

PEMBUATAN SOLARIMETER DENGAN MEMPERGUNAKAN
SEL SILIKON



NO. SURAT	20 - 06 - 09
NAMA	Fah M. PA
ALAMAT	1.111
NO. TELEPON	Hadiah
NO. FAKS	266 06 09

LUBIS
83 03 131

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN

1989

PEMBUATAN SOLARIMETER DENGAN MEMPERGUNAKAN
SEL SILIKON

T E S I S

Untuk melengkapi tugas-tugas dan
memenuhi syarat-syarat untuk
mencapai gelar sarjana



L U B I S
83 03 131

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN

1989

PEMBUATAN SOLARIMETER DENGAN MEMPERGUNAKAN
SEL SILIKON

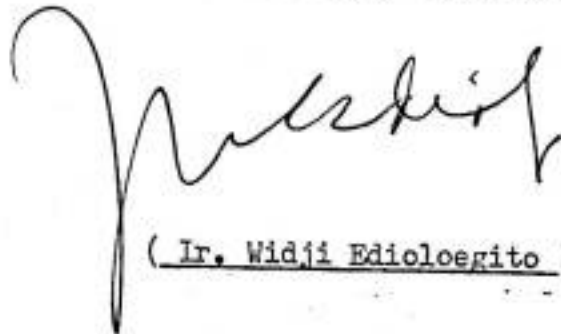
Disetujui oleh .

Pembimbing Utama



(Dr. D.R.M. Mills)

Pembimbing Pertama



(Ir. Widji Edioloeigito)

Pada tanggal 9/4-89

SARI BACAAN

Pada penelitian ini diteliti sifat-sifat sel silikon yang menyangkut karakteristik I-V sebagai fungsi intensitas, respon sel terhadap sudut sinar datang dan dibuat tiga buah solarimeter dengan hambatan beban yang sesuai dengan karakteristik I-V sel silikon.

Suatu solarimeter dapat dibuat dari sebuah sel silikon yang dirangkai dengan hambatan beban yang besarnya ditentukan dari karakteristik arus-tegangan. Pengukuran intensitas radiasi pada lazimnya dilakukan pada bidang datar. Dengan demikian pengamatan respon sel terhadap kemiringan juga dilakukan.

Dengan menggunakan hambatan beban 33,0 ohm dari grafik karakteristik arus-tegangan, diperoleh sensitifitas alat sebesar $0,1367 \text{ mV/Wm}^{-2}$.

Alat ini dapat bekerja linear pada batas intensitas radiasi matahari yang sampai di permukaan bumi dan respon sudutnya mendekati hukum kosinus.

ABSTRACT

In this research are investigated, including some characteristics of silicon, the I-V characteristic as function of intensity, response to incident angle. Three solarimeters were constructed with load resistance appropriate to the I-V characteristic of the cell.

A solarimeter can be made using a silicon cell with a series characteristic load resistance determined by the current-voltage characteristic. The measurement of intensity radiation is usually done on a horizontal plane. Because of this, the cell response to slanting radiation is also observed.

Using a load resistance of 33,0 Ohm according to current-voltage curve, instrument sensitivity $0,1367 \text{ mV/Wm}^{-2}$ was obtained.

This instrument operate linearly within solar radiation intensity limits on the surface of the earth, and its angle response approximates the cosinus rule.

KATA PENGANTAR

Fuji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas karunia-Nya jualah semata sehingga tesis ini dapat dirampungkan.

Tugas akhir ini berjudul: "PEMBUATAN SOLARIMETER DENGAN MEMPERGUNAKAN SEL SILIKON", dibuat dalam rangka memenuhi syarat untuk memperoleh gelar sarjana Fisika dalam bidang Fisika Energi dan Material Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin di Ujung Pandang.

Atas terwujudnya tesis ini perkenankanlah kami mengucapkan terima kasih kepada :

- I. Bapak Dr.D.R.M. Mills sebagai pembimbing utama dan bapak Ir. Widji Ediolloegito sebagai pembimbing pertama, yang telah mengorbankan waktu dan tenaganya untuk membimbing dan mengarahkan kami dalam menyusun tesis ini.
- II. Ayah bunda tercinta yang telah mencurahkan kasih sayang, dorongan moril dan materialnya, sehingga studi kami pada jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin dapat diselesaikan.
- III. Bapak dan ibu dosen serta segenap staf laboratorium Universitas Hasanuddin, yang dengan senang hati mengajar dan membantu kami selama ini.
- IV. Rekan-rekan mahasiswa sejurusan Fisika, rekan-rekan di pondok Darussalam, kakak dan adik di Cakke serta

semua pihak yang telah banyak ikut berpartisipasi sampai rampungnya tesis ini .

Atas segala kebaikan tersebut kami hanya dapat mendoakan semoga mendapat balasan yang setimpal dari-Nya.

