

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dibimbing oleh :

Pembimbing I

Pembimbing I

Ahmad Marzuki, S. Si, P.hD

NIP. 196805081997021001

Drs Heri Purwanto, M.Sc

NIP. 195905181987031002

Dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi pada :

Hari :

Tanggal :

Anggota Tim Penguji :

- 1.
- 2.



Disahkan oleh:

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sebelas Maret Surakarta

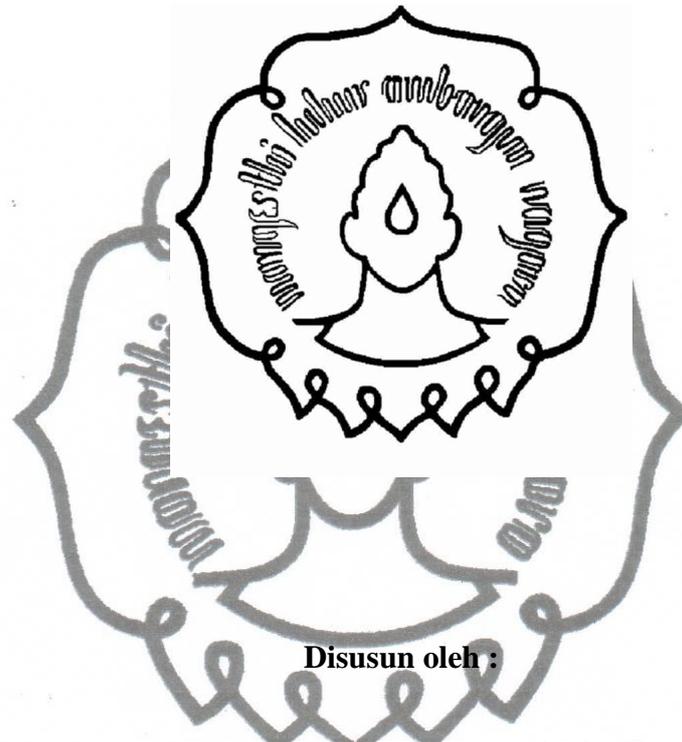
Ketua Jurusan Fisika

Drs. Harjana, M.Si, Ph.D

NIP. 19590725 198601 1 001

commit to user

**PEMANTULAN BOLAK -BALIK PADA CERMIN TAK
SEJAJAR**



Disusun oleh :

MUHAMAD WAHYU RIDLO

M0205039

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian
persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Sains Fisika**

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SEBELAS MARET

SURAKARTA

Juni, 2010

commit to user

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**Kajian Pemantulan Bolak Balik Pada Cermin Tak Sejajar**

Oleh :

Muhamad Wahyu Ridlo
M0205039

Saya dengan ini menyatakan bahwa isi intelektual skripsi ini adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya, hingga saat ini skripsi ini tidak berisi materi yang telah dipublikasikan dan ditulis oleh orang lain, atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar di Universitas Sebelas Maret Surakarta maupun di lingkungan perguruan tinggi lainnya, kecuali yang telah dituliskan dalam daftar pustaka skripsi ini. Semua bantuan dari berbagai pihak baik fisik maupun psikis, telah saya cantumkan dalam bagian ucapan terimakasih skripsi ini.

Surakarta, Juni 2010

Penulis

Muhamad Wahyu Ridlo

commit to user

PEMANTULAN BOLAK-BALIK PADA CERMIN TAK SEJAJAR

MUHAMAD WAHYU RIDLO

Jurusan Fisika, Fakultas Mipa, Universitas Sebelas Maret

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai "Kajian Pemantulan Bolak-Balik pada Cermin Tak Sejajar". Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah kaca, baja stainless, aluminium, hardisk bekas, engsel pintu. Penelitian dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap tinjauan matematis dan tahap eksperimental. Pada tahap tinjauan matematis diperoleh rumus umum pemantulan ke- n pada cermin tak sejajar dengan sudut puncak kolektor (α) dan sudut antara sinar datang dan garis normal (β) adalah $X_n = \beta + (2\alpha - 180^\circ)n$.

Pada tahap eksperimen penelitian ini juga dibagi menjadi dua tahap yaitu perhitungan reflektansi masing-masing logam dengan variasi sudut datang serta tahap penelitian hubungan antara sudut kolektor dengan intensitas cahaya yang terkumpul. Pada eksperimen yang pertama diperoleh masing-masing kurva reflektansi untuk setiap bahan logam untuk mode gelombang *Tranverse Electric* (TE) dan *Tranverse Magnetic* (TM). Dari eksperimen dapat diketahui bahwa kurva reflektansi untuk bahan yang diuji menunjukkan trend yang sama. Dari semua sampel yang diuji, nilai reflektansi yang paling tinggi adalah baja stainless. Dari eksperimen yang ke-2 dengan kolektor dari bahan stainless yang telah dibuat untuk menghasilkan hubungan antara sudut kolektor dan intensitas cahaya yang terkumpul menunjukkan trend grafik yang tidak sama.

Kata kunci: *Intensitas Cahaya, Kolektor Surya, Reflektansi*

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji hanyalah milik Allah, pemilik semesta Alam. Semoga shalawat dan salam senantiasa tercurah limpahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, para sahabat dan orang-orang yang senantiasa istiqomah di jalan Beliau hingga akhir jaman.

Sungguh merupakan suatu karunia dan nikmat yang tak terhingga dari Allah hingga penulis dapat menyelesaikan Penelitian ini. Tak lepas pula dari bantuan pihak-pihak lain selama penyusunan Penelitian ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. Harjana, M.Sc,PhD selaku ketua jurusan fisika FMIPA UNS
2. Bapak Ahmad Marzuki, S.Si.PhD selaku pembimbing I yang telah meluangkan waktu, pikiran dan tenaga untuk membimbing dan mengarahkan dengan penuh kesabaran sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Drs. Heri Purwanto, M.Sc selaku pembimbing II yang telah membimbing, banyak memberikan bantuan dan masukan dalam penelitian ini,
4. Ibu dan Bapakku tercinta yang selalu memberikan semangat, dukungan dan motivasi
5. Teman-teman tim optik tercinta yg telah banyak memberikan bantuan dan kerjasama: Astri06, Sartono, Joko, Ika, Siti, Mayang, Esti,
6. Teman-teman fisika 2005(nekaterz) aris, sartono, ika, joko, mayang, heykal38 dan semuanya,
7. Labkomerz, defi, yuwono, susi, hendrik, roni
8. Adik-adik tingkatku angkatan 2006-2008, yang telah banyak memotivasiku.
9. Seseorang yang telah memberi warna dalam hidupku di Fisika,

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih sangat jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan skripsi. Penyusun berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi orang lain.



Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	2
I.3. Batasan Masalah.....	3
I.4. Tujuan Penelitian.....	3
I.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pemantulan Biasa pada Cermin Datar.....	4
2.2. Hukum Snellius.....	4
2.3. <i>Numerical Aperture</i>	6
2.4. Gelombang Elektromagnetik.....	7
2.5. Persamaan <i>Maxwell</i>	8
2.6. Sifat- Sifat Vektor Gelombang Elektromagnetik di Udara.....	9
2.7. Hubungan Antara Medan Listrik dan Medan Magnet.....	10

2.8. Polarisasi Cahaya.....	12
2.9. Polarisasi TE dan TM.....	12
2.10. Polarisasi Linier.....	13
2.11. Polarisasi Karena Adsorpsi Selektif.....	14
2.12. Reflektansi dan Transmittansi.....	15
2.13. Prinsip Polarisasi Menggunakan Hukum Fresnel.....	17
2.14. Reflektansi pada Logam.....	20
BAB III. METODE PENELITIAN	
3.1. Metode Penelitian.....	21
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.3. Alat dan Bahan.....	21
3.3.1. Alat Penelitian.....	21
3.3.2. Bahan Penelitian.....	21
3.4. Prosedur Penelitian.....	23
3.4.1. Persiapan Alat dan Bahan.....	23
3.4.2. Pembuatan Model Eksperimen.....	24
3.4.3. Pengambilan Data.....	24
3.5. Analisa.....	27
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1. Reflektansi Beberapa Jenis Bahan dengan Variasi Sudut.....	29
4.2. Menentukan Perbandingan Reflektansi Masing- Masing Bahan.....	36
4.3. Menentukan Hubungan Antara Sudut Kolektor dengan Intensitas Cahaya yang Berkumpul.....	38
4.4. Kajian Matematis Pola Pemantulan pada kolektor Cermin Tak Sejajar.....	46
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Simpulan.....	49

5.2. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN	
Lampiran I.....	52
Lampiran II.....	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pemantulan biasa pada cermin membentuk bayangan benda.....	4
Gambar 2.2. Hukum <i>Snellius</i>	5
Gambar 2.3. Sistem fiber optic.....	6
Gambar 2.4. Polarisasi karena absorpsi selektif.....	8
Gambar 2.5. Refleksi <i>Fresnell</i>	10
Gambar 2.6. Perambatan gelombang elektromagnetik dalam arah sumbu x.....	13
Gambar 2.7. Gelombang elektromagnetik yang merambat diudara.....	17
Gambar 2.8. Polarisasi TE.....	18
Gambar 2.9. Grafik hubungan antara reflektansi dengan sudut pada bahan <i>metal</i>	20
Gambar 3.1. Alat- alat yang digunakan dalam penelitian.....	22
Gambar 3.2. Diagram alir penelitian.....	23
Gambar 3.3. Pembuatan model eksperimen.....	24
Gambar 3.4. Model kolektor surya dengan 2 plat datar yang membentuk sudut θ	25
Gambar 3.5. Menghitung koefisien reflektansi.....	26
Gambar 3.6. Model eksperiment kolektor surya.....	27
Gambar 4.1. Grafik reflektansi baja <i>stainless</i>	31
Gambar 4.2. Grafik reflektansi aluminium.....	32
Gambar 4.3. Grafik reflektansi engsel pintu.....	33
Gambar 4.4. Grafik reflektansi <i>hardisk</i> bekas.....	33
Gambar 4.5. Grafik reflektansi Grafik reflektansi kaca.....	34

Gambar 4.6. Grafik reflektansi pada logam..... 35

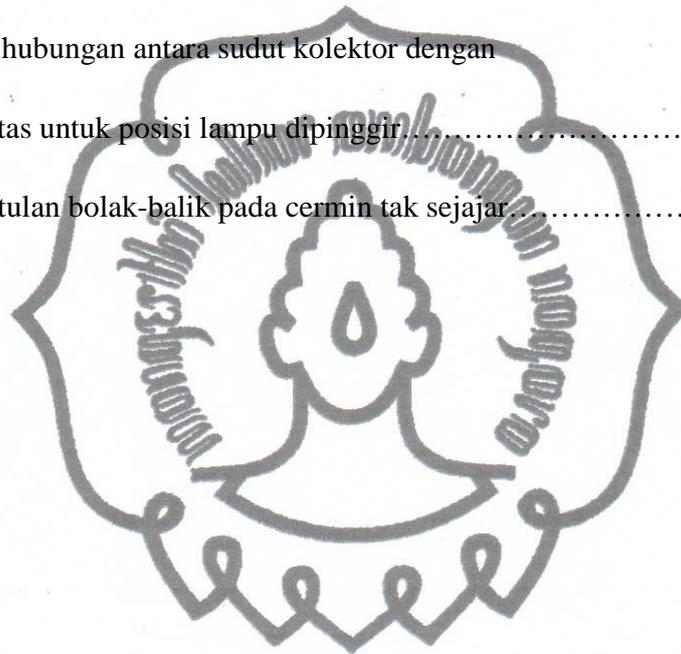
Gambar 4.7. Desain eksperimen koelktor surya..... 38

Gambar 4.8. Pengambilan data intensitas kolektor surya..... 39

Gambar 4.9. Grafik hubungan intensitas dengan sudut kolektor
untuk posisi lampu ditengah 40

Gambar 4.10. Grafik hubungan antara sudut kolektor dengan
intensitas untuk posisi lampu dipinggir..... 41

Gambar 4.11. Pemantulan bolak-balik pada cermin tak sejajar..... 43



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spektrum Gelombang Elektromagnetik.....	14
Tabel 4.1. Reflektansi minimum masing-masing sampel.....	37
Tabel 4.2. Hasil sudut dan intensitas untuk posisi lampu ditengah.....	39
Tabel 4.3. Hasil sudut dan intensitas untuk posisi lampu dipinggir.....	40
Tabel 4.4. Sudut pantulan pertama pada kolektor dengan sudut $\alpha=\beta=40^{\circ}$	45



BAB I PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Energi merupakan sesuatu yang sangat diperlukan dalam berbagai aspek kehidupan. Permasalahan energi di Indonesia semakin kompleks dan mendesak, tidak hanya untuk diperhatikan tetapi juga untuk dicarikan dan diterapkan jalan keluarnya. Hal ini sudah jelas disebabkan karena permintaan (*demand*) akan energi, baik dalam bentuk Bahan Bakar Minyak (BBM) maupun listrik terus meningkat melebihi kapasitas produksi di dalam negeri. Pemakaian BBM untuk pembangkit listrik dapat dikurangi jika ada sumber energi lain yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik. (Adriyanto, 2009)

Salah satu solusi alternatif untuk mengatasi krisis energi yang terjadi di Indonesia adalah pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan. Pada beberapa tahun terakhir mulai banyak dikaji oleh para peneliti terutama setelah semakin mahalnya sumber energi yang berasal dari bahan fosil. Salah satunya adalah kajian teknologi *hybrid* kolektor sel surya yang merupakan penggabungan teknologi kolektor surya dan teknologi sel surya. Energi matahari diperkirakan akan memberikan prospek yang lebih baik untuk menggantikan sumber energi fosil dimasa mendatang. Hal ini dikarenakan letak strategis wilayah Indonesia yang memungkinkan energi matahari dapat diterima sepanjang tahun secara kontinu dalam jumlah yang cukup besar.

Teknologi pemanfaatan energi matahari yang sedang berkembang saat ini adalah menggunakan sel surya. Sel surya yang banyak digunakan saat ini terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm, dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Tiap sel surya biasanya menghasilkan tegangan 0,5 volt. Sel surya merupakan elemen aktif (semikonduktor) yang memanfaatkan efek fotovoltaiik untuk merubah energi surya (matahari) menjadi energi listrik. Prinsip kerja sel surya adalah sekumpulan modul sel *photovoltaic* (*photo* = cahaya, *voltaiic* = listrik) yang terbuat dari bahan khusus semikonduktor. Ketika cahaya mengenai sel, cahaya tersebut akan diserap

oleh sel ini. Energi yang tersimpan dalam semikonduktor ini akan mengakibatkan elektron lepas dan mengalir menjadi arus listrik.

