered medium (total internal reflection). Total internal reflection occurs at an angle of 60° to 90° .

Keywords: Refractive Index; Total Internal Reflection.

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian visualisasi jalan optis cahaya matahari pada film-film tipis berlapis. Refleksi internal total juga didapatkan di akhir penelitian, dengan kondisi dimana cahaya matahari tersebut memasuki medium berlapis pada sudut-sudut tertentu. Medium berlapis ini adalah medium ideal dimana sifatnya adalah homogen dan isotropik, tetapi riset ini bisa dipakai juga sebagai acuan untuk medium-medium yang tidak homogen dan anisotropik. Tujuan penelitian ini adalah visualisasi dan refleksi internal total pada medium film-film tipis berlapis. Khusus untuk visualisasi maka akan terlihat jalan-jalan optis cahaya yang memasuki medium berlapis. Untuk membuat visualisasi diperlukan komputasi dimana data-data untuk beberapa parameter ditentukan lewat perhitungan dan data utama adalah data sekunder yaitu lewat eksperimen. Data sekunder tersebut adalah indeks bias masing-masing film tipis. Performansi sel surya organik juga dapat ditentukan jika kita melihat pada peristiwa kembalinya cahaya pada medium berlapis tersebut (refleksi internal total). Refleksi internal total terjadi pada sudut 60° hingga 90° .

Kata Kunci: Indeks Bias; Refleksi Internal Total.

1. Pendahuluan

Cahaya diperlukan di dalam kehidupan sehari-hari oleh semua makhluk hidup baik manusia, hewan maupun tumbuh-tumbuhan. Cahaya tampak dipancarkan oleh sumbernya contohnya matahari dan bohlam lampu. Cahaya matahari maupun bohlam lampu tersebut bergerak secara radial ke segala arah dengan muka gelombang berbentuk permukaan sferis, sedangkan arah penjalarnya berbentuk tegak lurus pada bidang sferis tersebut yang mengenai permukaan bumi [1].

Cadangan energi utama berupa minyak dan gas bumi di seluruh dunia termasuk di Indonesia saat ini semakin menipis dan sangat mencemaskan. Salah satu jawaban dari masalah penyediaan energi yang

baru dan terbarukan di masa depan adalah Sel surya, sebab dia adalah suatu piranti untuk mengkonversi cahaya matahari yang sangat melimpah untuk menjadi energi listrik. Sel surya memberikan penyediaan daya yang lama bagi satelit dan kandidat yang penting untuk sumber energi yang berkaitan dengan aktivitas di bumi sebab ia bisa mengubah cahaya matahari secara langsung menjadi listrik dengan efisiensi konversi yang baik, dan juga bisa memberikan daya yang permanen dengan harga pengoperasian yang rendah dan secara nyata lagi tidak berpolusi.

Beberapa tahun terakhir telah dikembangkan secara intensif sel surya dengan bahan semikonduktor organik atau yang dikenal dengan sel surya organik (yang selanjutnya disingkat menjadi SSO). Dalam hal

ini SSO mempunyai potensi sebagai piranti pengkonversi energi yang lebih murah dan mudah dalam fabrikasinya jika dibandingkan dengan sel surya anorganik. Selain itu, rekayasa hingga level molekuler dan sintesis bahan semikonduktor organik juga tidak terbatas, bahkan dapat diekstraksi dari tumbuh-tumbuhan yang dapat dibudidayakan [2][3].

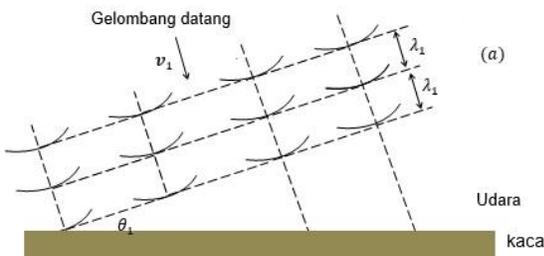
Tidak seperti sel surya anorganik, SSO memiliki bulk antar junction yang tipis. Diantara heterojunction yaitu tipe *p* dan *n* terdapat juga lapisan-lapisan film tipis yang kegunaannya untuk meningkatkan efisiensi SSO. Elektroda-elektroda yang dipasang diantara heterojunction juga adalah film-film tipis.