Ujung Pandang, April 1989

Penyusun

DAFTAR ISI

	Hal
SARI BACAAN	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Ruang Lingkup	1
I.3. Tujuan	2
I.4. Sistematika Laporan	2
BAB II. TIJAUAN PUSTAKA	4
II.1. Prinsip Kerja Sel Fotovoltaik	4
II.2. Rangkaian Ekuivalen	7
II.3. Efek Suhu	8
II.4. Tanggapan Spektrum	9
2.4.1 Spektrum Matahari	9
2.4.2 Tanggapan Sel Silikon	10
2.4.3 Spektrum Lampu Halogen	11
II.5 Sifat-Sifat Sel Silikon	12
2.5.1 Karakteristik Arus Tegangan	12
2.5.2 Respon Arus Terhadap Intensitas ..	13
BAB III. METODOLOGI	15
III.1. Alat dan Bahan	15
III.2. Sel Silikon	16

III.3	Intensitas Penyinaran Matahari (I_m)	16
III.4	Linieritas Arus Hubungan Singkat I_{sc} pada Intensitas Penyinaran Laboratorium ..	17
III.5	Karakteristik Arus-tegangan	18
III.6	Batas Hambatan Beban	19
III.7	Respon Arus Sel Terhadap Sudut Datang Sinar	20
III.8	Pembuatan dan Kalibrasi	21
	3.8.1 Pembuatan	21
	3.8.2 Kalibrasi dengan Actinograph	21
III.9	Sensitifitas Solarimeter Sel Silikon	22
BAB	IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
	IV.1 Pengamatan Linieritas Arus Hubungan Singkat I_{sc} Terhadap Intensitas Penyinaran	23
	IV.2 Karakteristik Arus-tegangan	25
	IV.3 Batas Hambatan Beban	29
	IV.4 Respon Sel Terhadap Variasi Sudut Datang Sinar	29
	IV.5 Kalibrasi dengan Actinograph	37
	IV.6 Sensitifitas Solarimeter Sel Silikon	40
BAB	V. SIMPULAN DAN SARAN	41
	V.1 Simpulan	41
	V.2 Saran-saran	41
	DAFTAR HUSTAKA	43

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar II.1.a Peta energi elektron dan distribusi muatan semikonduktor sambungan n-p dalam kesetimbangan	5
Gambar II.1.b Pembangkitan elektron-lubang akibat penyerapan foton	5
Gambar II.2 Skematik pengaliran arus suatu sel fotovoltaiik	6
Gambar II.3 Rangkaian ekuivalen sel silikon	7
Gambar II.4 Grafik spektrum matahari	10
Gambar II.5 Kurva tanggapan spektrum sel silikon ..	11
Gambar II.6 Kurva tanggapan sel silikon terhadap spektrum lampu halogen dan spektrum matahari AMO	12
Gambar II.7 Grafik karakteristik arus-tegangan sel silikon	13
Gambar II.8 Respon arus-tegangan terhadap intensitas penyinaran sel fotovoltaiik	14
Gambar III.1 Sketsa sel silikon pembesaran ± 50 kali ukuran sebenarnya	16
Gambar III.2 Rangkaian arus hubungan singkat I_{sc} sel silikon	17
Gambar III.3 Rangkaian karakteristik I-V	18
Gambar III.4 Contoh garis beban karakteristik arus - tegangan sel silikon	19

Gambar III.5	Sinar jatuh pada sel sebesar θ	20
Gambar IV.1	Grafik arus hubungan singkat I_{sc} terhadap intensitas penyinaran:	24
Gambar IV.2	Karakteristik arus-tegangan: sel silikon	28
Gambar IV.3.1	Respon sel silikon I terhadap sudut sinar datang pada intensitas γ	32
Gambar IV.3.2	Respon sel silikon II terhadap sudut sinar datang pada intensitas γ	33
Gambar IV.3.3	Respon sel silikon III terhadap sudut sinar datang pada intensitas relatif γ	34
Gambar IV.4	Grafik hubungan $\cos \theta$ dengan I/I_0 pada intensitas relatif γ untuk sel I, II, dan III	35
Gambar IV.5	Kemiringan bagian aktif sel terhadap plastik permukaan	36
Gambar IV.6	Grafik kalibrasi alat solarimeter	39

DAFTAR TABEL

No.		Hal
1. Tabel 1V.1	Data arus hubungan singkat I_{sc} terhadap intensitas relatif penyinaran..	23
2. Tabel 1V.2a	Karakteristik arus tegangan pada intensitas \mathcal{I}_3 , \mathcal{I}_5 dan \mathcal{I}_6	26
3. Tabel 1V.2b	Karakteristik arus tegangan pada intensitas \mathcal{I}_7 , \mathcal{I}_8 dan \mathcal{I}_9	27
4. Tabel 1V.3	Respon arus sel silikon terhadap variasi sudut datang pada intensitas relatif \mathcal{I}_5	31
5. Tabel 1V.4	Data kalibrasi	32

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Karena mengingat manfaat matahari dalam kehidupan manusia dan mahluk-mahluk yang lain, maka pendataan dan pengumpulan informasi fisis matahari serta pengaruhnya terhadap lingkungan sekeliling, menyebabkan kegiatan ini terus dilaksanakan.

Pendataan mengenai karakteristik matahari termasuk intensitas, spektrum matahari, distribusi serta lamanya penyinaran di beberapa tempat dan lain-lain, akan cepat terpendahi dengan tersedianya alat-alat ukur yang memadai.

Sel silikon atau sel fotovoltaik adalah suatu alat yang dapat mengkonversi energi elektromagnetik menjadi energi listrik secara langsung. Jika sel silikon dirangkai dengan suatu alat ukur tertentu dan dengan mengenal karakteristik selnya, maka sistim ini dapat berfungsi sebagai solarimeter.