Untuk dapat mengoptimalkan energi yang dihasilkan, maka diperlukan suatu teknologi kolektor sel surya, teknologi ini merupakan penggabungan teknologi kolektor surya dan teknologi sel surya. Energi matahari yang diterima oleh kolektor surya tidak dapat langsung dikonversikan menjadi energi listrik, tetapi untuk mengkonversikan energi matahari menjadi energi listrik digunakan alat lain yang disebut sel surya (*solar cell*). (Priyadi, 2008)

Posisi teknologi kolektor sel surya saat ini masih menggunakan kolektor yang berbentuk parabola. Bentuk kolektor seperti ini masih mempunyai kelemahan yaitu memerlukan *tracker* untuk mengikuti gerak semu matahari. Untuk mengatasi masalah ini dilakukan penelitian suatu kolektor yang dibentuk dari 2 plat datar tak sejajar.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan jenis bahan logam yang paling efektif sebagai kolektor surya yang didasarkan pada karakteristik reflektansi pada masing-masing logam terhadap sudut datang cahaya. Selanjutnya penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui hubungan antara sudut plat tak sejajar dengan intensitas energi matahari yang terkumpul. Sehingga dapat digunakan untuk optimalisasi energi matahari oleh kolektor plat datar.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan jenis logam yang paling cocok digunakan sebagai kolektor surya.
2. Bagaimanakah hubungan antara reflektansi dan sudut pada bahan logam.
3. Bagaimanakah hubungan antara banyaknya pemantulan dan intensitas cahaya yang terkumpul pada cermin tak sejajar.
4. Bagaimanakah bentuk kolektor surya plat datar yang paling optimum mengumpulkan cahaya.

1.3. BATASAN MASALAH

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi pada:

1. Bahan yang akan digunakan sebagai model kolektor surya adalah bahan yang mempunyai reflektansi paling besar.
2. Hubungan antara reflektansi dengan sudut pada bahan metal (logam).
3. Bentuk kolektor surya yang digunakan adalah pentuk cermin tak sejajar.
4. Variasi sudut antara plat datar dengan sumbu kolektor dibuat antara dari 20° sampai 80° dengan jeda variasi 20° .

1.4. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui jenis logam yang mempunyai reflektansi yang paling besar pada penelitian kali ini.
2. Menentukan karakteristik hubungan antara intensitas refleksi dengan sudut pada bahan logam.
3. Menentukan bentuk dan sudut kolektor surya yang paling optimal dalam mengumpulkan cahaya matahari.
4. Menentukan persamaan matematis banyaknya pemantulan pada kolektor surya tak sejajar.

1.5. MANFAAT PENELITIAN

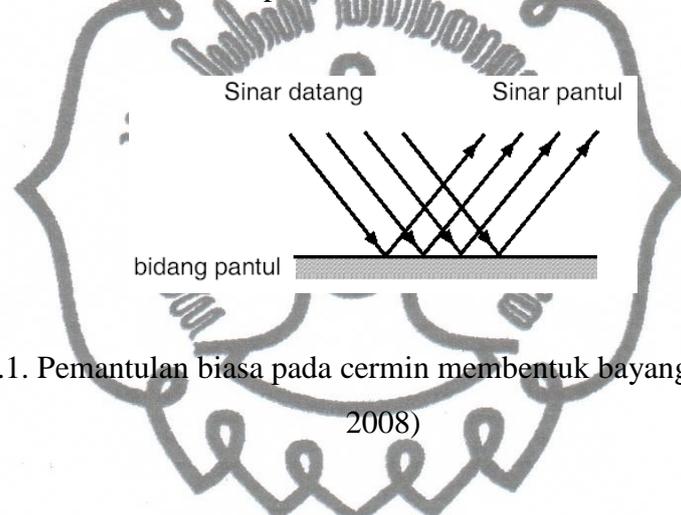
Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat memberikan informasi hubungan antara reflektansi dan sudut pada bahan logam (metal).
2. Dapat digunakan untuk meningkatkan jumlah energi yang dikumpulkan oleh sel surya.
3. Dapat digunakan untuk mendesain bentuk corong cermin tak sejajar yang dapat mengumpulkan cahaya secara optimal.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemantulan Biasa Pada Cermin Datar

Pada permukaan benda yang rata seperti cermin datar, cahaya dipantulkan membentuk suatu pola yang teratur. Sinar-sinar sejajar yang datang pada permukaan cermin dipantulkan sebagai sinar-sinar sejajar pula (Gambar 2.1). Akibatnya cermin dapat membentuk bayangan benda. Pemantulan semacam ini disebut pemantulan teratur atau pemantulan biasa.



Gambar 2.1. Pemantulan biasa pada cermin membentuk bayangan benda (Setia, 2008)

2.2. Hukum Snellius

Kecepatan cahaya pada jenis-jenis material yang berbeda adalah berbeda. Besar kecilnya ditentukan oleh nilai indeks bias (n) masing-masing material. Besarnya indeks bias medium (n), kecepatan cahaya di udara (c), dan kecepatan cahaya di dalam medium (v) dirumuskan dengan :

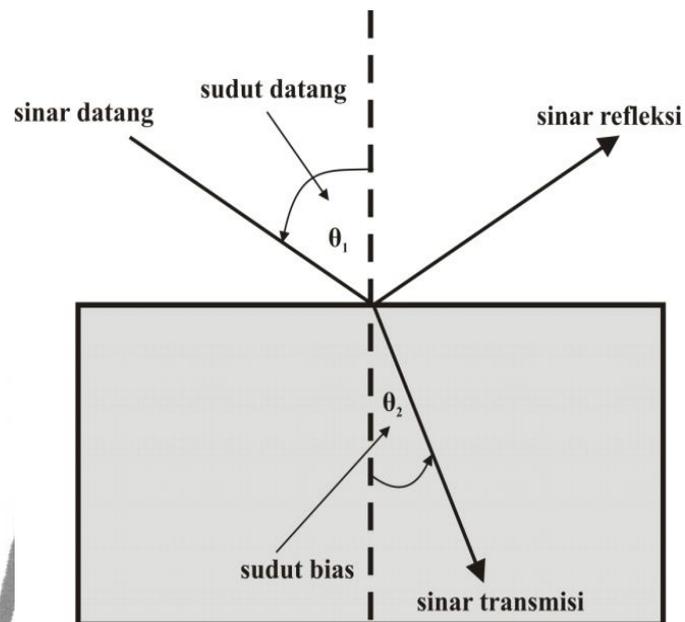
$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$

Hukum Snellius menyatakan hubungan antara sudut datang, sudut bias dan indeks bias kedua medium yang dinyatakan sebagai berikut:

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad (2.2)$$

Dengan n_i adalah indeks bias udara, n_t adalah indeks bias medium, θ_i adalah sudut datang, dan θ_t adalah sudut bias.

commit to user



Gambar 2.2. Hukum Snellius

Gambar 2.2 menunjukkan jalannya sinar yang melewati dua medium (material) yang berbeda. Dalam hukum konservasi energi cahaya dinyatakan bahwa jika berkas cahaya mengenai bidang batas suatu material, maka cahaya tersebut akan mengalami transmisi, refleksi, dan absorpsi. Hubungan refleksi(R) dan transmisi(T) adalah :

$$R + T = 1 \quad \text{atau} \quad R = 1 - T \quad (2.3)$$

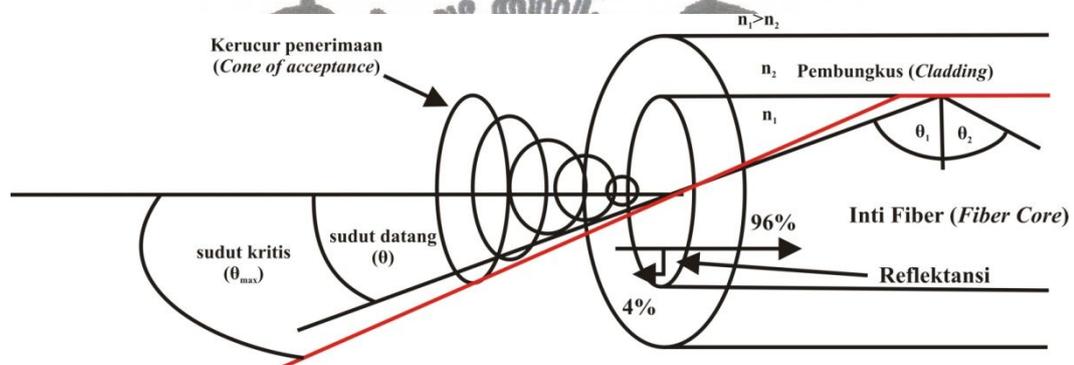
Pemantulan fresnel sangat berarti dalam semua sistem optik yang memiliki indeks bias yang berbeda. Secara praktisnya dikatakan ketika ada perubahan diskrit dari indeks bias, maka akan ada cahaya yang dipantulkan. Jumlah cahaya yang dipantulkan bervariasi tergantung pada seberapa besar perubahan indeks bias dan komponen polarisasi cahaya. Perumusan dari refleksi pantulan fresnel adalah:

$$R = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (2.4)$$

dengan n_1 adalah indeks bias medium pertama, n_2 adalah indeks bias medium kedua, dan R adalah reflektansi. *commit to user*

2.3. Numerical Aperture (NA)

Penelitian ini nantinya akan mendesain bentuk corong tidak sejajar yang memiliki *Numerical Aperture* yang besar sehingga dapat mengumpulkan cahaya secara maksimum. Dalam sistem *fiber optic* (gambar 2.3), *Numerical Aperture* merupakan parameter yang merepresentasikan sudut penerimaan maksimum dimana berkas cahaya masih bisa diterima dan merambat didalam inti serat. Sudut penerimaan ini dapat beraneka macam tergantung kepada karakteristik indeks bias inti dan selubung serat optik.



Gambar 2.3. Sistem *fiber optik* (Endra, 2007)

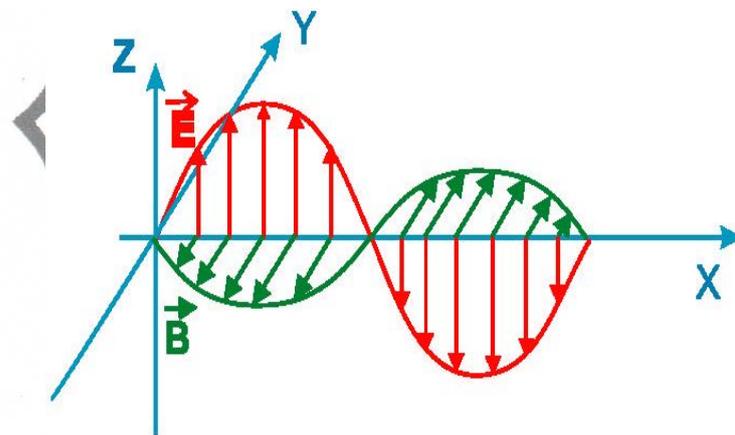
Jika sudut datang berkas cahaya lebih besar dari *NA* atau sudut kritis maka berkas tidak akan dipantulkan kembali ke dalam serat melainkan akan menembus *cladding* dan akan keluar dari serat. Semakin besar *NA* maka semakin banyak jumlah cahaya yang diterima oleh serat. Besarnya *Numerical Aperture (NA)* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$NA = \sin \theta_{maks} = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.5)$$

Dengan *NA* adalah *Numerical Aperture*, n_1 adalah Indeks bias *cladding*, n_2 adalah Indeks bias *core*, Δ adalah Indeks bias relatif.

2.4. Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang medan listrik dan medan magnet, artinya dengan adanya gelombang elektromagnetik, kuat medan listrik dan kuat medan magnet di setiap tempat yang dilalui gelombang elektromagnetik tersebut berubah-ubah terhadap waktu secara periodik dan perubahan itu dijalarkan sepanjang arah menjalarnya gelombang. Gelombang elektromagnetik merupakan suatu gelombang dari hasil perubahan medan magnet dan medan listrik secara berurutan, arah getar vektor medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus.



Gambar 2.4. Perambatan Gelombang Elektromagnetik dalam arah sumbu X

Bentuk sederhana dari gelombang EM, misalnya adalah solusi yang berbentuk gelombang harmonik, yaitu:

$$1. E(x,t) = E_0 \sin(kx - \omega t) \quad (2.6)$$

$$2. B(x,t) = B_0 \sin(kx - \omega t) \quad (2.7)$$

Beberapa sifat gelombang elektromagnetik adalah:

1. Gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam ruang tanpa medium
2. Merupakan gelombang transversal, yang arah getarnya tegak lurus dengan arah rambatannya

3. Tidak memiliki muatan listrik sehingga bergerak lurus dalam medan magnet maupun medan listrik
4. Dapat mengalami pemantulan (refleksi), pembiasan (refraksi), perpaduan (interferensi), pelenturan (difraksi), pengutuban (polarisasi)
5. Perubahan medan listrik dan medan magnet terjadi secara bersamaan, sehingga medan listrik dan medan magnet sefase dan berbanding lurus.

Tabel 1. spektrum gelombang elektromagnetik (Diwangkara, 2007)

Spektrum	Frekwensi (Hz)	Panjang Gelombang (m)
Sinar gamma	10^{22}	10^{-14}
Sinar X	10^{19}	10^{-10}
Ultraviolet	10^{17}	10^{-8}
Cahaya tampak	10^{15}	10^{-6}
Inframerah	10^{13}	10^{-5}
Radar dan TV	10^{10}	10^{-2}
Gelombang radio	10^3	10^5

2.5. Persamaan Maxwell

Radiasi (pancaran) gelombang elektromagnetik di alam yang dapat kita tangkap dengan indera penglihatan kita adalah cahaya (sinar tampak). Sebagian besar cahaya di bumi disebabkan oleh radiasi sinar matahari, hal ini mudah kita pahami dengan membandingkan tingkat terang – gelap antara siang hari saat ada matahari dan malam hari saat tidak ada matahari.

Karena di udara (di ruang hampa) tidak ada muatan dan arus maka keempat persamaan Maxwell dapat dituliskan sebagai (Reitz, 1993)

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \quad (2.8)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.9)$$

$$\nabla_x \overset{p}{E} = -\frac{\partial \overset{p}{B}}{\partial t} \quad (2.10)$$

$$\nabla_x \overset{p}{B} = \mu_0 \cdot \epsilon_0 \frac{\partial \overset{p}{E}}{\partial t} \quad (2.11)$$

Dari ke empat persamaan diatas dapat diturunkan persamaan gelombang elektromagnetik di ruang hampa. Dari persamaan (2.10) dapat diperoleh persamaan gelombang medan listrik 3 dimensi :

$$\nabla^2 \overset{p}{E} = \mu_0 \cdot \epsilon_0 \frac{\partial^2 \overset{p}{E}}{\partial t^2} \quad (2.12)$$

Hal yang sama juga terjadi untuk medan magnetnya. Dari persamaan (2.11) dapat diperoleh persamaan gelombang medan magnet 3 dimensi :

$$\nabla^2 \overset{p}{B} = \mu_0 \cdot \epsilon_0 \frac{\partial^2 \overset{p}{B}}{\partial t^2} \quad (2.13)$$

2.6.

Sifat – Sifat Vektor Gelombang Elektromagnetik Di Udara

Besaran – besaran fisika yang terlibat secara langsung dalam radiasi gelombang elektromagnetik yaitu medan listrik ($\overset{p}{E}$) dan medan magnet ($\overset{p}{B}$) merupakan besaran – besaran vektor,.