Prinsip Huygens dan Hukum Refraksi

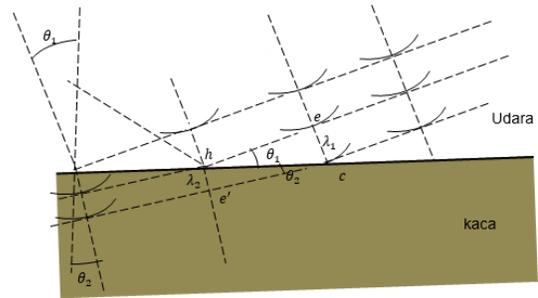
Gambar 1 memperlihatkan empat tahapan refraksi untuk tiga muka gelombang berturutan dari suatu gelombang datar yang jatuh pada perbatasan antara udara (medium 1) dan kaca (medium 2). Untuk mudahnya, kita anggap muka gelombang datang digambarkan berjarak λ , satu dengan lainnya dengan λ_1 adalah panjang gelombang yang diukur dalam medium 1. Misalkan laju cahaya dalam udara adalah v_1 dan dalam kaca v_2 . Kita anggap bahwa

$$v_2 < v_1 \quad (1)$$

Muka gelombang dalam Gambar 1a dihubungkan satu dengan lainnya menurut cara penggambaran Huygens dalam gambar terdahulu. Seperti dalam gambar terdahulu θ_1 adalah sudut datang. Gambar 1b memperlihatkan selang waktu ($= \lambda_1/v_1$) ketika gelombang Huygens dari titik *e* bergerak sampai ke titik *c*. Cahaya dari titik *h*, menjalar dalam kaca dengan laju yang lebih kecil (ingat kembali anggapan pada persamaan (1)). [4]



Gambar 1a



Gambar 1b

Jarak yang ditempuhnya dalam selang waktu tersebut akan lebih pendek juga, yaitu

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{v_2}{v_1} \quad (2)$$

Gelombang yang direfraksikan harus menyinggung lengkungan berjari-jari λ_2 berpusat di *h*. Karena *c* terletak pada muka gelombang yang baru, maka bidang singgung tadi harus melalui titik ini, seperti diperlihatkan pada gambar. Perhatikan bahwa sudut antara muka-gelombang yang direfraksikan dengan perbatasan kaca-udara, yaitu θ_2 sama dengan sudut antara sinar yang direfraksikan dengan normal bidang batas ini. Dengan perkataan lain, θ_2 adalah *sudut refleksi*. Perhatikan juga bahwa panjang gelombang di kaca (λ_2) lebih kecil daripada panjang gelombang di udara (λ_1). [5]

Untuk segitiga siku-siku *hce* dan *hce'*

$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda_1}{hc} \quad (\text{untuk } hce)$$

dan

$$\sin \theta_2 = \frac{\lambda_2}{hc} \quad (\text{untuk } hce')$$

Bila persamaan pertama dibagi dengan persamaan kedua, lalu kita gunakan persamaan (2), maka

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \text{konstanta} \quad (3)$$

Hukum refraksi seperti yang dinyatakan didalam

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n_{21} ,$$

sehingga n_{21} sekarang dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara laju cahaya dalam kedua media tersebut, atau

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} . \quad (4)$$

Persamaan (4) dapat dituliskan kembali sebagai

$$\left(\frac{c}{v_1}\right) \sin \theta_1 = \left(\frac{c}{v_2}\right) \sin \theta_2, \quad (5)$$

dengan c adalah laju cahaya dalam ruang bebas. Besaran (c/v_1) dan (c/v_2) (lihat persamaan (4)) adalah indeks refraksi medium 1 dan medium 2 terhadap vakum. Bila untuk besaran-besaran tersebut digunakan simbol n_1 dan n_2 , maka hukum pembiasan