I.2. Ruang Lingkup

Untuk meneliti sifat-sifat sel silikon, diperlukan sumber cahaya buatan yang diatur intensitasnya dengan tidak merubah spektrumnya. Sebagai sumber cahaya digunakan balon lampu halogen berdaya 55 watt 12 volt DC. Intensitas maksimum yang menerpa sel dibatasi sekitar 1,3 kali, intensitas maksimum radiasi matahari yang sampai di permukaan bumi.

Pengukuran intensitas radiasi pada lazimnya dilakukan pada bidang horisontal, dimana intensitas pada permukaan horisontal berbanding lurus dengan kosinus sudut datang. Alat ukur yang baik diharapkan memiliki respon kosinus untuk sinar datang yang juga tidak normal.

Karena output sel silikon dapat berupa arus atau tegangan, maka dalam hal ini dipilih output tegangan, dengan alasan untuk menghindari pengaruh hambatan pada sambungan kabel. Hambatan beban perlu dipilih berdasarkan karakteristik arus-tegangan. Dengan pemilihan itu, tegangan output diharapkan linier terhadap intensitas.

I.3. Tujuan.

Mendesain solarimeter sel silikon dan membuat tiga buah solarimeter serta melakukan kalibrasi dengan solarimeter yang lain. Untuk ini juga perlu diteliti sifat-sifat sel silikon sebagai berikut:

- a. Karakteristik arus-tegangan sebagai fungsi intensitas.
- b. Respon sel silikon terhadap kemiringan sinar datang.

I.4. Sistematika Laporan

Bab I merupakan bagian pendahuluan yang menyajikan latar belakang, tujuan, ruang lingkup penelitian. Bab II, disajikan kerangka teori yang melandasi penelitian ini. Selanjutnya pada bab III dibahas secara khusus metodologi : yang dipakai, alat yang digunakan serta cara pengambilan data.

Hasil yang diperoleh serta pembahasannya disajikan pada bab IV dan bab V menyajikan simpulan hasil penelitian dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

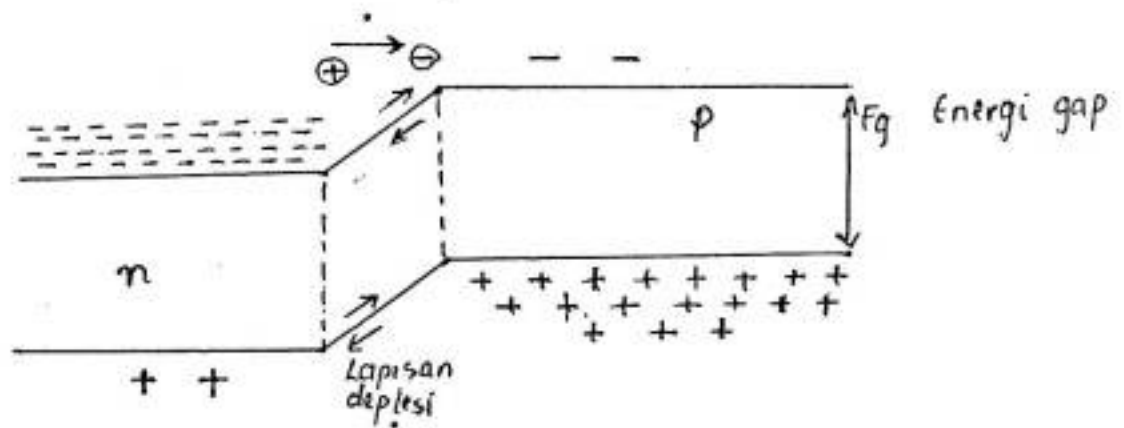
II.1. Prinsip Kerja Sel Fotovoltaik

Sel fotovoltaik termasuk sel silikon terdiri dari sambungan bahan type p dan type n . Bahan type p dan type n terbuat dari bahan semikonduktor yang masing-masing telah diberi ketakmurnian tertentu .

Jika suatu sambungan p-n pertama kali dibentuk, terdapatlah suatu proses pemuatan sementara yang menimbulkan suatu medan listrik disekitar sambungan . Meskipun semikonduktor type n dan type p dimuati netral oleh dirinya sendiri, namun konsentrasi elektron sebagai pembawa utama pada bahan type n sangat tinggi sehingga ketika dihubungkan dengan material type p, akan terjadi difusi elektron dari bahan type n ke bahan type p dan pada saat yang bersamaan akan terjadi difusi lubang dari bahan type p ke bahan type n. Proses itu berlanjut terus sampai medan listrik disekitar sambungan menghentikan difusi elektron dan lubang lebih lanjut dan kesetimbangan aliran akan tercapai seperti ditunjukkan pada gambar II.1.a. [2]