Gelombang medan listrik yang berupa gelombang bidang yang merambat ke kanan dapat dinyatakan dalam bentuk vektor sebagai

$$\overset{p}{E}(\overset{p}{r}, t) = \overset{p}{E}_x(\overset{p}{r}, t) + \overset{p}{E}_y(\overset{p}{r}, t) + \overset{p}{E}_z(\overset{p}{r}, t) \quad (2.14)$$

$$\overset{p}{E}_x(\overset{p}{r}, t) = \overset{p}{E}_{0x} \cdot e^{i(k \cdot \overset{p}{r} - \omega \cdot t)} \quad (2.15)$$

$$\overset{p}{E}_y(\overset{p}{r}, t) = \overset{p}{E}_{0y} \cdot e^{i(k \cdot \overset{p}{r} - \omega \cdot t)} \quad (2.16)$$

$$\overset{p}{E}_z(\overset{p}{r}, t) = \overset{p}{E}_{0z} \cdot e^{i(k \cdot \overset{p}{r} - \omega \cdot t)} \quad (2.17)$$

Jika gelombang merambat sepanjang medium non dispersive, besar amplitudonya tetap, sehingga $\vec{E}_0(\vec{r})$ dapat dituliskan sebagai \vec{E}_0 , dan persamaan (2.17) menjadi

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)} \quad (2.18)$$

2.7.

Hubungan antara Medan Listrik dan Medan Magnet

Hubungan antara medan listrik dan medan magnet pada gelombang elektromagnetik dapat dicari dengan menggunakan persamaan Maxwell ke 3 (Persamaan (2.10)) dan ke 4 (Persamaan (2.11)). Persamaan Maxwell ke 3

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.19)$$

Dapat dituliskan sebagai

$$\begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ \tilde{E}_x & \tilde{E}_y & \tilde{E}_z \end{vmatrix} = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\vec{B}_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)} \right)$$

$$\left(\frac{\partial \tilde{E}_z}{\partial y} - \frac{\partial \tilde{E}_y}{\partial z} \right) \hat{x} + \left(\frac{\partial \tilde{E}_x}{\partial z} - \frac{\partial \tilde{E}_z}{\partial x} \right) \hat{y} + \left(\frac{\partial \tilde{E}_y}{\partial x} - \frac{\partial \tilde{E}_x}{\partial y} \right) \hat{z} = i\omega \vec{B}_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}$$

$$\left((i k_y) \tilde{E}_z - (i k_z) \tilde{E}_y \right) \hat{x} + \left((i k_z) \tilde{E}_x - (i k_x) \tilde{E}_z \right) \hat{y} + \left((i k_x) \tilde{E}_y - (i k_y) \tilde{E}_x \right) \hat{z} = i\omega \vec{B} \quad (2.20)$$

dalam bentuk matriks dapat dituliskan sebagai

$$\begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ k_x & k_y & k_z \\ \tilde{E}_x & \tilde{E}_y & \tilde{E}_z \end{vmatrix} = i\omega \vec{B} \quad (2.21)$$

Persamaan ini selanjutnya dapat dituliskan sebagai

$$\vec{k} \times \vec{E} = \omega \vec{B} \quad (2.22)$$

commit to user

Persamaan ini menunjukkan bahwa arah medan listrik, arah medan magnet dan arah perambatannya saling tegak lurus satu dengan yang lain. Dengan demikian dapatlah disimpulkan bahwa gelombang elektromagnetik adalah gelombang transversal.

Dengan cara yang sama untuk persamaan Maxwell ke 4 yaitu

$$\nabla_x \vec{B} = \mu_0 \cdot \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \tag{2.23}$$

yang diterapkan pada gelombang bidang diperoleh

$$\begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ \vec{B}_x & \vec{B}_y & \vec{B}_z \end{vmatrix} = \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\partial}{\partial t} \left(\vec{E}_0 \cdot e^{i(k \cdot r - \omega t)} \right) \tag{2.24}$$

$$\left(\frac{\partial \vec{B}_z}{\partial y} - \frac{\partial \vec{B}_y}{\partial z} \right) \hat{x} + \left(\frac{\partial \vec{B}_x}{\partial z} - \frac{\partial \vec{B}_z}{\partial x} \right) \hat{y} + \left(\frac{\partial \vec{B}_y}{\partial x} - \frac{\partial \vec{B}_x}{\partial y} \right) \hat{z} = -i \omega \mu_0 \epsilon_0 \vec{E}_0 e^{i(k \cdot r - \omega t)} \tag{2.25}$$

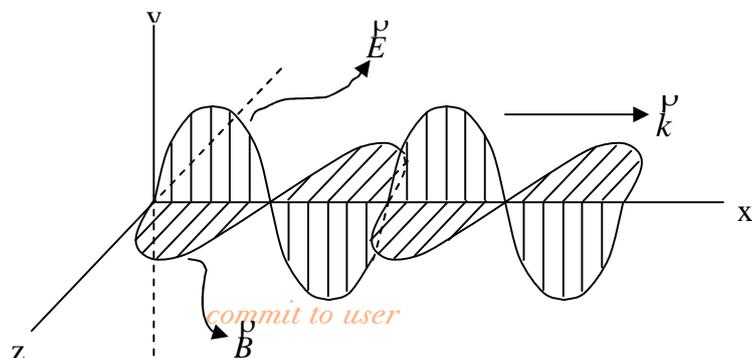
Dalam bentuk matriks, persamaan diatas dapat dituliskan sebagai:

$$\begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ i k_x & k_y & k_z \\ \vec{B}_x & \vec{B}_y & \vec{B}_z \end{vmatrix} = -i \omega \mu_0 \epsilon_0 \vec{E} \tag{2.26}$$

Persamaan ini selanjutnya dapat dituliskan sebagai

$$\hat{k} \times \vec{B} = -\frac{\omega}{k} \cdot \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} \text{ atau } \hat{k} \times \vec{B} = -\frac{1}{c} \cdot \vec{E} \tag{2.27}$$

Berdasarkan persamaan (2.22) atau (2.27) terbukti bahwa medan listrik, medan magnet dan arah penjalarnya saling tegak lurus, Keadaan ini dapat ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Gelombang elektromagnetik yang merambat di udara(Reitz,2007)

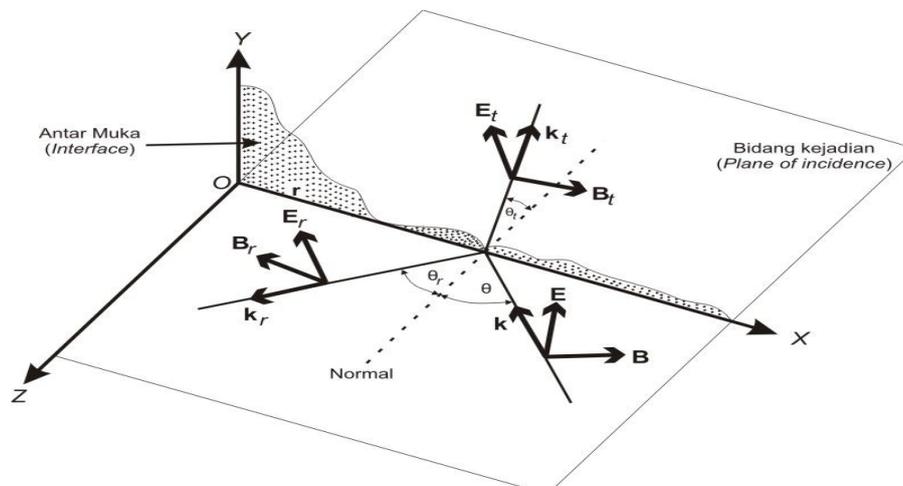
2.8. Polarisasi Cahaya

Cahaya termasuk gelombang elektromagnetik, artinya cahaya mempunyai medan listrik dan juga medan magnet, keduanya berposisi tegak lurus satu sama lain dan tegak lurus terhadap arah rambatan. Cahaya juga dikategorikan sebagai gelombang transversal; yang berarti bahwa cahaya merambat tegak lurus terhadap arah rambatannya. Adapun syaratnya adalah bahwa gelombang tersebut mempunyai arah rambatan tegak lurus terhadap bidang rambatannya. Suatu cahaya dikatakan terpolarisasi apabila cahaya itu bergerak merambat mengutamakan arah tertentu. Cahaya di alam umumnya terpolarisasi secara acak. Hal ini berarti arah E selalu acak, bervariasi dalam waktu yang sangat cepat. Arah rambatan suatu gelombang dicirikan arah vektor bidang listrik gelombang tersebut. Sebagai arah polarisasi dicirikan dari arah vektor bidang magnetnya. Beberapa macam jenis polarisasi yaitu : polarisasi linear, polarisasi melingkar, polarisasi ellips. Gelombang dengan polarisasi melingkar dan polarisasi ellips dapat diuraikan menjadi 2 gelombang dengan polarisasi tegak lurus. Polarisasi linear adalah ketika cahaya merambat hanya dengan satu arah yang tegak lurus terhadap arah rambatan atau bidang listriknya.

2.9. Polarisasi TE dan TM

Polarisasi dalam pemandu-gelombang dapat dibedakan menjadi dua macam :

1. Polarisasi TE (*Transverse Electric*) :Yaitu polarisasi dimana vektor medan listrik berada pada bidang yang tegak lurus arah perambatan gelombang (arah z). Jenis polarisasi ini berhubungan dengan mode TE dari pemandu gelombang.



Gambar 2.6. Polarisasi TE (Pedrotti,1993)

2. Polarisasi TM (*Transverse Magnetic*)

Yaitu polarisasi dimana vektor medan magnetik berada pada bidang yang tegak lurus arah perambatan gelombang (arah z). Jenis polarisasi ini berhubungan dengan mode TM dari pemandu gelombang.

2.10. Polarisasi Linier

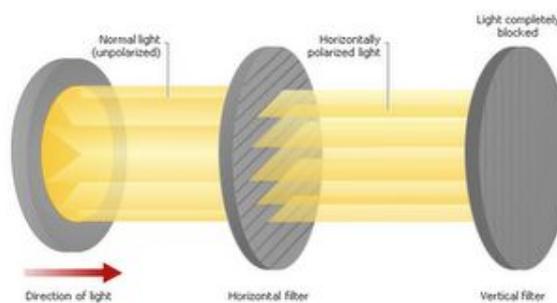
Polarisasi adalah terserapnya sebagian arah getar gelombang, sehingga gelombang hanya memiliki satu arah getar. Polarisator linier adalah sebuah alat yang hanya memungkinkan komponen medan listrik sejajar dengan arah tertentu (disebut sumbu polarisasi) untuk melewatinya. Setiap cahaya yang datang melalui polarisator akan terpolarisasi dalam arah sumbu polarisasi. Dengan menggunakan polarisator, maka gelombang-gelombang yang arah getarnya sejajar dengan sumbu polarisasi dan semua komponen medan listrik E akan diteruskan, dan gelombang-gelombang pada arah getar lainnya juga komponen medan listrik E yang tegak lurus pada sumbu polarisasi akan diserap. Polaroid yang pertama disebut polarisator dan polaroid kedua disebut analisator.

Polarisator berfungsi untuk menghasilkan cahaya terpolarisasi dari sumber cahaya tak terpolarisasi. Analisator berfungsi untuk mengurangi intensitas cahaya

terpolarisasi. Pada polarisator cahaya dipolarisasi secara vertikal, yaitu hanya komponen vektor medan listrik yang sejajar sumbu polarisasi saja yang dilewatkan, sedangkan yang lainnya diserap. Di analisator, semua komponen E_0 yang tegak lurus sumbu polarisasinya diserap, hanya komponen E_0 yang sejajar sumbu analisator (yaitu $E = E_0 \cos \theta$) yang diteruskan. Sehingga intensitas cahaya yang diteruskan oleh system polarisator -analisator mencapai maksimum jika kedua sumbu polarisasi sejajar ($\theta = 0^\circ$ atau $\theta = 180^\circ$), mencapai minimum jika kedua sumbu polarisasi saling tegak lurus.

2.11. Polarisasi Karena Absorpsi Selektif

Polarisasi hanya terjadi pada gelombang transversal dan tidak terjadi pada gelombang longitudinal. Salah satu gelombang cahaya tampak yang dapat dipolarisasi adalah sinar laser, karena sinar laser terdiri dari komponen medan listrik dan medan magnet yang bergerak secara acak. Gambar 2.6 menunjukkan polarisasi cahaya oleh dua buah Polaroid



Gambar 2.7 Polarisasi karena Absorpsi selektif

Penjelasan detail dari sistem (Gambar 2.7) adalah sebagai berikut, Polaroid filter terdiri dari array paralel panjang rantai molekul elektron yang dapat bergerak di sepanjang molekul tetapi tidak dapat bebas bergerak melintasi molekul sempit. Cahaya biasa adalah *unpolarized* karena foton dipancarkan secara acak, sementara sinar laser terpolarisasi karena foton dipancarkan secara koheren.

Ketika cahaya melewati sebuah penyaring polarisasi, medan listrik berinteraksi lebih kuat dengan molekul yang memiliki orientasi tertentu. Hal ini menyebabkan terjadinya berkas untuk berpisah menjadi dua, vektor listrik yang tegak lurus satu sama lain. Filter horizontal yang menyerap foton vektor listrik vertikal (kiri). Sisanya foton diserap oleh filter kedua (analisisator) diputar 90° dengan yang pertama. Jadi hanya satu polarisasi cahaya (di seberang molekul) ditransmisikan. Satu filter yang ditempatkan di depan kotak cahaya dan menjadi polarizer; filter kedua berfungsi sebagai *analyzer*.

Dengan memutar-mutar *analyzer* filter maka intensitas cahaya yang melewati polarisator dapat diubah-ubah. Hubungan antara intensitas cahaya mula-mula, intensitas cahaya setelah melewati polarisator dan sudut polarisator dikenal sebagai hukum *Malus* dan dirumuskan sebagai:

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \theta \quad (2.28)$$

Dengan I_0 adalah Intensitas cahaya mula-mula, I_1 adalah Intensitas cahaya terpolarisasi dan I_2 adalah Intensitas cahaya terpolarisasi dan θ adalah Sudut polarisator.

2.12. Reflektansi dan Transmittansi

Pada proses pemantulan dan pembiasan, cahaya dapat terpolarisasi sebagian atau seluruhnya oleh refleksi. Perbandingan intensitas cahaya yang dipantulkan dengan cahaya yang datang disebut reflektansi (R), sedangkan perbandingan intensitas cahaya yang ditransmisikan dengan cahaya datang disebut transmittansi (T). Fresnel menyelidiki dan merumuskan suatu persamaan koefisien refleksi dan koefisien transmisi yang dihasilkan oleh pemantulan dan pembiasan (Pedrotti, 1993).