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (6)$$

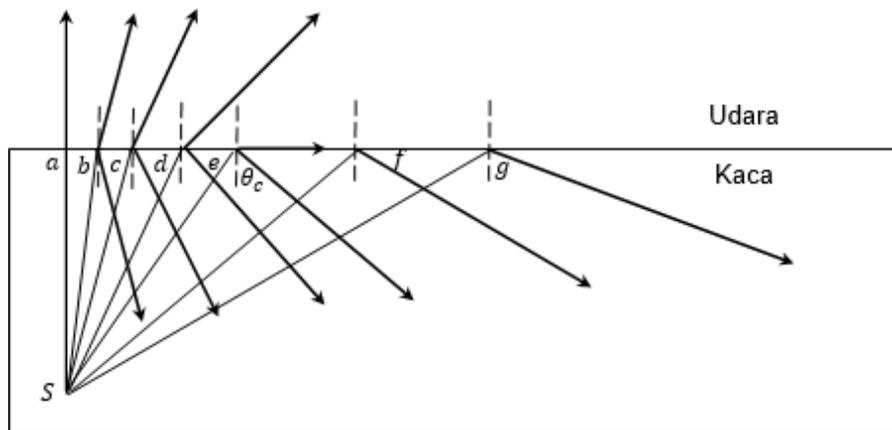
Jika dalam Gambar 2.1 dianggap bahwa medium diatas kaca bukan udara, melainkan vakum maka laju v_1 menjadi c dan panjang gelombang yang dalam gambar 1 disebut λ_1 menjadi λ yaitu karakteristik gelombang didalam ruang bebas. Dengan demikian persamaan (2) menjadi

$$\lambda = \lambda \frac{v_2}{c} = \frac{\lambda}{n_2} \quad (7a)$$

atau

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n} \quad (7b)$$

Refleksi Internal Total



Gambar 2. Refleksi internal total cahaya dari sumber S , sudut kritisnya θ_c .

Gambar 2 memperlihatkan refleksi internal total cahaya dari sumber S , sudut kritisnya θ_c . Cahaya dapat disalurkan dari satu titik ke titik lain melalui batang plastik transparan dengan sedikit saja cahaya yang hilang. Cahaya masuk dari salah satu ujung batang dan mengalami refleksi internal total pada perbatasan batang, mengikuti alur garis tepi batang dan akhirnya keluar dari ujung yang satu lagi. [6].

Refleksi dan Refraksi Berdasarkan Bukti Empiris.

Berdasarkan eksperimen diperoleh hukum-hukum mengenai refleksi dan refraksi sebagai berikut :

1. Sinar yang direfleksikan dan yang direfraksikan terletak pada satu bidang yang dibentuk oleh

Misalkan sinar cahaya dari medium yang rapat secara optis (katakanlah kaca) jatuh pada permukaan medium yang kurang rapat secara optis (katakanlah udara), lihat Gambar 2.2. Dengan memperbesar sudut datang θ dapat dicapai suatu keadaan (lihat sinar e) yang sinar refraksinya mengarah sepanjang permukaan batas, sudut refraksinya 90° . Untuk sudut datang yang lebih besar dari sudut kritis θ_c ini tidak ada sinar refraksi yang terjadi. Fenomena ini disebut sebagai refleksi internal total.

Sudut kritis dapat diperoleh dari hukum refraksi dengan mengambil $\theta_2 = 90^\circ$:

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ ,$$

Atau

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (8)$$

Untuk kaca dan udara $\sin \theta_c = (1/1,5) = 0,667$ yang memberikan $\theta_c = 41,8^\circ$. Refleksi internal total tidak terjadi bila cahaya datang dari medium dengan indeks refraksi yang lebih rendah.