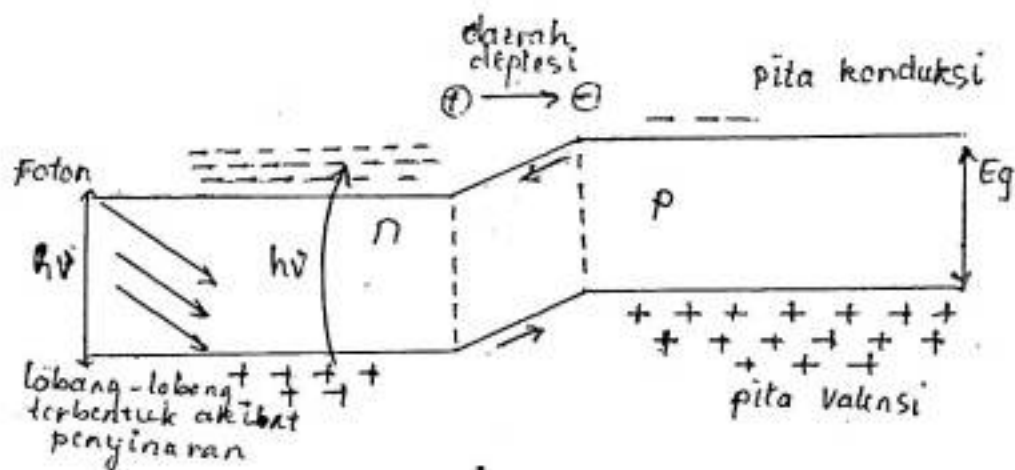
Jika sel menerima medan dari luar berupa foton dengan energi $h\nu$, maka kesetimbangan elektron dan lubang akan terganggu.

Foton yang jatuh di dekat sambungan akan mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan pada saat yang bersamaan, lubang terbentuk pada pita valensi seperti yang terlihat pada gambar II.1.b.



Gambar II.1.a.

Peta energi elektron dan distribusi muatan semikonduktor sambungan n-p dalam kesetimbangan.



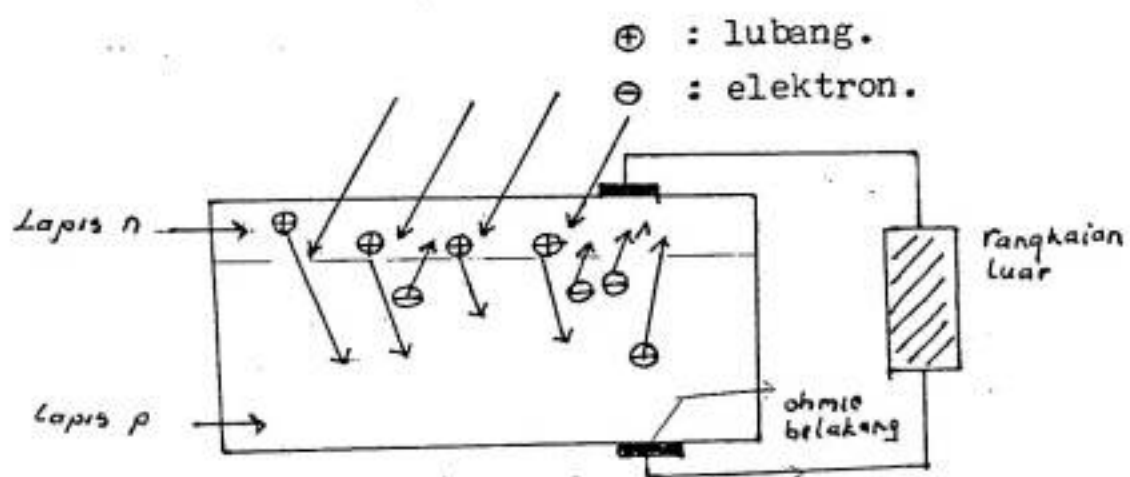
Gambar II.1.b.

Pembangkitan elektron-lubang akibat penyerapan foton

Dengan demikian, foton yang datang dengan energi $h\nu$, akan menimbulkan pasangan elektron dan lubang pada sambungan p-n tersebut.

Elektron dan lubang mengalir dengan arah berlawanan. lubang-lubang yang berada pada daerah n akan mengalir ke daerah p dan elektron mengalir dari daerah p ke daerah n akibat medan listrik.

Arus listrik yang timbul mengalir ke luar sel silikon dari ujung type p. Apabila kedua kutub sel fotovoltaik itu dihubungkan melalui rangkaian luar, maka arus listrik akan mengalir pada rangkaian itu, selama foton tetap menerpa sel tersebut. Skematik pengaliran arus sel fotovoltaik dapat dilihat pada gambar II.2.

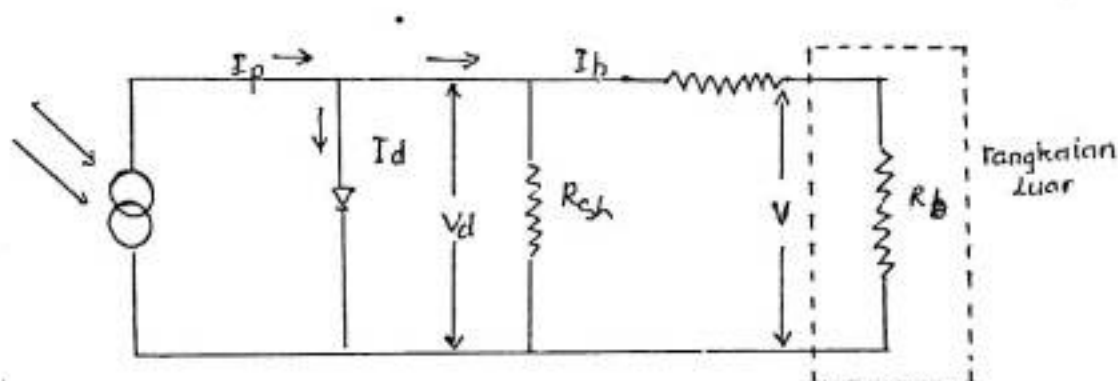


Gambar II.2

Skematik pengaliran arus suatu sel fotovoltaik

II.2. Rangkaian ekuivalen.