Jenis polarisasi dengan medan listrik E tegak lurus bidang datang dan medan magnet B sejajar bidang datang disebut *transverse electric* (TE). Sebaliknya jika medan listrik E sejajar bidang datang maka jenis polarisasi ini disebut *transverse magnetic* (TM). Transmittansi dari bahan dapat dicari dengan membandingkan intensitas sinar laser setelah melalui bahan (I_t) dengan intensitas sinar laser sebelum mengenai bahan (I_0) (Cristina, 2007):

$$T = \frac{I_t}{I_0} \quad (2.29)$$

sedangkan Reflektansi (R) didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas pemantulan (R) dengan intensitas sumber (I) yang dapat ditulis:

$$R = \frac{I_r}{I_0} \quad (2.30)$$

Untuk metode kedua dengan menggunakan sudut datang dan sudut bias didapatkan nilai R dan T sebagai berikut:

$$R_{TM} = \left(\frac{n_2 \cos \theta_i - \cos \theta_t}{n_2 \cos \theta_i + \cos \theta_t} \right)^2 \quad (2.31)$$

$$R_{TE} = \left(\frac{\cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{\cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \right)^2 \quad (2.32)$$

$$T_{TM} = \left(\frac{n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i} \right) \left(\frac{2 \cos \theta_i \sin \theta_t}{\sin(\theta_i + \theta_t) \cos(\theta_i - \theta_t)} \right)^2 \quad (2.33)$$

$$T_{TE} = \left(\frac{n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i} \right) \left(\frac{2 \cos \theta_i \sin \theta_t}{\sin(\theta_i + \theta_t)} \right)^2 \quad (2.34)$$

Sedangkan untuk nilai R dan T sebagai fungsi sudut datang dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut (Desnet, 2007):

$$R_{TM} = \left(\frac{\cos \theta_i - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_i}}{\cos \theta_i + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_i}} \right)^2 \quad (2.35)$$

$$R_{TE} = \left(\frac{n^2 \cos \theta_i - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_i}}{n^2 \cos \theta_i + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_i}} \right)^2 \quad (2.36)$$

$$T_{TM} = \left(\frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_i}}{\cos \theta_i} \right) \left(\frac{2 \cos \theta_i}{\cos \theta_i + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_i}} \right)^2 \quad (2.37)$$

$$T_{TE} = \left(\frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_i}}{\cos \theta_i} \right) \left(\frac{2 n \cos \theta_i}{n^2 \cos \theta_i + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_i}} \right)^2 \quad (2.38)$$

2.13. Prinsip Polarisasi Menggunakan Hukum Fresnel

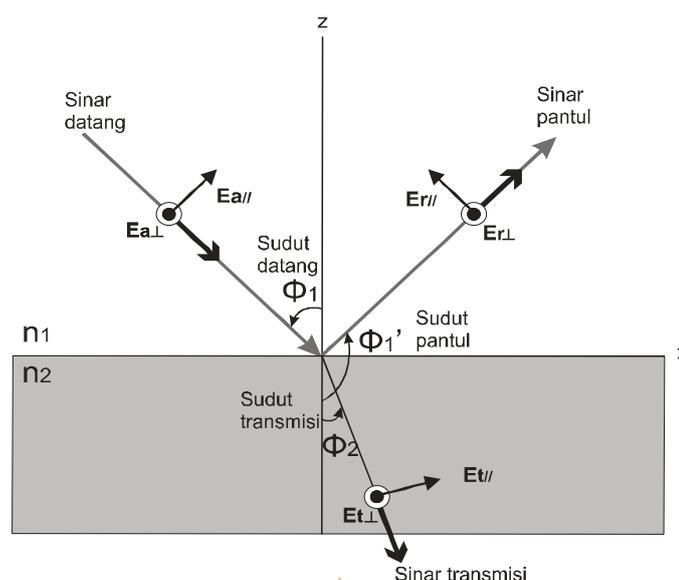
Hukum Fresnel dapat digunakan sebagai dasar untuk menghitung status polarisasi. Hukum ini terkait pula dengan hukum Maxwell yang menyebut bahwa gelombang cahaya adalah gelombang elektromagnet. Hukum pemantulan cahaya yang menyebutkan bahwa untuk permukaan yang tidak menghamburkan cahaya sudut pantul selalu sama dengan sudut datang ini dapat digunakan untuk menghitung intensitas pantulan. Selanjutnya, dengan menambahkan karakteristik polarizer kita bias mendapatkan status polarisasi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.8. Komponen polarisasi dari cahaya datang, cahaya dipantulkan dan cahaya yang ditransmisikan akan paralel dan tegak lurus pada x - z dan diekspresikan dengan \parallel dan \perp . Kemudian kita definisikan sudut cahaya datang Φ_1 , sudut refleksi Φ_1' dan sudut transmisi Φ_2 . Cahaya datang dan cahaya yang dipantulkan akan menuju medium yang sama, maka kita dapatkan $\Phi_1 = \pi - \Phi_1'$. Maka cahaya datang (E_a), cahaya yang dipantulkan (E_r), dan komponen transmisi (E_t) dari medan elektrik vektor akan paralel pada x - z (Iqbal, 2008).

sehingga :

$$E_{a\parallel} = A_{\parallel} \exp [i\{\omega t - k_1(x \sin \Phi_1 + z \cos \Phi_1)\}] \quad (2.39)$$

$$E_{r\parallel} = R_{\parallel} \exp [i\{\omega t - k_1(x \sin \Phi_1 + z \cos \Phi_1)\}] \quad (2.40)$$

$$E_{t\parallel} = T_{\parallel} \exp [i\{\omega t - k_2(x \sin \Phi_2 + z \cos \Phi_2)\}] \quad (2.41)$$



Gambar 2.8. Refleksi Fresnel (Iqbal, 2008)

Jika bilangan gelombang (k) dinyatakan dalam $2\pi/\lambda$, dimana λ adalah panjang gelombangnya, dan kita nyatakan a , r dan t adalah cahaya datang, cahaya pantul dan cahaya transmisi, maka komponen tegak lurus dapat dinyatakan dengan cara yang sama. Relasi antara sudut cahaya datang ϕ_1 dan sudut transmisi ϕ_2 cahaya yang mengalami refraksi yang bergerak melintasi medium ke medium lainnya dapat dinyatakan dalam Hukum Snellius :

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2 \quad (2.42)$$

Batasan kondisi persamaan Maxwell adalah membutuhkan komponen medan elektrik dan medan magnet yang harus selalu kontinyu pada jalur cahaya tersebut. Kemudian amplitudo dari cahaya yang ditransmisikan dalam medium 2 harus ekuivalen dengan jumlah amplitudo cahaya datang dan cahaya yang dipantulkan pada medium 1 dengan arah x dan y . Untuk ketentuan ini, kita mendapatkan

$$E_{oj} + E_{rj} = E_{Tj}, \quad H_{oj} + H_{rj} = H_{Tj} \quad (j=x, y) \quad (2.43)$$

di mana E dan H adalah medan elektrik dan medan magnet. Ini kemudian dapat dikombinasikan dengan persamaan (2.39) dan (2.40) untuk menghasilkan formula Fresnel yang mengekspresikan pantulan dari amplitudo cahaya pada komponen secara paralel dan tegak lurus, r_{\parallel} dan r_{\perp}

$$r_{\parallel} = \frac{E_{r\parallel}}{E_{a\parallel}} = \frac{\tan(\phi_1 - \phi_2)}{\tan(\phi_1 + \phi_2)} \quad (2.44)$$

$$r_{\perp} = \frac{E_{r\perp}}{E_{a\perp}} = -\frac{\sin(\phi_1 - \phi_2)}{\sin(\phi_1 + \phi_2)} \quad (2.45)$$

Intensitas cahaya I dapat dinyatakan dalam :

$$I = \frac{nE^2}{2\sqrt{\mu_0}} \quad (2.46)$$

dimana n adalah refraktif index dari setiap medium dan μ_0 adalah komponen serap untuk hampa udara. Untuk persamaan (2.46) intensitas sifat pantul cahaya (F) menjadi :

$$F_{\parallel} = \frac{\tan^2(\phi_1 - \phi_2)}{\tan^2(\phi_1 + \phi_2)} \quad \text{dan} \quad F_{\perp} = \frac{\sin^2(\phi_1 - \phi_2)}{\sin^2(\phi_1 + \phi_2)} \quad (2.47)$$

Intensitas pantul $F_{//}$ dan F_{\perp} mengacu pada koefisien pantul Fresnel. Persamaan (2.47) mengindikasikan sudut cahaya datang dengan $F_{//} = 0$. Sudut ini berdasarkan teori sudut Brewster disebut ϕ_b . Sudut Brewster adalah $\phi_1 + \phi_2 = \pi/2$ dan hukum Snell menjadi :

$$\phi_b = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (2.48)$$

Persamaan (2.48) ini disebut fase polarisasi untuk pantulan cahaya. Jika kita melihat lagi persamaan ini, intensitas pantulan akan tergantung pada arah rambatan cahaya, apakah paralel ataukah tegak lurus. Jika kita definisikan intensitas maksimum dan intensitas minimum adalah I_{max} dan I_{min} . Penambahan I_{max} dan I_{min} sama dengan total intensitas permukaan objek I_s , maka :

$$I_{max} = \frac{F_{\perp}}{F_{//} + F_{\perp}} I_s, \quad I_{min} = \frac{F_{//}}{F_{//} + F_{\perp}} I_s \quad (2.49)$$

Ingat bahwa I_{min} adalah komponen yang paralel dengan cahaya datang. Dengan menemukan sudut rotasi *polarizer* yang menunjukkan intensitas minimum, maka sudut orientasi cahaya datang q dapat kita tetapkan. Derajat polarisasi ρ dapat dinyatakan :

$$\rho = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (2.50)$$

Derajat polarisasi = 0 untuk *unpolarized light*, dan 1 untuk cahaya yang terpolarisasi linier. Ketika sudut cahaya datang sama dengan sudut Brewster, hanya komponen yang tegak lurus yang muncul pada cahaya yang dipantulkan (cahaya ini terpolarisasi linier) dan derajat polarisasi = 1. Substitusi persamaan – persamaan diatas menghasilkan: (Iqbal, 2008)

$$\rho = \frac{2 \sin \phi \tan \phi \sqrt{n^2 - \sin^2 \phi}}{n^2 - \sin^2 \phi + \sin^2 \phi \tan^2 \phi} \quad (2.51)$$

2.14. Reflektansi Pada Logam

Hukum snellius menyatakan bahwa sudut datang, sudut pantul dan garis normal terletak pada satu bidang. Selanjutnya berdasarkan polarisasinya maka refleksi dibedakan menjadi dua jenis yaitu moda TE dan moda TM . Moda TE terjadi jika medan listrik (E) terpolarisasi secara tegak lurus garis normal. Sedangkan moda TM terjadi jika medan magnet (B) terpolarisasi secara tegak lurus dengan garis normal.

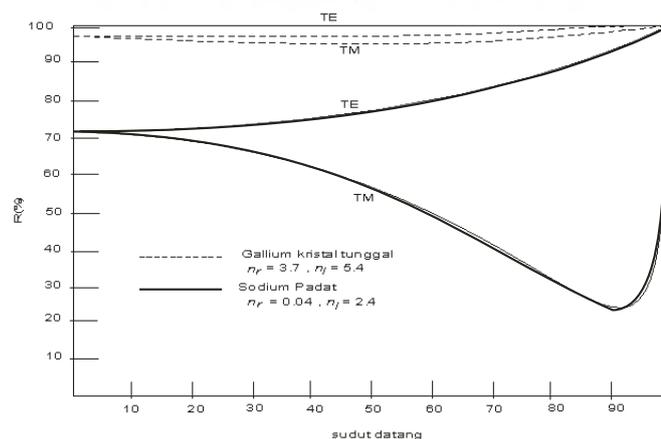
Berdasarkan persamaan Fresnell, persamaan pemantulan pada logam digambarkan sebagai berikut (Pedrotti,1993):

$$r_{TE} = \frac{E_R}{E} = \frac{\cos \theta - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \quad (2.52)$$

$$r_{TM} = \frac{E_R}{E} = \frac{n^2 \cos \theta - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{n^2 \cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \quad (2.53)$$

Dimana E_R adalah intensitas gelombang pantul dan E adalah intensitas gelombang datang.

Grafik hubungan antara koefisien reflektansi sebagai fungsi sudut digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.9. Grafik hubungan antara reflektansi dan sudut pada metal (Pedrotti,1993)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dan kajian matematis. Kegiatan penelitian ini meliputi pengukuran reflektansi logam. Pengukuran reflektansi dilakukan dengan variasi sudut datang. Selain itu pada penelitian ini juga dibuat suatu model corong kolektor surya yang dapat mengumpulkan cahaya secara maksimum. Untuk dapat mendapatkan intensitas yang paling maksimum dilakukan dengan variasi sudut kolektor

3.2. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan selama 5 bulan di Laboratorium Optik Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta mulai bulan September 2009 sampai dengan Januari 2009.

3.3. Alat dan Bahan

3.3.1. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian antara lain :

1. *Power Meter Model 1815-C*
2. *Large Area Visible Photo Receiver Model 2031*
3. Sumber cahaya lampu
4. Sumber cahaya laser
5. Polarisator
6. Busur derajat
7. Adaptor

commit to user

3.3.2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain :

1. Beberapa sampel logam : stainless, aluminium, hardisk, dan logam pintu
2. *Acrylic*

Gambar 3.1 adalah alat-alat yang digunakan untuk penelitian kajian pemantulan bolak-balik pada cermin tak sejajar



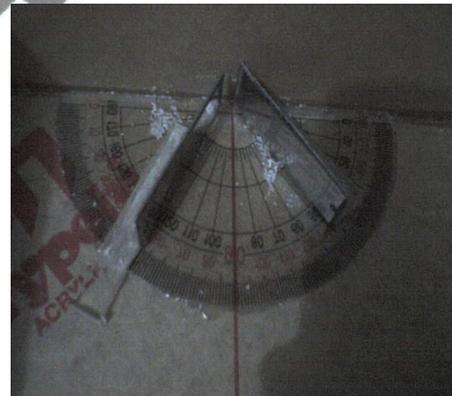
(a)



(b)



(c)



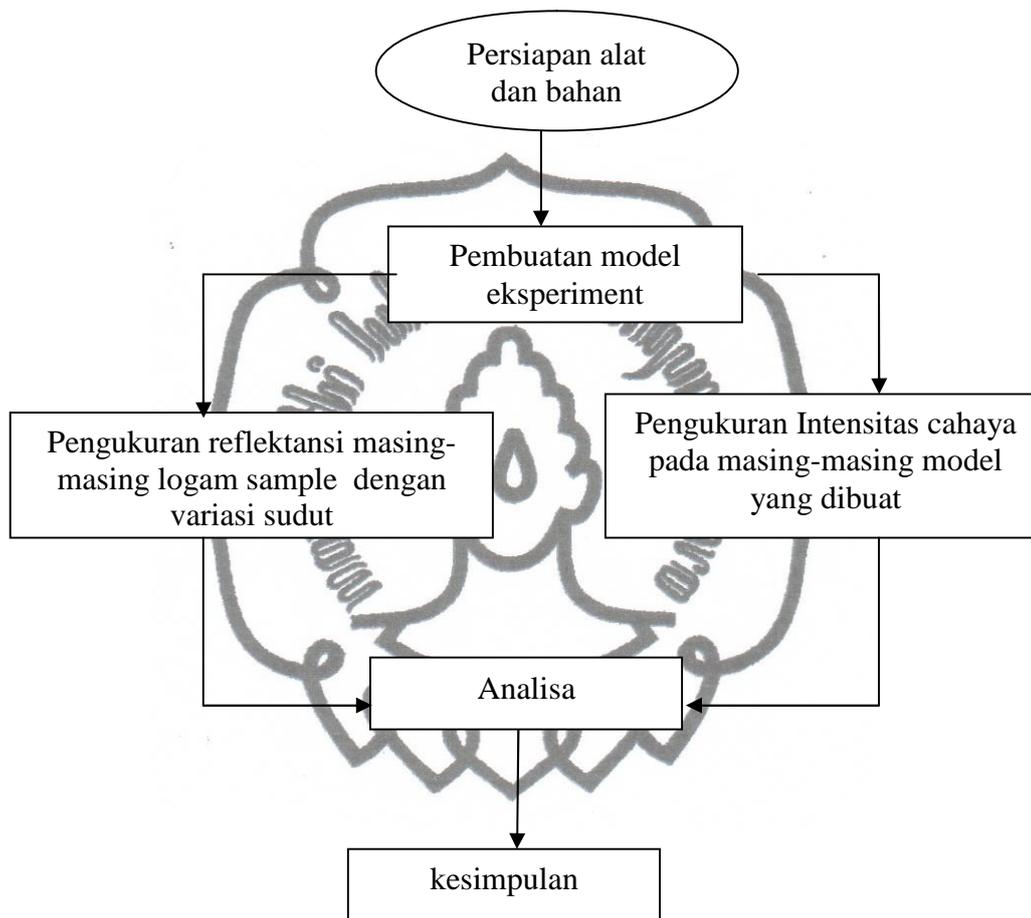
(d)