sinar datang dan normal bidang batas di titik datang, yaitu bidang gambar

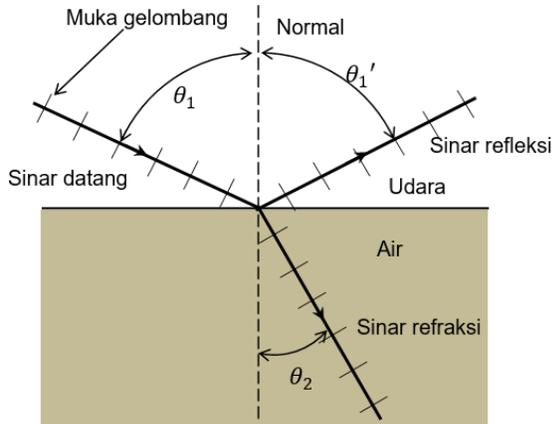
2. Untuk refleksi

$$\theta_1 = \theta'_1 \quad (9)$$

3. Untuk refraksi :

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n_{21} \quad (10)$$

dengan n_{21} adalah konstanta yang disebut indeks refraksi (indeks bias) dari medium 2 terhadap medium 1.



Gambar 3. Indeks refraksi suatu medium terhadap medium

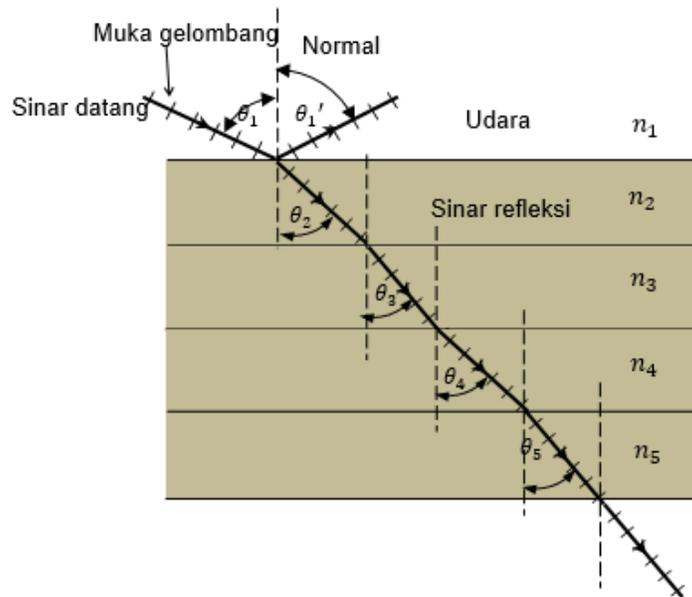
Indeks refraksi suatu medium terhadap medium lain biasanya bergantung kepada panjang gelombang. Tidak seperti halnya refleksi, berdasarkan kenyataan ini, refraksi dapat digunakan

untuk menguraikan cahaya atas komponen-komponen panjang gelombangnya.

2. Metode

Metode yang digunakan di dalam penelitian ini adalah studi literatur dan komputasi. Untuk studi literatur penulis mengkaji dan menelaah konsep-konsep yang berkaitan dengan ilmu optik yang mempunyai korelasinya secara langsung dan praktis pada pengembangan SSO.

Keadaan refleksi dan refraksi pada film tipis multi lapisan ditampilkan di dalam Gambar 4. Gambar 4 adalah metode yang digunakan untuk menggambarkan jalan optis cahaya melewati film-film tipis. Dari gambar tersebut maka terlihat bahwa cahaya datang dengan panjang gelombang tertentu yang ditunjukkan oleh jarak antar muka gelombang memasuki film-film tipis. Panjang gelombang untuk sinar datang lebih panjang daripada untuk sinar yang direfraksikan. Sudut refraksi pada masing-masing lapisan film tipis mengalami perubahan.



Gambar 4. Metode yang digunakan untuk menggambarkan jalan optis cahaya melewati film-film tipis.