Sel silikon pada gambar II.2 memiliki rangkaian ekuivalen seperti yang diperlihatkan pada gambar II.3.[3]



Gambar II.3

Rangkaian ekuivalen sel silikon

Dengan R_s adalah hambatan seri yang terdiri dari hambatan ohmik depan, ohmik belakang dan hambatan akibat bahan ketakmurnian.

R_b adalah hambatan beban luar.

R_{sh} adalah hambatan paralel yang sangat besar sehingga arus yang mengalir padanya sangat kecil.

Dengan mengabaikan arus pada R_{sh} maka diperoleh persamaan arus rangkaian ekuivalen II.3 sebagai berikut:

$$I_b = I_p - I_d \quad \text{II.1}$$

Dengan I_b adalah arus listrik yang melalui beban luar.

I_p adalah arus fotovoltaiik akibat penyinaran.

I_d adalah arus gelap dioda.

Sel silikon yang dalam keadaan gelap akan bersipat sebagai dioda biasa (4) yang mempunyai persamaan arus sebagai berikut :

$$I_d = I_o \left\{ \exp (e V_d / kT) - 1 \right\}$$

atau

$$I_d = I_o \left\{ \exp [e (V + I_b R_s) / kT] - 1 \right\} \quad \text{II.2}$$

Dengan, $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C, muatan elektron.

V_d adalah tegangan pada dioda.

V tegangan output sel silikon sesuai dengan gambar II.3.

$k = 1,381 \times 10^{-23}$ JK⁻¹, konstanta Boltzmann.

T adalah temperatur dalam kelvin.

I_o adalah arus bocor atau arus balik dioda.

Jika persamaan II.2 disubsitusikan ke dalam persamaan II.1, maka diperoleh arus yang mengalir melalui beban luar tersebut sebesar :

$$I_b = I_p - I_o \left\{ \exp (q(V + I_b R_s) / kT) - 1 \right\} \quad \text{II.3}$$

Arus listrik yang timbul pada rangkaian luar, akan mengalir ke luar sel silikon dari kutub p.

II.3. Efek Suhu.

Telah dijelaskan pada bagian terdahulu bahwa pada prinsipnya sel fotovoltaiik dibangun dari bahan semikonduktor type p dan bahan type n.

Arus balik jenuh dan tegangan pada beban luar, pada lazimnya dipengaruhi oleh perubahan temperatur. Arus balik jenuh I_0 akan bertambah 2 kali lipat setiap kenaikan 10°C , sedangkan gradien perubahan tegangan terhadap temperatur diberikan pada persamaan berikut: [5]

$$\frac{dV}{dT} = - 2,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}.$$

II.4. Tanggapan Spektrum.

Seperti telah dijelaskan pada bab II.1 bahwa jika energi foton yang menimpa sel lebih besar dari energi gap E_g , maka akan men bangkitkan pasangan elektro dan lubang. Banyaknya pasangan yang dibangkitkan persatuan luas persatuan waktu yang jaraknya x dari permukaan dapat ditulis sebagai berikut: [3]

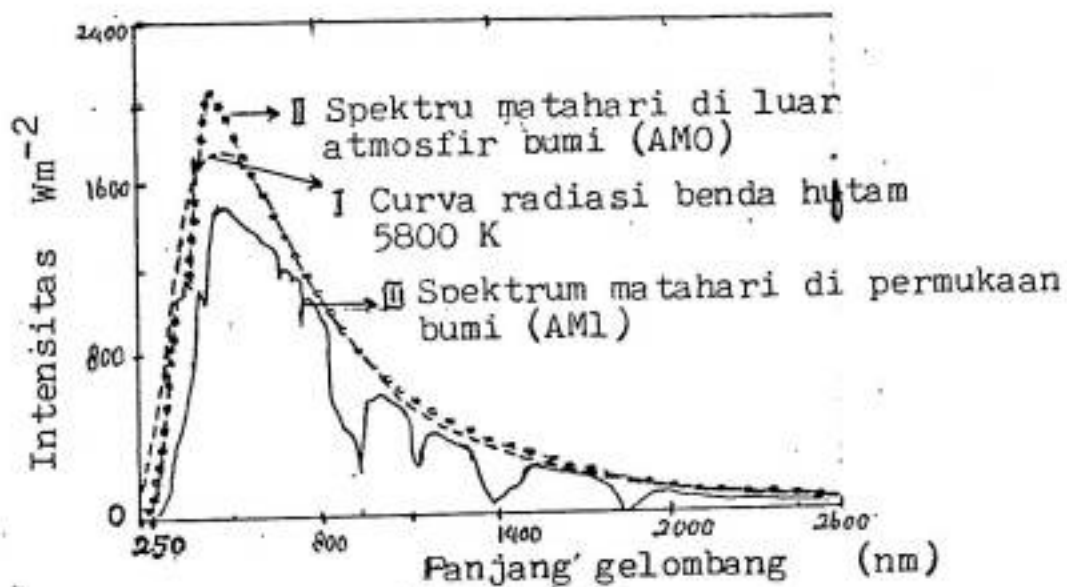
$$G(\lambda, x) = \alpha(\lambda) F(\lambda) [1 - R(\lambda)] \exp[-\alpha(\lambda)x].$$