Gambar 3.1. Alat-alat yang digunakan untuk penelitian kajian pemantulan bolak-balik pada cermin tak sejajar. (a) Sumber cahaya laser, (b) *Photo Receiver*, (c) *Power meter*, (d) Busur derajat dan sample.

commit to user

3.4. Prosedur Penelitian

Tahap – tahap penelitian dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian pemantulan bolak balik antara dua bidang cermin tak sejajar

3.4.1. Persiapan alat dan bahan

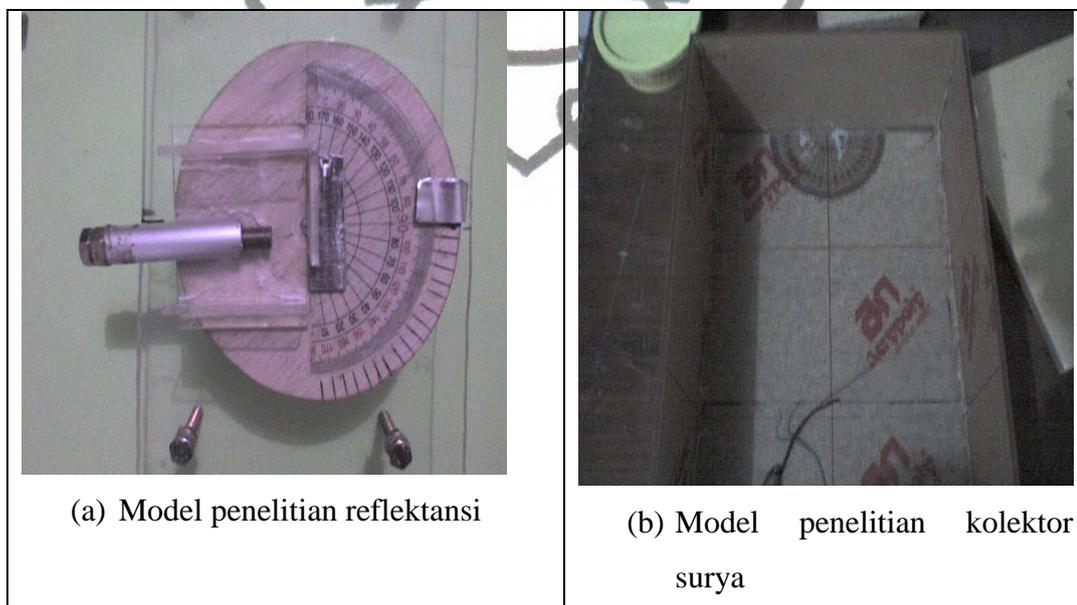
Pada tahap ini dilakukan persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam eksperimen. Bahan yang dibutuhkan diantaranya adalah beberapa sampel plat logam, diantaranya: baja stainless, aluminium, bekas hardisk dan logam pintu, Plat ini nantinya akan diuji reflektansinya. Dan selanjutnya dari plat ini akan dibuat

corong kolektor cahaya. Sebagai dinding kotak ruang gelap kolektor digunakan kaca akrilik. Bahan selanjutnya adalah busur derajat yaitu digunakan sebagai alat untuk mengukur sudut antara cermin(plat) dengan lampu..

Alat yang digunakan dalam penelitian ini ada beberapa macam, yaitu adaptor sebagai sumber tegangan lampu, photo receiver sebagai sensor cahaya, serta power meter sebagai alat pengukur intensitas cahaya.

3.4.2. Pembuatan Model Eksperimen

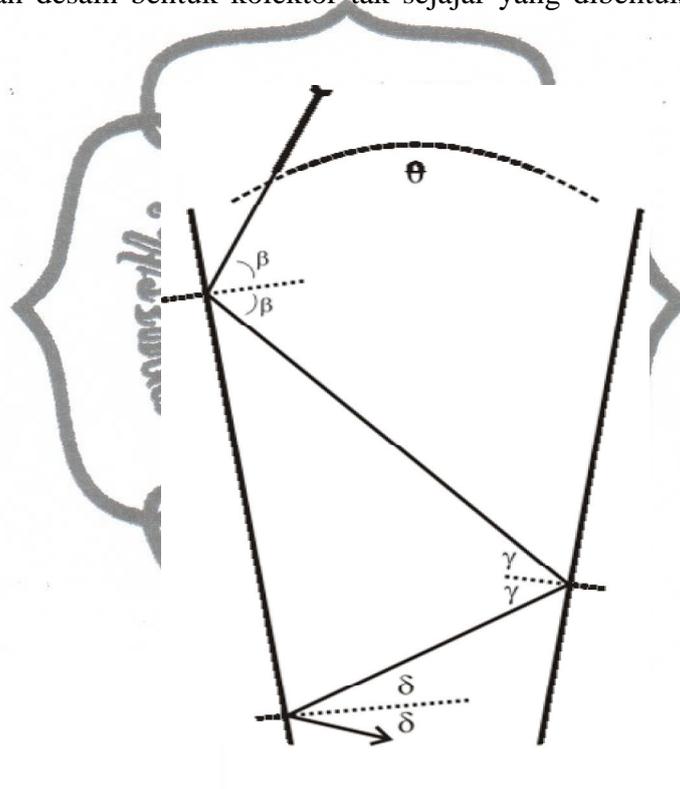
Untuk penelitian yang pertama yaitu mengukur koefisien reflektansi dari plat logam Cu dan stainless hanya menggunakan 1 buah plat yang digunakan sebagai cermin. Sebagai landasan dibuat suatu meja putar yang dilengkapi dengan busur derajat (untuk memvariasi sudut) (gambar 3.3.a). Cahaya dari lampu laser akan dilewatkan pada polarisator kemudian akan dipantulkan oleh cermin. Selanjutnya akan di ukur intensitas cahaya yang terpantul dengan variasi sudut.



Gambar 3.3. Pembuatan Model Eksperimen

Untuk penelitian yang kedua yaitu menentukan hubungan antara sudut kolektor dan intensitas cahaya yang terkumpul. Pada penelitian ini menggunakan

2 buah plat sebagai cermin yang dibentuk menyerupai corong. Corong kolektor ini selanjutnya diletakkan dalam kotak yang terbuat dari akrilik, kotak ini berfungsi sebagai ruang gelap (gambar 3.3.b). Pada penelitian ini juga dibutuhkan busur derajat yang digunakan untuk mengukur sudut dan solar power meter yang digunakan untuk mengukur Intensitas cahaya. Pada penelitian yang kedua ini akan dibuat desain kolektor yang berbentuk cermin tak sejajar. Gambar (3.4). menunjukkan desain bentuk kolektor tak sejajar yang dibentuk dari 2 buah plat datar



Gambar 3.4. Model kolektor surya dengan 2 plat datar yang membentuk sudut θ

3.4.3. Pengambilan Data

3.4.3.1. Menentukan Koefisien Reflektansi logam sampel

Pada penelitian ini, pengambilan data dilakukan dengan mengukur intensitas sinar datang dengan intensitas sinar yang dipantulkan. Untuk mendapatkan nilai koefisien reflektansi pada masing-masing logam sampel dilakukan variasi sudut pada lampu laser dengan garis normal plat kolektor. Garis

normal plat kolektor pada alat penelitian ditunjukkan dengan sudut 90^0 pada busur derajat (gambar 3.5). Cahaya dari lampu laser akan dilewatkan pada polarisator dan menuju plat kolektor, selanjutnya dari plat kolektor sinar tersebut akan dipantulkan dan dihitung intensitasnya. Data antara sudut sinar datang dan intensitas sinar pantul ini dimasukkan dalam grafik dan persamaan untuk mendapatkan grafik reflektansi dari logam yang digunakan. Berdasarkan persamaan pada dasar teori maka dapat dihitung besarnya koefisien reflektansi dari masing-masing sampel plat logam.



Gambar 3.5 Menghitung koefisien reflektansi

3.4.3.2. Menentukan Hubungan Antara Sudut Kolektor Dengan Intensitas Cahaya Yang Berkumpul

Pada penelitian yang kedua ini dirancang suatu bentuk corong kolektor menggunakan 2 buah plat logam yang sama. Dalam mendesain bentuk kolektor, posisi plat dibuat tak sejajar. Selanjutnya pengambilan data dilakukan dengan mengukur intensitas cahaya yang terkumpul dengan variasi sudut cermin. Pengukuran intensitas cahaya dilakukan dengan menggunakan *solar power meter*.



Gambar 3.5 Model eksperimen kolektor surya

3.5. Analisa

Setelah mendapatkan data,selanjutnya dapat dihitung besarnya koefisien reflektansi pada masing – masing logam sampel yang diteliti dengan menggunakan rumus dan grafik. Dari grafik ini selanjutnya dapat dianalisa bagaimana sifat reflektansi dari masing- masing logam. Selanjutnya pada penelitian yang kedua dapat diperoleh grafik hubungan antara sudut kolektor dengan intensitas cahaya yang terkumpul. Pada penelitian ini posisi kedua plat dibuat dalam bentuk tak sejajar.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap, tahapan yang pertama yaitu kajian matematis sedangkan tahap yang kedua yaitu eksperimen. Pada tahap kajian matematis akan dihitung hubungan antara banyaknya pemantulan pada kolektor cermin tak sejajar dengan sudut datang. Selanjutnya pada tahap eksperimen dibagi lagi menjadi 2, yang pertama menentukan karakteristik reflektansi beberapa jenis logam terhadap sinar laser. Sedangkan eksperimen yang kedua yaitu menentukan hubungan antara sudut kolektor dengan intensitas cahaya yang terkumpul.

Pada eksperimen yang pertama, untuk menentukan karakteristik reflektansi dari masing – masing logam dicari hubungan antara sudut datang dengan intensitas sinar laser yang dipantulkan. Sebelum mengenai logam, sinar laser terlebih dahulu dilewatkan pada polarisator. Agar intensitas sinar laser yang berhasil melewati polarisator mencapai maksimum maka sudut polarisator dipilih 0° .

Pada eksperimen yang kedua dibuat suatu desain corong kolektor surya yang terbuat dari bahan logam yang berbentuk plat datar, Pada penelitian ini corong kolektor dibuat dalam bentuk cermin tak sejajar. Artinya sisi bagian dalam kolektor tersebut dapat memantulkan cahaya secara bolak- balik hingga terkumpul pada ujung kolektor bagian bawah. Selanjutnya dari kolektor yang telah dibuat tersebut dicari sudut kolektor yang dapat mengumpulkan cahaya secara maksimum. Pengambilan data dilakukan dengan cara melakukan pengambilan data intensitas cahaya yang terkumpul dengan variasi sudut kolektor dan variasi posisi lampu (sumber cahaya).

Agar dapat efektif mengumpulkan cahaya , maka permukaan plat yang akan dibuat kolektor harus mempunyai reflektansi yang besar. Untuk itu, sebelum dibuat suatu desain kolektor dari beberapa sampel ini terlebih dahulu dipilih plat logam yang mempunyai reflektansi yang paling besar. Hal ini dimaksudkan agar

intensitas cahaya yang terkumpul pada kolektor dapat maksimal, karena reflektansi dinyatakan sebagai perbandingan antara intensitas cahaya sesudah dipantulkan dengan intensitas cahaya setelah dipantulkan.

4.1. Reflektansi beberapa jenis bahan dengan variasi sudut

Sampel yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari jenis bahan logam dan non logam antara lain: aluminium, *baja stainless*, *hardisk* bekas, engsel pintu, dan kaca. Selanjutnya dari bahan-bahan ini dihitung nilai reflektansinya terhadap intensitas sinar laser berdasarkan variasi sudut datang. Cahaya dari lampu laser mula-mula dilewatkan dulu pada polarisator, kemudian diarahkan ke plat logam. Dari plat datar ini selanjutnya sinar laser akan dipantulkan dan dihitung intensitasnya. Agar lebih mudah dalam mengatur sudut datang, maka pada sampel plat logam yang akan diukur diletakkan pada meja putar yang dilengkapi dengan busur derajat. Pengambilan data dilakukan dengan variasi sudut datang, Untuk hasil yang lebih akurat, maka posisi lampu laser dibuat tetap. Variasi sudut datang dilakukan dengan memutar sudut dari meja putar.

Pada penelitian kali ini digunakan sumber cahaya yang berupa sinar laser. Sinar laser yang digunakan berwarna merah dan mempunyai panjang gelombang 632nm. Sinar laser merupakan gelombang elektromagnetik karena terdiri dari vector-vektor medan listrik dan medan magnet. Sesuai dengan persamaan Maxwell maka arah medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus. Dalam arah perambatannya medan listrik dan medan magnet bergerak secara acak.

Agar cahaya yang dipantulkan oleh plat logam dapat terfokus maka sebelum mengenai sampel, sinar laser terlebih dahulu dilewatkan pada polarisator yang dapat mempolarisasikan cahaya. Setelah melewati polaristor hanya komponen-komponen gelombang yang sejajar dengan sumbu polarisator saja yang dapat melewatinya. Karena sinar laser tersusun dari gelombang elektromagnetik maka perhitungan reflektansi bahan dilakukan dengan 2 mode polarisasi yaitu mode TE dan mode TM.

Pada masing – masing pengambilan data reflektansi logam terhadap sudut datang dilakukan dua metode pengukuran yaitu mode TE(transverse elektrik) dan Mode TM(tranverse magnetic). Mode TM dibuat dengan cara meletakkan laser pada posisi vertikal. Hal ini di karenakan pada posisi ini gelombang yang dapat melewati polarizer adalah medan Listrik nya saja, Data reflektansi yang kedua yaitu mode TM. Polarisasi Mode TM dibuat dengan cara meletakkan laser pada posisi horizontal.