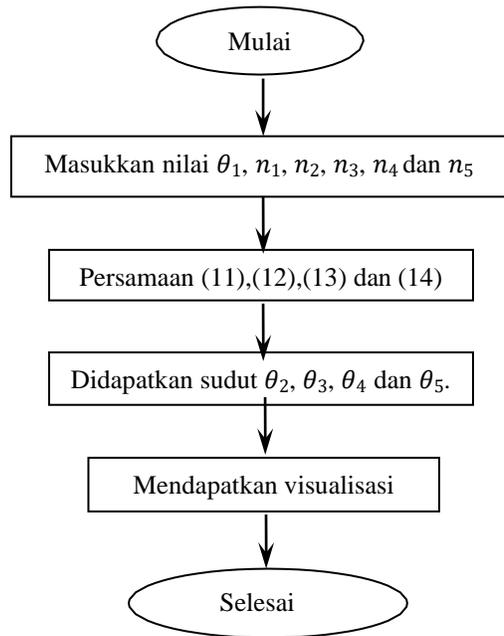
Dengan menggunakan persamaan (6), maka sudut θ_2 , θ_3 , θ_4 dan θ_5 dapat ditentukan. Penulis merakit persamaan (6) di dalam bentuk-bentuk sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 n_1 \sin \theta_1 &= n_2 \sin \theta_2 & (11) \\
 n_2 \sin \theta_2 &= n_3 \sin \theta_3 & (12) \\
 n_3 \sin \theta_3 &= n_4 \sin \theta_4 & (13) \\
 n_4 \sin \theta_4 &= n_5 \sin \theta_5 & (14)
 \end{aligned}$$

dimana nilai $n_1 = 1$ yaitu nilai indeks bias udara, $n_2 = 1,2$ yang menyatakan indek bias film tipis pertama. Untuk film tipis kedua $n_3 = 1,1$, ketiga $n_4 = 1,4$ dan yang keempat $n_5 = 1,3$.

Jika parameter inputnya adalah sudut θ_1 , maka secara otomatis (jika sudah dibuat programnya) sudut θ_2 , θ_3 , θ_4 dan θ_5 dapat ditentukan.

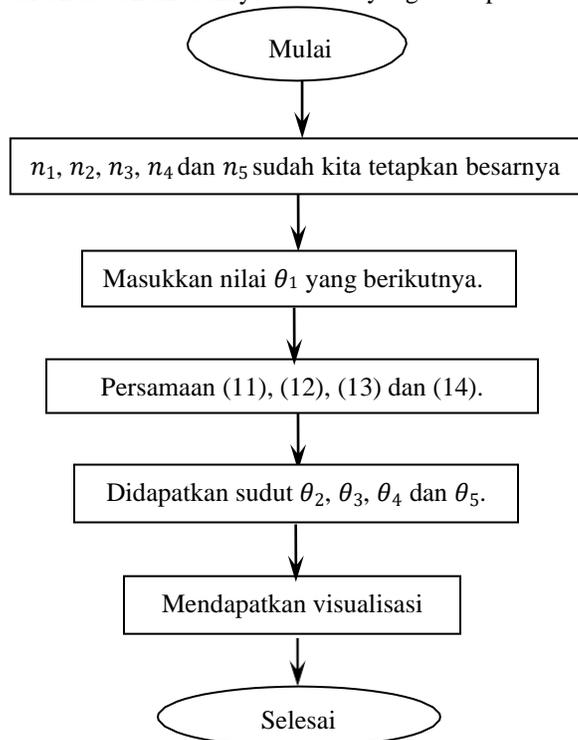
Gambar 4 tidak lengkap, hanyalah kajian konsep yang menjelaskan peristiwa ketika cahaya memasuki material film-film tipis.



Gambar 5. Flow Chart Perhitungan Sudut Datang, Sudut Refleksi dan Sudut Refraksi.