Dimana $\alpha(\lambda)$ adalah koefisien penyerapan untuk panjang gelombang , $F(\lambda)$ adalah jumlah foton/ Cm^2 / detik, sedangkan $R(\lambda)$ adalah koefisien pantulan permukaan pada panjang gelombang .

II.4.1. Spektrum Matahari

Matahari mengemisi radiasi yang mendekati distribusi radiasi benda hitam ideal pada suhu 5800 K dimana sebagian besar berada dalam panjang gelombang (250 - 2600) nm. Energi yang sampai di permukaan bumi lebih kecil dibanding dengan

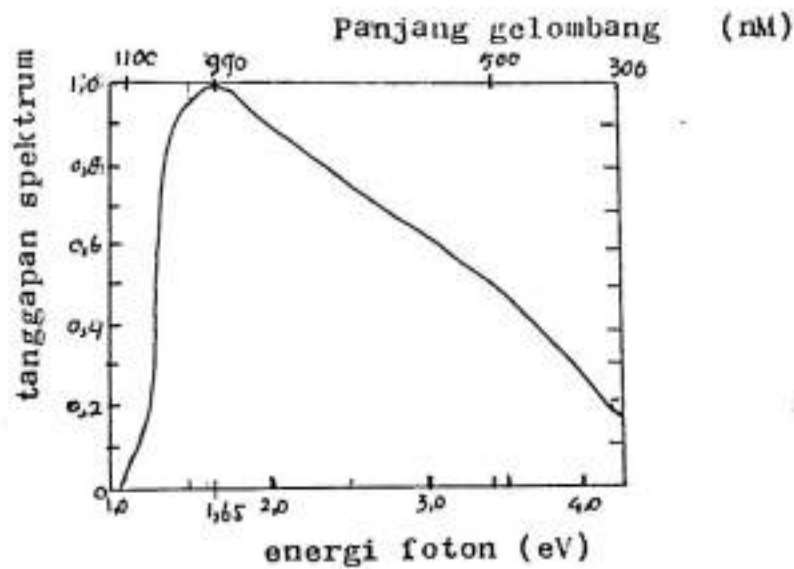
energi radiasi yang tiba di luar atmosfer bumi. Keadaan ini disebabkan oleh penyerapan molekul-molekul udara ketika meliwati permukaan bumi. Spektrum radiasi yang sampai di luar atmosfer bumi (AM0) disajikan pada kurva I sedang spektrum radiasi benda hitam dan spektrum radiasi yang sampai di permukaan laut pada keadaan langit cerah (AM1) masing-masing pada kurva II dan kurva III gambar II.4.



Gambar II.4 Grafik spektrum matahari

II.4.2. Tanggapan Sel Silikon

Sel silikon dapat mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik dalam panjang gelombang (300-1100) nm. Kemampuan sel mengkonversi energi tersebut untuk setiap panjang gelombang tertentu disebut tanggapan spektrum. Gambar II.5 memperlihatkan kurva tanggapan spektral sel silikon. [3]



Gambar II.5

Kurva tanggapan spektrum sel silikon

II.4.3. Spektrum Lampu Halogen

Karena lampu halogen dipakai sebagai sumber cahaya di dalam sebagian pengamatan ini, maka penyajian spektrum lampu halogen perlu dilakukan.

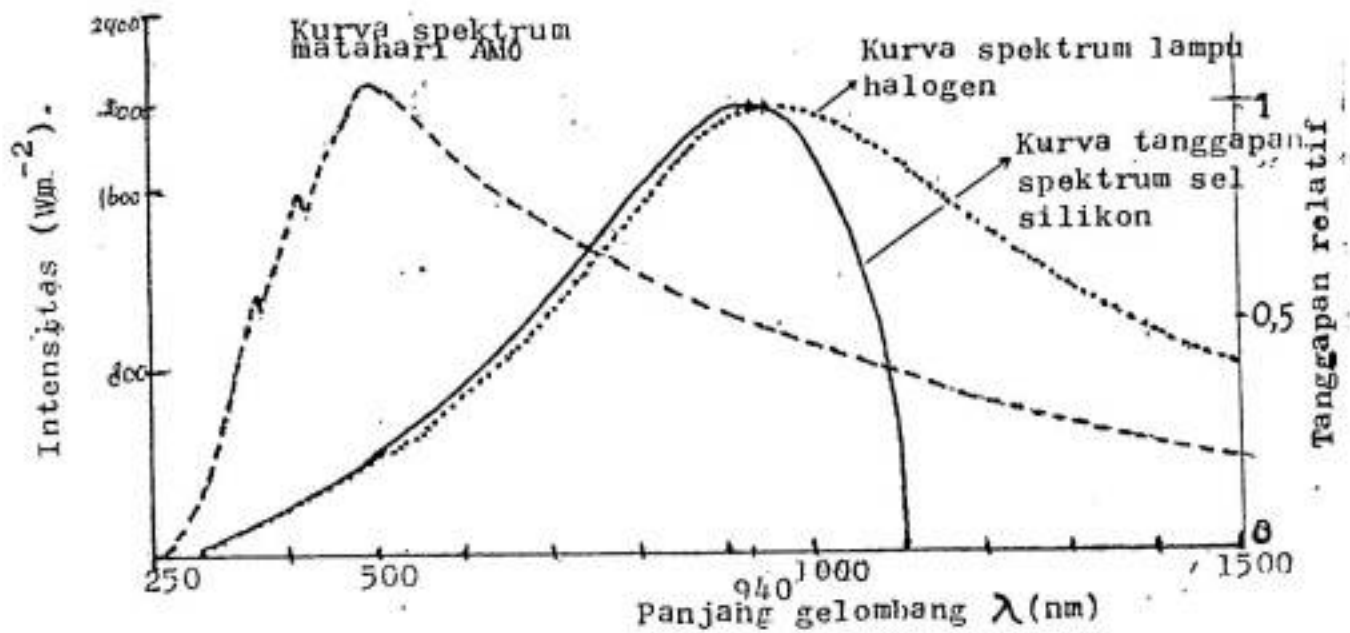
Hukum pergeseran Wien dapat ditulis sebagai berikut:

$$\lambda_{\text{puncak}} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T} \text{ m}$$

Dengan T adalah temperatur dalam kelvin.

Lampu halogen dengan temperatur ~ 3100 K memiliki puncak spektrum pada panjang gelombang ~ 935 nm. Sedangkan matahari dengan temperatur 5800 K, memiliki puncak kurva spektrum pada panjang gelombang 500 nm.

Spektrum lampu halogen diperlihatkan pada gambar II.6, dengan spektrum matahari AMO dan kurva tanggapan spektrum sel silikon juga digambar sebagai pembandingan.



Gambar II.6

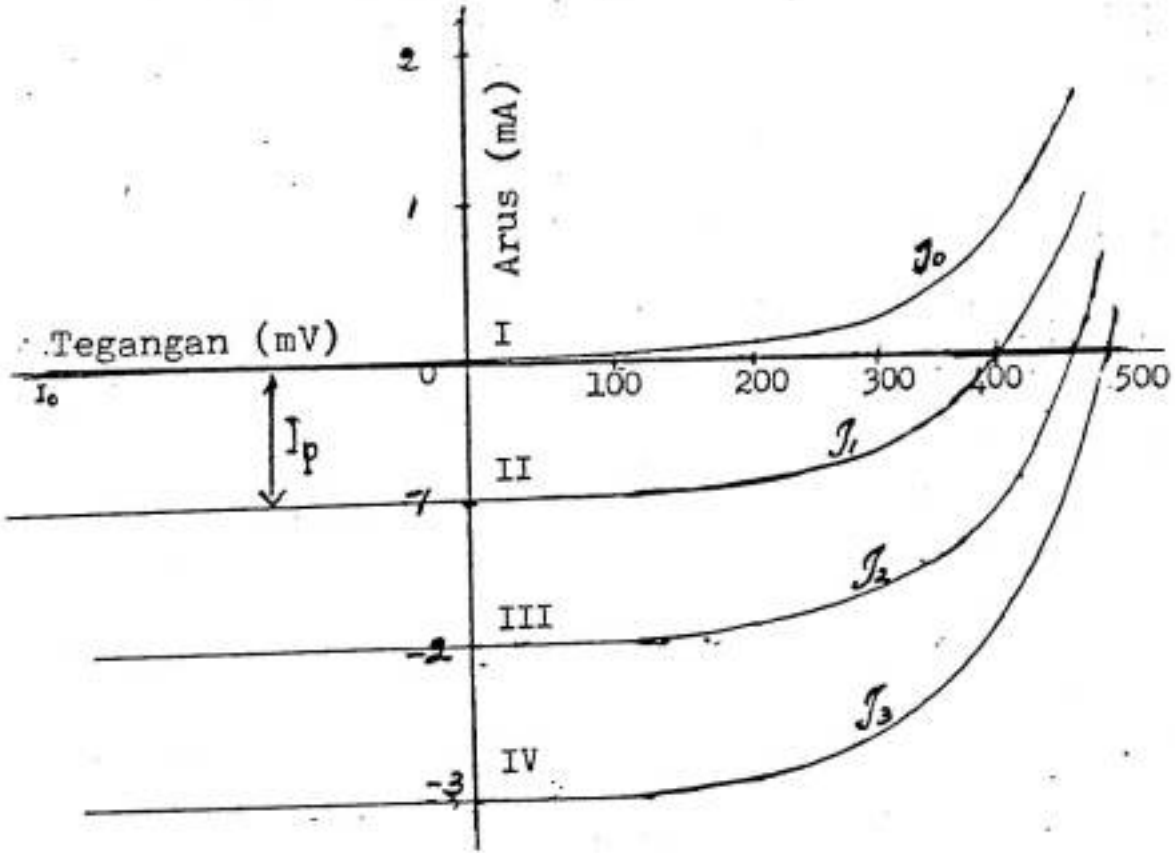
Kurva tanggapan sel silikon terhadap spektrum lampu halogen dan spektrum matahari AMO