Pada penelitian ini cahaya laser yang melewati protoreceiver diubah menjadi pulsa-pulsa energy listrik yang selanjutnya ditransmisikan ke power meter dan diukur dayanya. Dari daya listrik yang tercatat pada power meter ini selanjutnya dapat dihitung Intensitas nya dengan rumus:

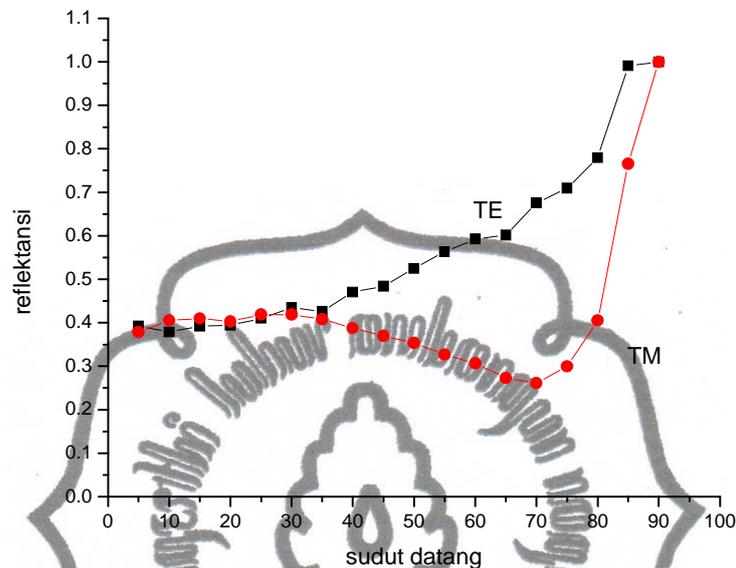
$$I = P/A \quad (4.1)$$

Dengan I adalah *intensitas* ($watt/m^2$), P adalah daya *listrik* ($watt$) dan A adalah *luasan* (m^2). Untuk mendapatkan nilai reflektansi dari data intensitas cahaya yang di refleksikan untuk masing- masing sudut, dapat dilakukan dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.30):

$$R = \frac{I_r}{I_0} \quad (2.30)$$

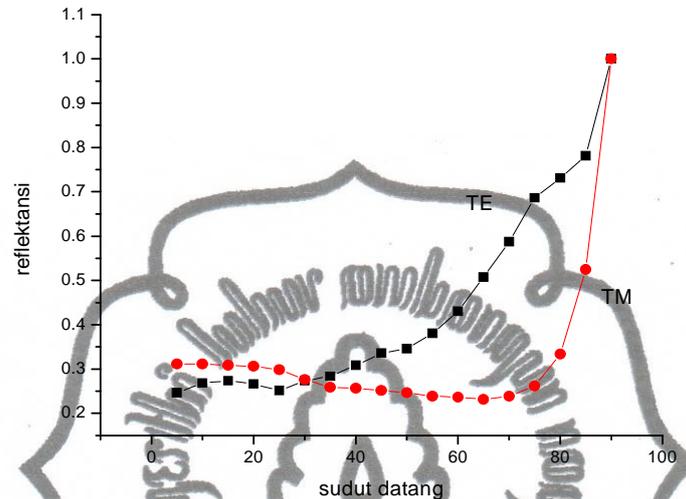
Dengan R adalah refleksi, I_r adalah Intensitas cahaya yang di pantulkan, dan I_0 adalah Intensitas cahaya mula- mula.

Dari hasil perhitungan reflektansi dan sudut ini untuk mengetahui karakteristik refleksi dari plat logam selanjutnya dibuat grafik. Berdasarkan eksperiment yang telah dilakukan diperoleh grafik reflektansi untuk masing- masing sampel adalah sebagai berikut:

1. *Plat baja stainless*Gambar 4.1. Grafik reflektansi baja *stainless*

Pada gambar 4.1. terlihat bahwa nilai reflektansi untuk mode TE semakin meningkat jika sudut datang semakin besar. Peningkatan intensitas tidak linier akan tetapi membentuk lengkungan seperti grafik eksponensial. Mula –mula untuk sudut 5° nilai reflektansi adalah 0,4 kemudian meningkat seiring dengan penambahan sudut datang. Untuk nilai reflektansi Mode TM pada gambar (4.1) menunjukkan bahwa nilai reflektansi logam mula- mula naik sedikit, kemudian pada sudut 35° nilai reflektansi turun dan membentuk cekungan hingga sudut 75° , tetapi setelah sudut 75° nilai reflektansi naik secara drastis hingga sudut 90° . Berdasarkan grafik juga terlihat bahwa nilai reflektansi minimum baja stainless untuk mode TM sebesar 0,26, terjadi pada sudut 70° . Sedangkan untuk mode TE sebesar 0,37 dan terjadi pada sudut 10° . Jika dibandingkan antara kurva reflektansi TE dan TM terlihat bahwa nilai reflektansi TM lebih kecil daripada TE ketika sudut datang $>30^{\circ}$.

2. Plat Aluminium

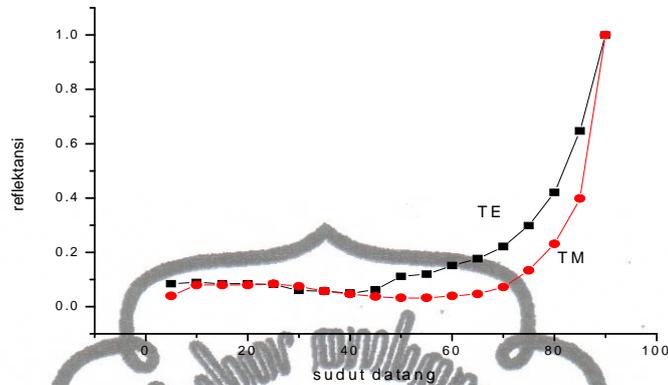


Gambar 4.2. Grafik reflektansi aluminium

Berdasarkan (gambar 4.2.) terlihat bahwa kurva reflektansi pada aluminium menunjukkan trend yang hampir sama dengan reflektansi pada baja. Akan tetapi untuk sudut yang sama pada umumnya kurvanya jauh lebih rendah daripada kurva reflektansi pada baja. Hal ini menunjukkan bahwa dalam memantulkan cahaya, aluminium mempunyai kemampuan reflektansi yang lebih rendah daripada *baja stainless*.

Pada sudut 0° sampai dengan 35° nilai reflektansi untuk mode TE dan TM menunjukkan hasil yang berhimpit atau hampir sama. Kemudian setelah sudut 35° kurva reflektansi mode TE jauh lebih tinggi daripada TM. Untuk mode TE kurva reflektansi aluminium berbentuk cekung kebawah. Pada kurva juga terlihat bahwa nilai reflektansi paling rendah pada sudut 75° yaitu sebesar 0,2. Pada gambar 4.2. juga terlihat bahwa nilai reflektansi terendah untuk mode TE sebesar 0,25 pada sudut 25° . Sedangkan untuk mode TM sebesar 0,231 dan terjadi pada sudut 65° .

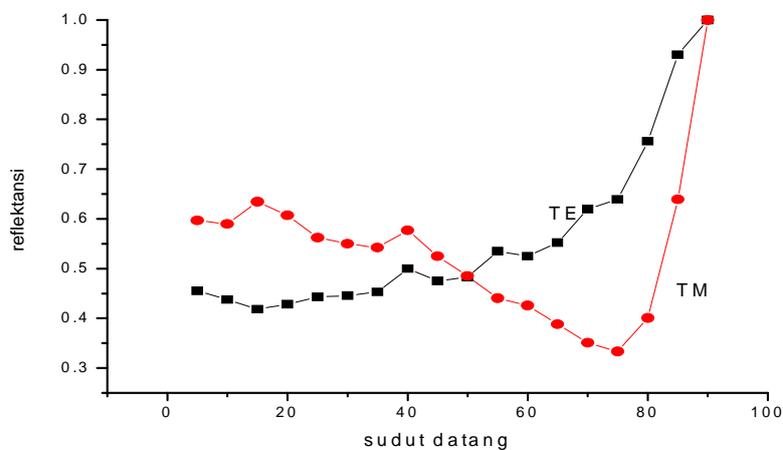
3. Plat engsel pintu



Gambar 4.3. Grafik reflektansi engsel pintu

Gambar 4.3 menunjukkan kurva reflektansi pada engsel pintu dengan variasi sudut datang. Pada grafik terlihat bahwa untuk sudut lebih kecil dari 45° nilai reflektansi TE dan TM besarnya sama untuk setiap sudut. Akan tetapi ketika sudut datang lebih besar daripada 45° kurva reflektansi TE sedikit lebih tinggi daripada TM. Nilai reflektansi terendah TM adalah 0,323 dan terjadi pada sudut 50° - 55° . Sedangkan untuk TE besarnya 0,41 dan terjadi pada sudut 15° .

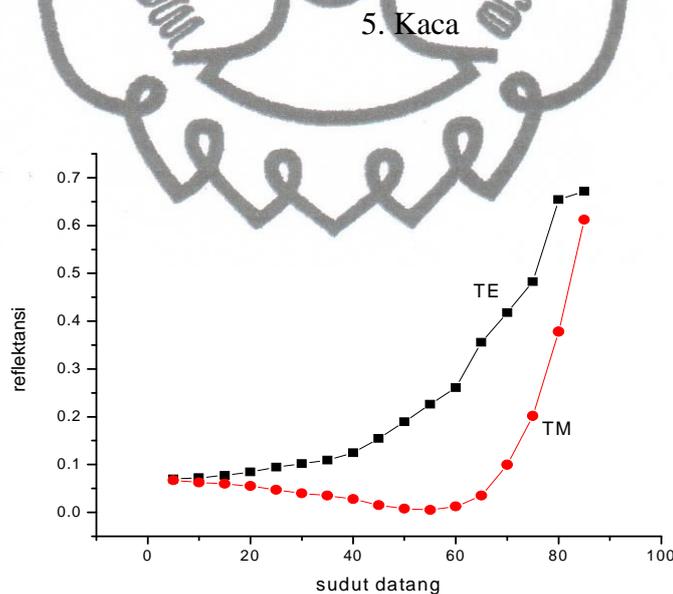
4. Plat Hardisk bekas



Gambar 4.4. Reflektansi plat hardisk bekas

commit to user

Untuk sampel logam hardisk bekas, pengukuran intensitas untuk variasi sudut kadang- kadang menunjukkan hasil yang fluktuatif. Hal ini tentu saja akan berpengaruh terhadap grafik hasil perhitungan. Adanya trend grafik yang tidak mulus ini kemungkinan disebabkan karena permukaan hardisk tidak rata secara mikroskopik. Hal ini menyebabkan pada daerah- daerah tertentu pada permukaannya sebagian intensitas gelombang akan di difraksikan lebih besar daripada daerah sekitarnya. (Gambar 4.4) menunjukkan grafik hubungan antara reflektansi pada hardisk dengan sudut datang. Kurva reflektansi memiliki trend yang berbeda dengan sampel – sampel logam sebelumnya. Pada sudut kurang dari 45° reflektansi TM justru lebih tinggi dari TE. Kemudian pada saat sudut datang lebih besar daripada 50° reflektansi TM lebih rendah daripada TE. Reflektansi terendah TM terukur pada sudut 75° dan besarnya 0,33, Sedangkan reflektansi terendah TE terukur pada sudut 15° dan besarnya adalah 0,41.



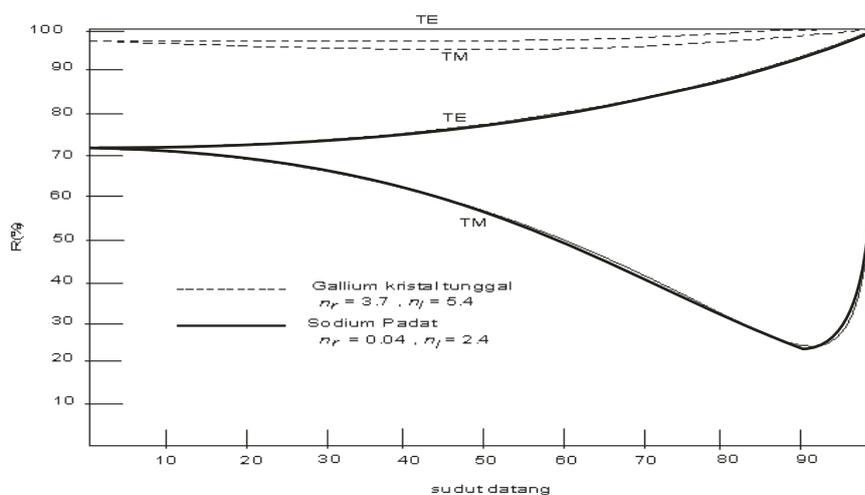
Gambar 4.5. Reflektansi Kaca

Sebagai pembanding pada penelitian ini juga dihitung reflektansi pada bahan non logam yang berupa kaca. Karena kaca memiliki sifat transparan dan mampu melewatkan cahaya maka nilai reflektansinya juga jauh lebih kecil

daripada bahan logam. Pada grafik hubungan antara reflektansi dengan sudut sinar datang pada kaca (gambar4.5) terlihat bahwa kurva reflektansi untuk mode TM melengkung kebawah lebih rendah daripada Reflektansi TM. Hal yang menarik pada saat pengambilan data adalah ketika sudut datang berkisar diantara 45^0 dan 60^0 hampir tidak ada sinar laser yang dipantulkan oleh kaca. Sehingga pada sudut-sudut tersebut grafik reflektansi juga bernilai 0.

Pada grafik reflektansi kaca terlihat bahwa intensitas sinar laser yang dipantulkan makin lama makin naik seiring dengan kenaikan sudut datang. Hal ini sesuai dengan rumus Brewster yaitu semakin besar sudut datang, maka intensitas cahaya yang di refleksikan akan semakin naik. Pada grafik juga terlihat bahwa nilai reflektansi untuk Mode TE lebih besar daripada mode TM. Hal ini dikarenakan pada sinar laser, setelah melewati polarisator nilai medan listriknya lebih besar daripada medan magnet. Jika dibandingkan dengan grafik reflektansi pada bahan metal maka reflektansi pada kaca intensitasnya jauh lebih rendah, Hal ini disebabkan oleh banyaknya cahaya yang ditransmisikan oleh kaca karena kaca mudah dilalui oleh cahaya.

Selanjutnya dari grafik hasil percobaan untuk masing- masing logam yang telah diuji juga dibandingkan dengan grafik reflektansi pada referensi (Pedrotti,1993). Gambar 4.6. menunjukkan grafik hubungan antara reflektansi dengan sudut datang untuk bahan logam secara umum.



commit to user

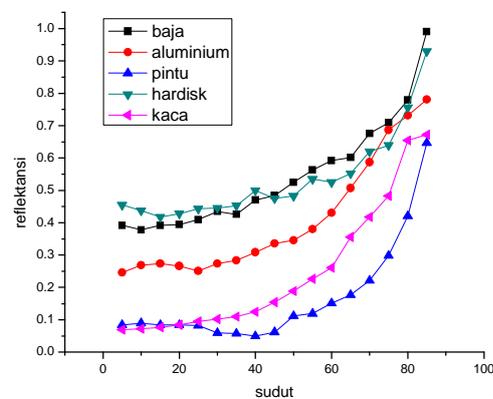
Gambar 4.6. reflektansi pada logam (Pedrotti,1993)

Pada bahan logam, reflektansi untuk mode TE hampir membentuk garis linier yang miring keatas, sedangkan untuk mode TM kurva reflektansinya melengkung kebawah jauh lebih rendah daripada mode TM. Ketinggian kurva Selanjutnya pada sudut mendekati 90^0 nilai reflektansinya mencapai minimum. Ketinggian kurva pada sumbu (y) untuk setiap logam berbeda – beda tergantung dari nilai reflektansi atau kemampuan logam tersebut untuk memantulkan cahaya.