Flow chart untuk Gambar 5 akan menampilkan jalan optis untuk satu saja cahaya dengan sudut tertentu yaitu θ_1 dengan suatu nilai tertentu. Untuk cahaya

berikutnya dengan θ_1 yang kita tentukan kemudian, maka flow chartnya digambarkan dalam Gambar 3.3 yang ditampilkan sebagai berikut:

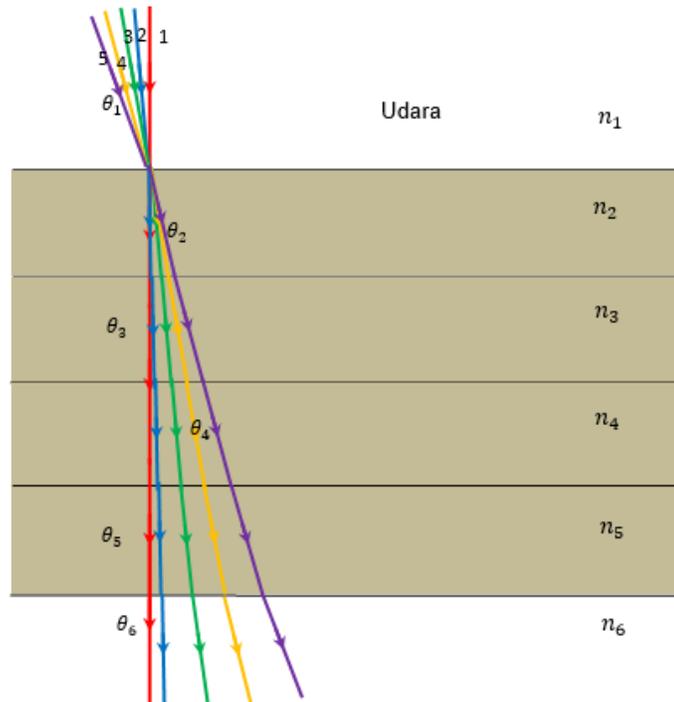


Gambar 6. Flow Chart Perhitungan Sudut Datang, Sudut Refleksi dan Sudut Refraksi dengan θ_1 yang ditentukan

3. Hasil dan Pembahasan

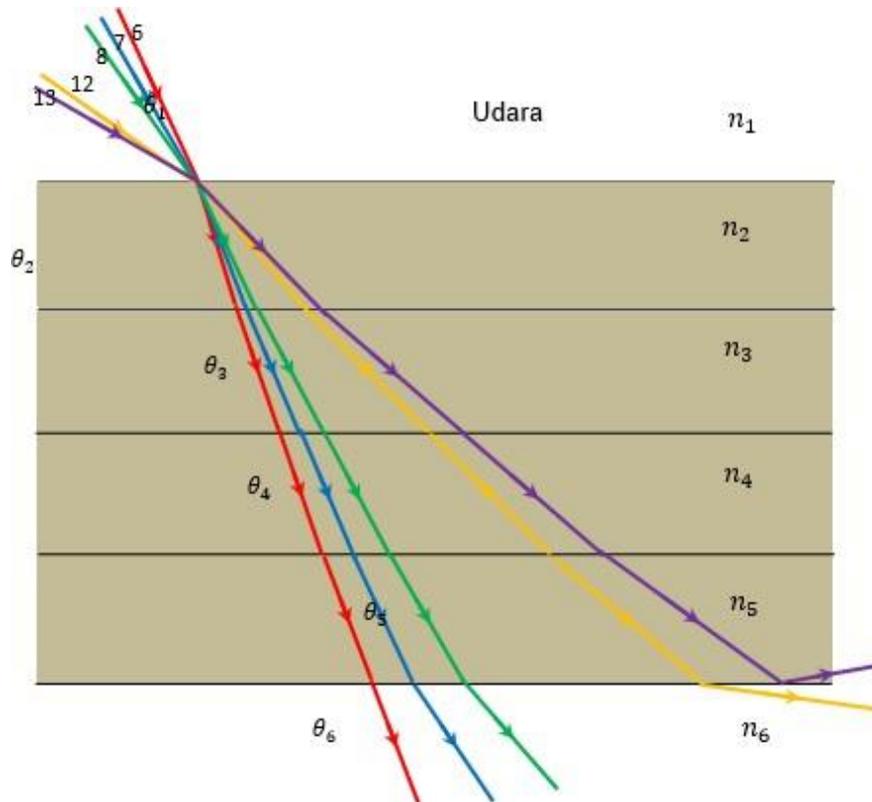
Tabel 1. Sudut-sudut Refraksi pada multi film tipis

No.	θ_1 (derajat)	θ_2 (derajat)	θ_3 (derajat)	θ_4 (derajat)	θ_5 (derajat)	θ_6 (derajat)
1	0	0	0	0	0	0
2	5	1	1	1	1	1
3	10	5	5	5	6	8
4	15	9	10	10	11	14
5	20	13	15	15	16	21
6	25	17	19	19	21	27
7	30	21	23	23	25	34
8	35	25	28	28	30	41
9	40	29	32	32	35	48
10	45	33	37	37	40	57
11	50	37	41	41	45	66
12	55	40	45	45	50	82
13	60	44	49	49	54	refleksi internal total
14	65	47	53	53	59	refleksi internal total
15	70	50	56	56	63	refleksi internal total
16	75	52	59	59	68	refleksi internal total



Gambar 7. Visualisasi yang menggambarkan jalan-jalan optis cahaya pada saat memasuki enam medium

Sinaga & Ngaderman. Visualisasi Jalan Optis Cahaya dan Menentukan Refleksi Internal Total pada Lapisan Multi Film Tipis



Gambar 8. Visualisasi yang menggambarkan jalan-jalan optis cahaya pada saat memasuki enam medium

Tabel 1 menyatakan sudut-sudut refraksi pada multi lapisan film tipis beserta penomoran lintasan-lintasan optis yang dilalui cahaya. Disitu terdapat sudut-sudut cahaya, θ_1 adalah sudut untuk cahaya pada saat memasuki medium kedua n_2 .

Medium pertama adalah udara dengan indeks bias n_1 . θ_2 adalah sudut untuk cahaya pada saat memasuki medium ketiga n_3 berikut seterusnya sampai pada yang terakhir yaitu θ_5 sudut untuk cahaya pada saat memasuki medium keenam n_6 . Adapun nilai masing-masing indeks bias adalah $n_1 = 1$, $n_2 = 2$, $n_3 = 1,1$, $n_4 = 1,4$, $n_5 = 1,3$ dan $n_6 = 1$. Data-data indeks bias tersebut didapat melalui Tesis yang dilakukan oleh penulis tahun 2007 dan indeks-indeks bias tersebut juga merupakan data sekunder (data yang didapat oleh eksperimen) oleh Fisikawan sebelumnya.

Pada penomoran 13,14,15 dan 16 terdapat sesuatu yang janggal pada sudut θ_6 sebab disitu ditulis refleksi internal total. Pembahasan tentang refleksi internal total telah dibahas pada Bab II Subbab 2.2. Penulis sengaja menghadirkan itu disini sebab berkaitan erat dengan peningkatan di dalam performansi SSO.

Gambar 7 adalah visualisasi yang menggambarkan jalan-jalan optis cahaya pada saat

memasuki enam medium. Visualisasi tersebut menggunakan komputer sebagai media untuk menampilkan jalan optis cahaya kedalam medium film berlapis dengan ketepatan yang akurat. Pada Gambar 7 dan Gambar 8 terlihat bahwa cahaya datang memasuki medium dengan sudut yang tepat dengan gambar. Misalnya cahaya warna kuning (nomor 4) dengan sudut datang 15° , maka sinar datang tersebut membentuk sudut 15° pada bidang normal. Tentu saja besaran-besaran yang lain seperti panjang gelombang disesuaikan dengan skala yang dapat diterima. Medium pertama adalah material (film tipis) dengan indeks bias n_1 , medium kedua adalah material (film tipis) dengan indeks bias n_2 , dan seterusnya hingga material keenam adalah kembali kepada udara.