Selanjutnya dibandingkan antara grafik reflektansi untuk masing- masing sampel logam dan grafik pada Gambar 4.6. Untuk bahan aluminium, engsel pintu, dan baja stainless telah menunjukkan bentuk yang hampir sama sengan literatur. Sedangkan untuk bahan kaca juga menunjukkan kurva yang bentuknya hampir sama. Akan tetapi intensitas reflektansi untuk kaca jauh lebih rendah daripada bahan logam, hal ini dikarenakan pada kaca sebagian besar dari intensitas cahaya yang melewatinya akan diteruskan atau dibiaskan.

4.2. Menentukan Perbandingan Reflektansi Masing- Masing Bahan

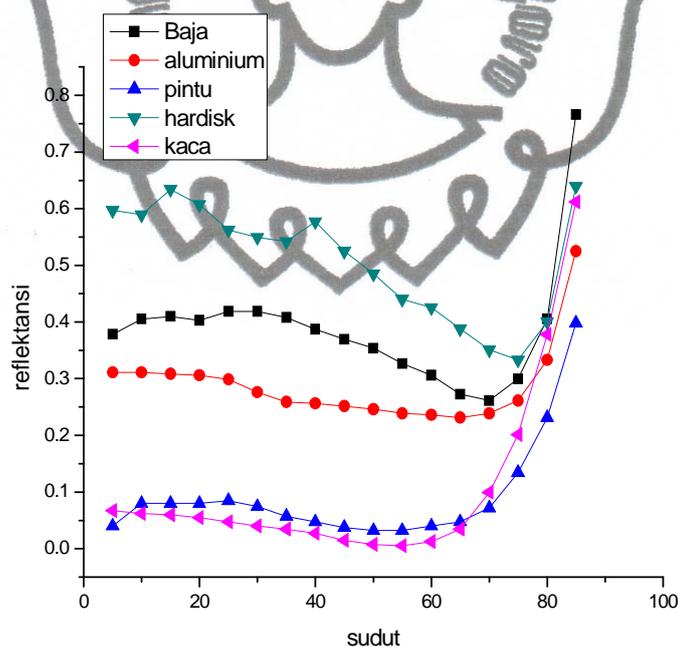
Dari hasil penelitian ini selanjutnya dibandingkan besarnya reflektansi masing- masing logam untuk mode TE dan mode TM. Hal ini bertujuan untuk memilih logam yang memiliki reflektansi paling besar yang selanjutnya akan digunakan sebagai kolektor surya.



Gambar 4.7. Grafik Perbandingan Reflektansi untuk Mode TE

Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan reflektansi kelima jenis sampel berdasarkan variasi sudut untuk mode TE (*transverse electric*). Pada gambar 4.7 juga terlihat bahwa untuk kelima jenis sampel logam grafik reflektansinya mempunyai trend yang hampir sama. Pada masing- masing sampel terlihat bahwa untuk setiap kenaikan sudut maka nilai reflektansinya juga semakin meningkat. Berdasarkan analisa grafik terlihat bahwa untuk mode TE, baja stainless mempunyai reflektansi yang paling besar, disusul dengan aluminium, pegangan pintu, hardisk dan kaca.

Selanjutnya juga dibandingkan reflektansi masing- masing sampel untuk mode TM. Gambar 4.8 menunjukkan menunjukkan grafik hubungan antara nilai reflektansi dengan variasi sudut untuk mode TM. Hal ini juga dilakukan untuk menentukan sampel logam mana yang mempunyai nilai reflektansi paling besar.



Gambar 4.8. Grafik Perbandingan Reflektansi untuk Mode TM

Pada gambar 4.8 terlihat bahwa grafik reflektansi untuk mode TM mempunyai trend yang berbeda dengan mode TE. Mulai dari sudut 5° nilai reflektansinya mengalami kenaikan, selanjutnya pada sudut 40° hingga 70°

reflektansinya mengalami penurunan yang cukup besar, selanjutnya untuk sudut 70° sd 90° nilai reflektansinya mengalami kenaikan drastis. Perbandingan masing- masing grafik menunjukkan bahwa sampel baja stainless mempunyai nilai reflektansi tertinggi, sedangkan kaca mempunyai nilai reflektansi terendah.

Berdasarkan grafik reflektansi masing- masing sampel baik untuk mode TE maupun TM dapat diketahui nilai reflektansi minimum, selain itu juga dapat diketahui nilai reflektansi minimum tersebut terjadi pada sudut berapa.. Tabel 4.1. menunjukkan reflektansi minimum untuk masing- masing bahan. Pada tabel tersebut baja stainless mempunyai reflektansi yang lebih tinggi daripada sampel- sampel yang lain. Berdasarkan table 4.1 juga terlihat bahwa nilai reflektansi minimum untuk setiap jenis sampel terjadi pada berbagai sudut yang berbeda. Selanjutnya pada eksperimen ini baja stainless dipilih sebagai bahan yang paling cocok untuk dibuat kolektor surya pada eksperiment yang ke dua. Yaitu eksperiment untuk menentukan hubungan antara sudut kolektor dengan intensitas cahaya yang terkumpul.

Table 4,1, reflektansi minimum masing-masing sampel

bahan	TE		TM	
	Sudut(θ)	reflektansi minimum	sudut(θ)	Reflektansi minimum
baja	10	0,378	70	0,261
aluminium	25	0,251	65	0,231
Engsel	50	0,111	75	0,134
hardisk	15	0,417	75	0,333
kaca	5	0,06	55	0,004

4.3. Menentukan hubungan antara sudut kolektor dengan intensitas cahaya yang terkumpul

Pada penelitian yang kedua ini akan dibuat suatu desain kolektor surya yang berbentuk cermin tak sejajar dari bahan logam. Untuk mendapatkan intensitas pengumpulan cahaya yang maksimum dari kolektor yang akan dibuat maka pada penelitian ini dipilih logam yang mempunyai reflektansi yang paling besar. Berdasarkan grafik hasil penelitian yang pertama diketahui bahwa logam yang mempunyai reflektansi yang paling besar adalah baja stainless. Selanjutnya

dari plat datar baja stainless tersebut dibentuk suatu kolektor surya berbentuk cermin tak sejajar seperti pada gambar 4.7.



a. Kotak kolektor surya

b. Kolektor surya

Gambar 4.9. desain eksperimen kolektor surya

Detail dari model kolektor surya pada gambar (4.9) adalah sebagai berikut, corong kolektor surya dibuat dari 2 plat baja stainless yang berukuran sama dan dibentuk menyerupai huruf V. Agar dapat mengukur sudut kolektor, maka kolektor ini dilengkapi dengan busur derajat yang diletakkan pada bagian bawah. Corong kolektor ini selanjutnya diletakkan dalam suatu kotak yang terbuat dari *kaca akrilik* berbentuk segi empat ukuran 10cmx10cmx20cm. Fungsi dari kotak *akrilik* pada penelitian ini adalah sebagai ruang gelap yang berfungsi untuk menjaga agar sinar yang terkumpul pada kolektor adalah betul-betul sinar dari sumber cahaya lampu dan tanpa mendapat pengaruh cahaya lain dari luar. Selain itu kotak ini juga berfungsi untuk membuat intensitas cahaya yang mengenai kolektor lebih maksimum. Sumber cahaya yang digunakan pada penelitian ini adalah lampu senter. Untuk menghidupkan lampu senter digunakan rangkaian adaptor sebagai *power supply*.

Pengambilan data pada penelitian ini yaitu akan dicari hubungan antara intensitas cahaya yang terkumpul dengan sudut kolektor. Untuk mengukur intensitas cahaya yang terkumpul digunakan suatu sensor photo receiver yang

dihubungkan dengan power meter seperti pada gambar (4.8) . Fungsi dari *photo receiver* adalah sebagai sensor cahaya, sedangkan power meter berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya yang terkumpul pada ujung kolektor yang berhasil mengenai sensor cahaya. Pengambilan data dilakukan dengan 2 posisi lampu yaitu posisi ditengah dan diujung. Selain itu juga dilakukan variasi lebar celah yang terletak di bagian belakang kolektor. Variasi lebar celah yang dilakukan pada saat pengambilan data berjumlah 3 x yaitu untuk jarak antara celah 2mm, 5mm dan 8mm.

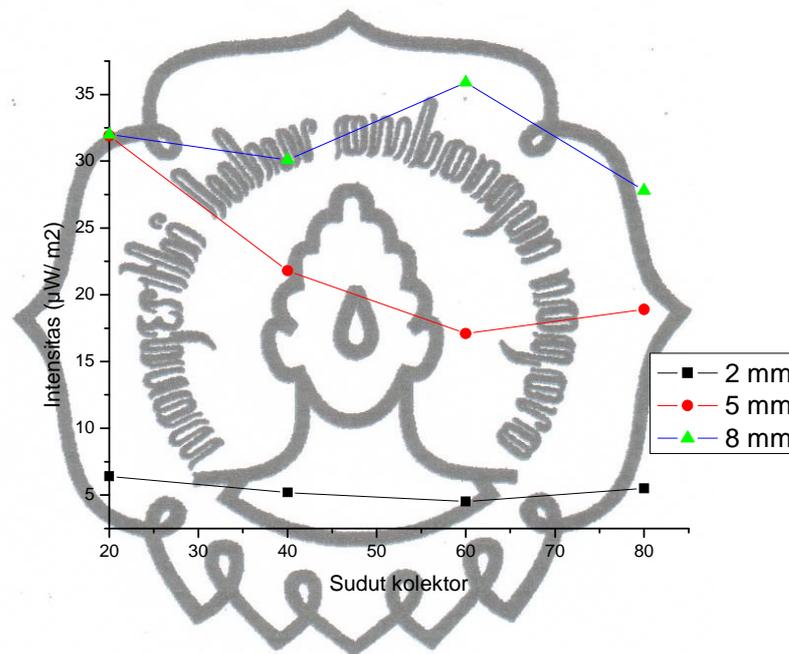


Gambar 4.10. Pengambilan data intensitas kolektor surya

Untuk mencari hubungan antara intensitas cahaya yang terkumpul dengan sudut kolektor maka dilakukan variasi sudut sumbu antara 2 plat kolektor. Variasi yang dilakukan pada pengambilan data adalah sudut 20° , 40° , 60° , dan 80° . Dari masing- masing sudut ini selanjutnya dihitung intensitas cahaya yang terkumpul pada belakang kolektor. Dari data antara intensitas cahaya dan sudut kolektor untuk masing-masing variasi celah dan posisi lampu ini selanjutnya dibuat grafik. Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dua kali, yang pertama dengan variasi sudut kolektor dari sudut kecil ke besar (20° , 40° , 60° , 80°), sedangkan yang kedua dengan variasi sudut kolektor dari sudut terbesar ke sudut kecil (80° , 60° , 40° , 20°).

1. Hasil Pengukuran Intensitas untuk Variasi Sudut (20° , 40° , 60° , 80°)

Pengambilan data yang pertama dilakukan dengan meletakkan lampu dibagian tengah dan dilakukan dengan 3 variasi lebar celah. Hasil pengambilan data terlihat pada lampiran B.1, Dari data ini selanjutnya dibuat grafik seperti pada Gambar 4.11.



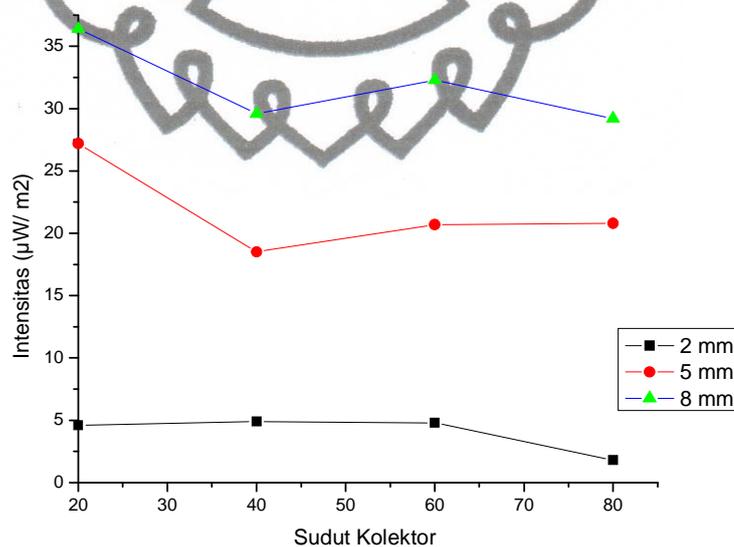
Gambar 4.11. Grafik hubungan intensitas dengan sudut kolektor untuk posisi lampu di tengah

Pembahasan detail dari Gambar 4.11 adalah sebagai berikut, Pada grafik terlihat titik- titik yang jika dihubungkan dengan garis membentuk 3 pola kurva yang menyatakan hubungan antara sudut kolektor dengan intensitas cahaya yang terkumpul untuk masing-masing variasi lebar celah (2mm, 5mm, dan 8mm).

Berdasarkan data dan grafik pada Gambar (4.9) terlihat bahwa untuk setiap variasi sudut kolektor terdapat perbedaan intensitas cahaya yang terkumpul. Pada lebar celah 2mm untuk setiap kenaikan sudut terlihat intensitas cahaya mengalami penurunan hingga sudut 60° . Selanjutnya setelah 60° intensitas cahaya mengalami kenaikan. Pada lebar celah 5mm juga menunjukkan hasil yang sama, mulai dari sudut 20° - 60° intensitas cahaya mengalami penurunan, kemudian

setelah sudut 60° intensitas cahaya kembali naik. Pada lebar celah 5mm grafik terlihat lebih cekung kebawah, artinya untuk lebar 5mm penurunan intensitas lebih tinggi dibandingkan pada lebar celah 2mm. Selanjutnya pada lebar celah 8mm hasil grafik menunjukkan tren yang berbeda dengan 2 ukuran celah sebelumnya. Pada lebar celah 8mm ini, untuk sudut 20° - 40° intensitas mengalami penurunan, kemudian untuk sudut 40° - 60° intensitas mengalami kenaikan yang cukup tinggi, selanjutnya setelah sudut diatas 60° intensitas cahaya mengalami penurunan kembali. Pada grafik juga terlihat bahwa semakin lebar ukuran celah kolektor, maka intensitasnya juga makin besar.

Selanjutnya untuk pengambilan data yang kedua dilakukan dengan meletakkan lampu di pinggir. Variasi lebar celah yang dilakukan sama dengan pengambilan data pertama (2 mm, 5 mm, dan 8 mm). Hasil pengambilan data terlihat pada lampiran B.2. , dari data ini dapat dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Grafik hubungan antara sudut kolektor dengan intensitas untuk posisi lampu dipinggir

Berdasarkan grafik pada Gambar (4.12) terlihat bahwa untuk lebar celah 5mm dan 8mm kurva intensitasnya menunjukkan trend yang hampir sama, yaitu

pada sudut $20^{\circ} - 40^{\circ}$ intensitasnya menurun, kemudian untuk sudut $40^{\circ} - 60^{\circ}$ intensitasnya naik hingga mencapai maksimum.