Pada sinar matahari dengan penomoran 1 hingga 12, tidak terjadi kejanggalan sebab sinar tersebut direfraksikan seperti sinar-sinar biasa pada saat memasuki medium. Untuk sinar-sinar dengan penomoran 13,14,15 dan 16 terjadi keanehan, karena sinar-sinar tersebut kembali kedalam medium yaitu material (film tipis). Kejanggalan ini dinamakan refleksi internal total, dan hal ini sangat bermanfaat bagi SSO sebab dapat meningkatkan intensitas cahaya di dalam material-material yang tidak lain

adalah film-film tipis dari SSO. Hanya masalahnya disini adalah jika terjadi refleksi internal total pada sudut datang cahaya 60° dan meningkat keatas hingga sudut 90° , maka efektifitas SSO yaitu pada sudut 60° dan meningkat keatas hingga sudut 90° . Hal ini jika diaplikasikan kedalam peletakan SSO terhadap lintasan sinar matahari maka SSO tersebut mempunyai efektifitas pada pagi atau sore hari. Tetapi kendalanya disini adalah pada saat pagi dan sore hari intensitas cahaya matahari tersebut tidak kuat sehingga tidak bisa menaikkan performansi SSO.

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Tujuan utama riset ini adalah untuk memvisualisasikan jalan optis cahaya melalui multi film tipis. Tetapi di akhir penelitian ini penulis mendapatkan cara untuk meningkatkan performansi SSO dengan meninjau pada sudut-sudut datangnya cahaya melalui medium berlapis (film-film tipis) itu. Peningkatan performansi SSO terjadi pada kondisi dimana jalan optis cahaya tersebut kembali memasuki material film tipis itu, kondisi yang demikian dinamakan refleksi internal total.

Jalannya sinar cahaya matahari dari udara ke SSO multi film tipis ternyata akan menyebabkan refleksi internal total pada sudut 60° hingga 90° . Sudut-sudut yang demikianlah yang akan menciptakan efisiensi yang baik bagi SSO.

Saran

Oleh karena SSO akan bekerja secara efektif pada sudut 60° hingga 90° (bukan hanya pada sudut 60° hingga 90° akan terjadi konduktivitas listrik tetapi pada sudut 0° hingga 60° juga akan terjadi konduktivitas listrik tetapi tidak maksimal), maka teknik yang mungkin akan dipakai oleh eksperimen adalah memiringkan SSO terhadap cahaya matahari sebanyak $60^\circ \leq \text{sudut} \leq 90^\circ$.

Di dalam riset ini penulis membatasi bidang kajian SSO di dalam kondisi dimana materialnya adalah homogen dan isotropik. Di dalam kondisi yang demikian maka tidak ada pelepasan energi cahaya matahari terhadap material. Perlu diadakan riset lain dimana kondisinya real (hampir semua material SSO di dalam kondisi yang demikian), jika real maka materialnya adalah tidak homogen dan tidak isotropik (anisotropik). Pada saat cahaya matahari memasuki medium real maka akan ada pelepasan energi cahaya matahari terhadap material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ngaderman H, 2013. *Efisiensi Maksimal Sel Surya p-n Junction Berbasis Silikon*. Universitas Cenderawasih.
- [2] Singh V.P., Parsarathy B., R.S. Singh, A. Aguilera, J. Anthony, M. Payne, 2006, *Characterization of high-voltage CuPc-based solar cell structures*, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 90, 798–812
- [3] Supriyanto, C., Samin, dan Zainum, K. 2007. Analisis Cemaran Logam Berat Pb, Cu, dan Cd pada Ikan air Tawar dengan Metode Spektrometri Nyala Serapan Atom (SSA). *Seminar Nasional III, SDM Teknologi Nuklir* 147-151.
- [4] Halliday D, Resnick R dan Walker J. *Fisika Jilid Dua Versi Diperluas*. Binarupa Aksara. Halliday, 1986. *Fisika Jilid Dua*. Airlangga
- [5] Krane Kenneth S, 1992. *Fisika Modern*. John Wiley and Sons.
- [6] Robert D.G, 1989. *Modern Optics*. John Wiley and Sons, Duke University.