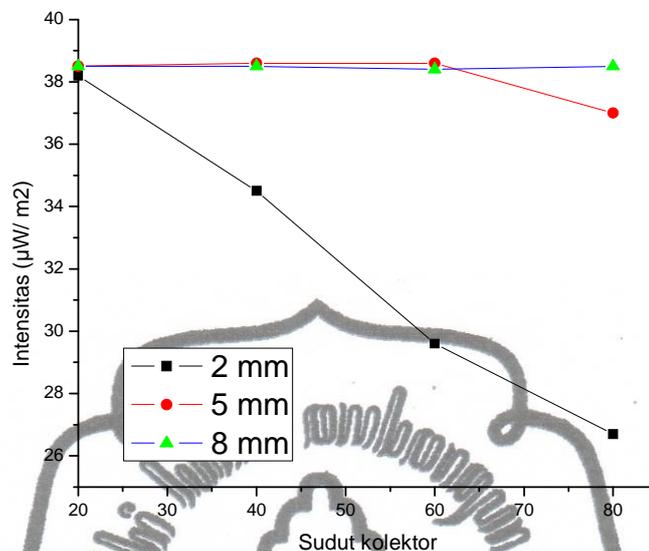
Selanjutnya untuk sudut $60^{\circ} - 80^{\circ}$ pada celah 8mm intensitasnya naik, sedangkan untuk lebar celah 5mm intensitasnya tetap. Berdasarkan grafik juga terlihat bahwa untuk lebar celah 4mm dan 8mm intensitas cahaya yang terkumpul mencapai maksimum ketika sudut kolektor sebesar 60° .

Untuk lebar celah 2mm kurvanya mempunyai bentuk yang berbeda. Untuk sudut $20^{\circ} - 60^{\circ}$ kurvanya hanya sedikit mengalami kenaikan, hal ini dikarenakan pada sudut tersebut nilai intensitas cahaya yang terukur hampir sama. Selanjutnya ketika sudut kolektor dinaikkan menjadi 80° intensitasnya mengalami penurunan. Berdasarkan grafik (gambar 4.10) juga dapat disimpulkan bahwa intensitas maksimum untuk lebar celah 2mm dan 5 mm terjadi pada sudut 20° .

Berdasarkan grafik hasil percobaan terlihat bahwa jika lebar celah ditambah maka kurva intensitasnya akan lebih tinggi, hal ini dikarenakan intensitas yang terukur pada kolektor juga semakin bertambah. Berdasarkan grafik (gambar 4.10), untuk posisi lampu di pinggir terlihat bahwa intensitas cahaya terkumpul pada umumnya mengalami kenaikan ketika sudut kolektor sebesar 60° .

2. Hasil Pengukuran Intensitas untuk Variasi Sudut ($80^{\circ}, 60^{\circ}, 40^{\circ}, 20^{\circ}$).

Pada pengambilan data kali ini hampir sama dengan pengambilan data sebelumnya, akan tetapi pengukuran intensitas cahaya dilakukan dengan variasi sudut kolektor besar ke sudut yang lebih kecil ($80^{\circ}, 60^{\circ}, 40^{\circ}, 20^{\circ}$). Data yang diperoleh untuk posisi lampu di tengah terlihat pada lampiran C1. Dari data ini selanjutnya dibuat grafik seperti pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13. Grafik hubungan antara sudut kolektor dengan intensitas untuk posisi lampu ditengah

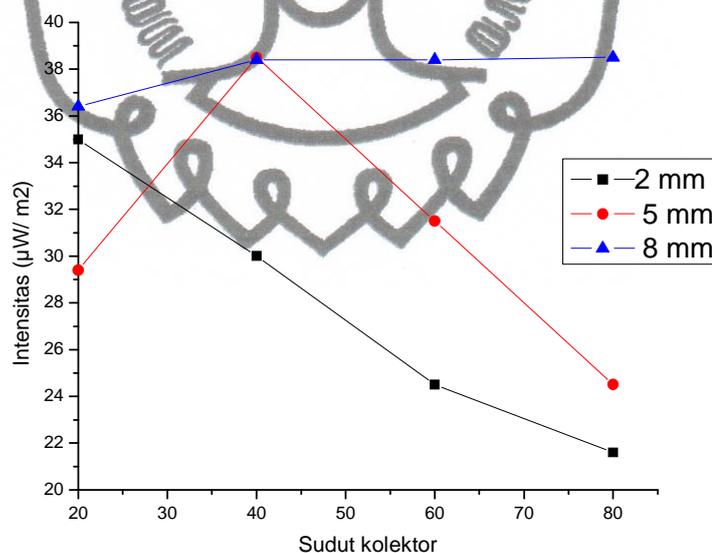
Berdasarkan Gambar 4.13 terlihat bahwa pada lebar celah 2mm untuk setiap penurunan sudut kolektor menghasilkan intensitas cahaya yang semakin meningkat membentuk garis linier. Intensitas cahaya tertinggi yang terukur pada fotodetektor sebesar 38,2 mW dicapai ketika sudut kolektor 20° . Hal ini berarti bahwa adanya penurunan sudut kolektor akan mengakibatkan intensitas cahaya yang terkumpul pada sisi belakang kolektor menjadi semakin maksimum.

Berdasarkan Gambar 4.13. pada lebar celah 5mm dan 8mm, untuk setiap penurunan sudut menunjukkan perubahan intensitas yang tidak terlalu besar. Untuk lebar celah 5mm intensitas tertinggi yang terukur pada foto detector adalah 38,6mW terjadi pada sudut 40° dan 60° . Selanjutnya intensitas cahaya yang terkumpul mengalami sedikit penurunan hingga pada sudut 20° intensitas cahaya yang terukur mencapai minimum sebesar 37mW . Selanjutnya untuk lebar celah 8mm pada grafik menunjukkan hasil yang hampir sama dengan pengukuran pada lebar celah 5mm. Pada sudut 80° intensitas cahaya yang terukur sebesar 38,5 mW dan ketika sudut kolektor diperkecil intensitas cahaya mengalami sedikit

penurunan, akan tetapi setelah sudut kolektor $< 40^{\circ}$ intensitas cahaya yang terukur naik lagi menjadi 38,5mW.

Berdasarkan analisa grafik terlihat bahwa untuk lebar celah 5mm dan 8mm menunjukkan hasil intensitas yang hampir sama untuk setiap penurunan sudut kolektor. Hasil ini menunjukkan bahwa untuk posisi lampu ditengah belum dapat menunjukkan adanya pola yang jelas untuk hubungan antara besarnya sudut kolektor dengan intensitas cahaya yang terkumpul. Hal ini disebabkan oleh kesulitan peneliti dalam memfokuskan cahaya yang terkumpul pada fotodetector.

Selanjutnya dengan variasi sudut yang sama juga dilakukan pengukuran intensitas untuk posisi lampu di pinggir. Hasil pengambilan data terdapat pada lampiran C2. Dari data ini selanjutnya dibuat grafik hubungan antara sudut kolektor dengan intensitas cahaya yang terkumpul pada ujung kolektor.



Gambar 4.14. Grafik hubungan antara sudut kolektor dengan intensitas untuk posisi lampu dipinggir.

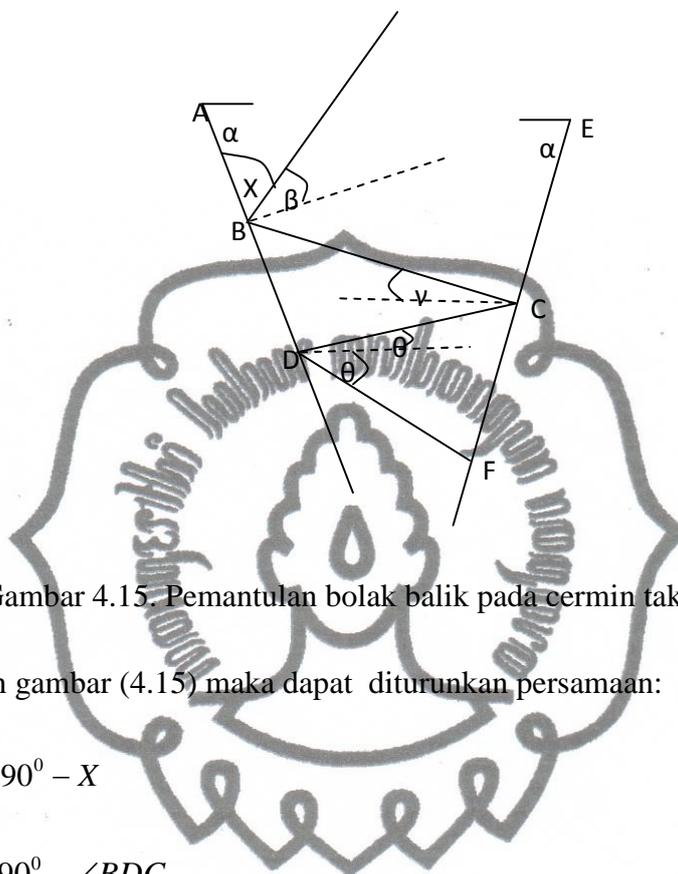
Gambar 4.14 menunjukkan grafik hubungan antara sudut kolektor dengan intensitas cahaya yang terkumpul. Berdasarkan gambar terlihat bahwa kurva untuk masing- masing lebar celah mempunyai trend yang tidak sama. Untuk lebar celah 2mm , ketika sudut kolektor 80° intensitas cahaya yang terkumpul oleh kolektor sebesar 21,6 mW. Selanjutnya intensitas semakin naik seiring dengan penurunan sudut kolektor. Intensitas maksimum sebesar 35 mW terukur pada sudut kolektor 20° .

Untuk lebar celah 5mm pada grafik terlihat adanya kenaikan nilai intensitas seiring dengan penurunan sudut kolektor. Akan tetapi ketika sudut kolektor lebih kecil dari 40° intensitas cahaya yang terkumpul mengalami penurunan. Intensitas minimum terjadi pada sudut 80° sebesar 24,5 mW sedangkan intensitas maksimum terjadi pada sudut 40° sebesar 38,5 mW . Sedangkan untuk lebar celah 8mm, pada grafik terlihat bahwa adanya penurunan sudut kolektor tidak memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap perubahan intensitas cahaya yang terkumpul. Untuk sudut 80° intensitas cahaya yang terukur sebesar 38,5 mW selanjutnya intensitasnya mengalami sedikit penurunan hingga pada sudut 20° intensitas cahaya mencapai nilai minimum sebesar 36,4mW. Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa untuk lebar celah 8mm, adanya penurunan sudut kolektor mengakibatkan intensitas cahaya yang terkumpul mengalami sedikit penurunan. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa lebar celah kolektor berpengaruh terhadap intensitas cahaya yang terkumpul. Semakin lebar celah antara dua plat kolektor surya, maka intensitas cahaya yang terkumpul pada sisi belakang kolektor juga semakin besar.

4.4. Kajian Matematis Pola pemantulan Pada Kolektor Cermin Tak Sejajar

Pemantulan cahaya pada cermin datar pada dasarnya selalu memenuhi hukum pemantulan cahaya, dimana besarnya sudut datang sama dengan sudut pantul. Berdasarkan pada prinsip ini kita dapat memprediksikan jalannya sinar pada kolektor maupun menentukan banyaknya pemantulan pada corong kolektor yang berbentuk cermin tak sejajar. Dengan memasukkan sudut puncak kolektor (α)

dan sudut sinar datang (β) maka kita dapat memprediksikan besarnya sudut pemantulan ke 2, ke 3 dan seterusnya sesuai dengan penjabaran matematis sebagai berikut:



Gambar 4.15. Pemantulan bolak balik pada cermin tak sejajar

Berdasarkan gambar (4.15) maka dapat diturunkan persamaan:

$$\text{a) } \beta = 90^\circ - X \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \text{b) } \theta &= 90^\circ - \angle BDC \\ &= 90^\circ - (180^\circ - 2\gamma - x) = 2\gamma + x - 90 \end{aligned}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (a) ke persamaan (b) maka diperoleh

$$\theta = 2\gamma - \beta \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \text{c) } \text{Dari segiempat } ABCE, \angle BCE &= 360^\circ - (2\alpha + \beta + 90^\circ) \\ &= 270^\circ - (2\alpha + \beta) \end{aligned}$$

maka

$$\begin{aligned} \gamma &= 90^\circ - BCE = -180^\circ + 2\alpha + \beta \\ \gamma &= \beta + 2\alpha - 180^\circ \end{aligned} \quad (4.4)$$

d) Dengan mensubstitusikan persamaan (4.4) ke persamaan (4.3), maka diperoleh:

$$\theta = 2\gamma - \beta$$

commit to user

$$\begin{aligned}
 &= 2(2\alpha + \beta - 180) - \beta \\
 &= 4\alpha + \beta - 360^0
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

Berdasarkan persamaan- persamaan di atas maka sudut pantulan ke1, 2, 3 dan seterusnya dapat dinyatakan dengan pola yang berbentuk persamaan deret :

$$X_n = \beta + (2\alpha - 180^0)n \tag{4.6}$$

Dengan X_n adalah sudut pantulan ke-n dan β adalah menyatakan sudut antara sinar datang dengan garis normal bidang kolektor.

Berdasarkan persamaan diatas jika kita masukkan nilai $\alpha = \beta = 40^0$ maka dapat kita prediksikan besarnya 4 sudut pantulan yang pertama sebagai berikut:

Tabel 4.3. sudut pantulan pertama pada kolektor dengan sudut $\alpha = \beta = 40^0$

Sudut pantulan ke	Rumus $X = \beta + (2\alpha - 180^0)n$	$\beta = 40^0, \alpha = 40^0$
I	β	40
II	$\beta + 2\alpha - 180^0$	-60
III	$\beta + 4\alpha - 360^0$	-160
IV	$\beta + 6\alpha - 540^0$	-260

Selanjutnya dilakukan percobaan untuk membuktikan pola pemantulan diatas, Pada percobaan ini digunakan sinar laser sebagai sumber cahaya, kemudian sudut kolektor dan sudut datang diarahkan sebesar 40^0 . Selanjutnya dilakukan eksperiemnt dengan sudut tersebut, Pada eksperiment tampak jalannya sinar laser, akan tetapi tidak dapat mencapai ujung kolektor. Hal ini disebabkan karena pengaruh jarak antara kedua kolektor dan pengaruh panjang kolektor. Agar dapat sampai ke ujung kolektor sebaiknya ukuran kolektor dibuat pendek.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan tinjauan matematis, besarnya sudut pantulan ke-n pada cermin tak sejajar adalah berbentuk persamaan deret $X_n = \beta + (2\alpha - 180^\circ)n$.
2. Grafik reflektansi pada bahan logam untuk mode TE maupun TM menunjukkan trend yang hampir sama.
3. Berdasarkan grafik reflektansi dari ke-5 jenis sampel (aluminium, baja stainless, engsel pintu, hardisk bekas, dan kaca), yang paling cocok digunakan sebagai kolektor surya adalah baja stainless karena reflektansinya paling tinggi.
4. Pada model kolektor surya yang telah dibuat dari bahan stainless nilai intensitas cahaya yang terkumpul dipengaruhi oleh besarnya sudut kolektor dan posisi lampu.
5. Jarak antara dua plat pada kolektor surya berbentuk cermin tak sejajar sangat berpengaruh pada intensitas cahaya yang terkumpul.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian berikutnya adalah untuk eksperiment mencari sudut kolektor maksimum, sebaiknya dilakukan pengukuran intensitas untuk berbagai variasi sudut datang. Selain itu agar cahaya yang terpantulkan dapat sampai ke bagian ujung kolektor, sebaiknya panjang kolektor dibuat lebih pendek,