II.5. Sifat-sifat Sel Silikon

II.5.1. Karakteristik Arus-tegangan

Grafik karakteristik arus-tegangan sel silikon seperti yang ditunjukkan pada gambar II.7, sesuai juga dengan persamaan II.1 dan II.2. Kurva \mathcal{J}_c adalah karakteristik arus-tegangan sel silikon yang dibias pada intensitas radiasi nol (gelap) sesuai juga dengan persamaan II.2 untuk I_d . Sedangkan \mathcal{J}_1 , \mathcal{J}_2 dan \mathcal{J}_3 merupakan karakteristik arus-tegangan sel silikon dalam keadaan disinari dengan intensitas yang berbeda-beda

sesuai dengan persamaan II.3. Karakteristik ini merupakan pergeseran kurva I_0 masing-masing sebesar 1 kali I_p , 2 kali I_p dan 3 kali I_p , dimana I_p adalah arus fotofoltaik yang berbanding lurus dengan intensitas penyinaran.(6)



Gambar II.7

Grafik karakteristik arus-tegangan sel silikon.

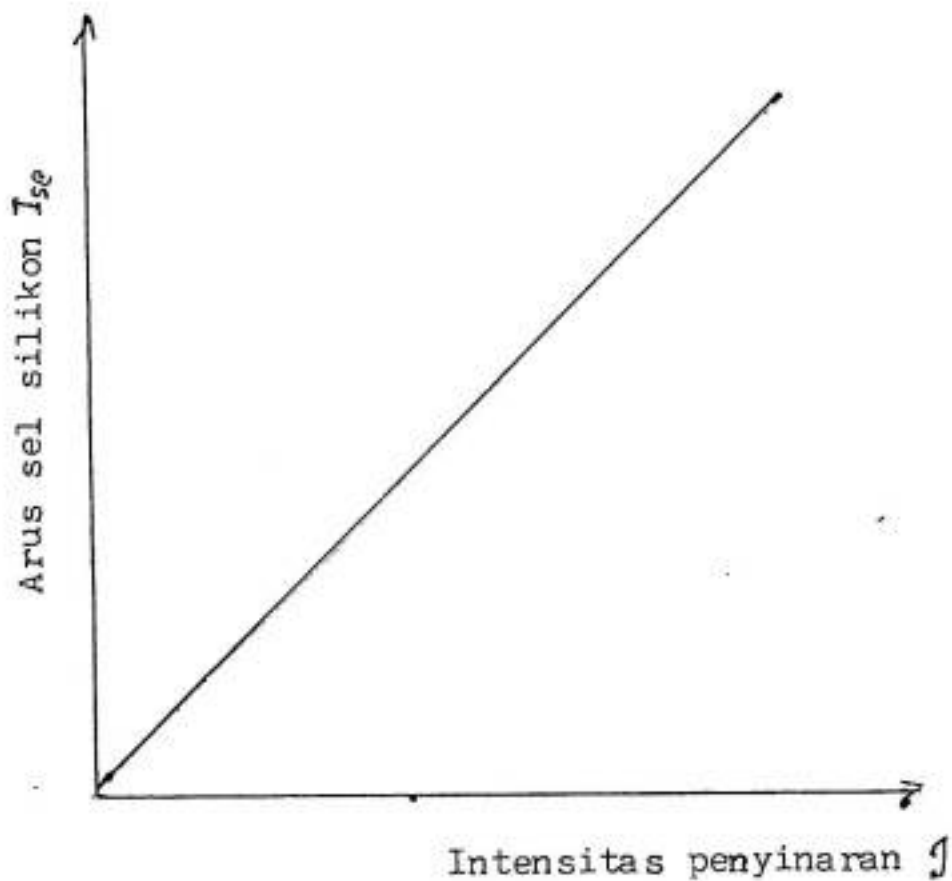
- Keterangan: - I_0 adalah Intensitas radiasi nol.
 - I_1, I_2 dan I_3 adalah intensitas radiasi tertentu dimana $I_0 = 0, I_1 : I_2 : I_3 = 1 : 2 : 3$

II.5.2. Respon Arus Terhadap Intensitas

Sel silikon dalam keadaan gelap adalah menyerupai dioda biasa. Pada saat sel silikon disinari dan dihubungkan de-

ngan suatu beban luar, maka akan timbul arus listrik pada beban luar tersebut..Jika arus hubungan singkat I_{sc} diukur ternyata arus ini merupakan fungsi linier terhadap intensitas penyinaran.(7)

Grafik hubungan .intensitas dan arus diperlihatkan pada gambar .II.8



Gambar II.8

Grafik arus sel fotofoltaik terhadap Intensitas penyinaran .

BAB III
METODOLOGI

III.1. Alat Dan Bahan

Keseluruhan alat dan bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Sel silikon
- b. Catu daya dan lampu halogen
- c. Hambatan kotak.
- d. Bangku optik berskala
- e. Hambatan kramik
- f. Multimeter digital 4 digit, merck PHILIPS PM2518X/01.

Range arus 20 mA, 200 mA, 2 A, 20 A, dengan ketelitian $\pm 0,5$ % dari pembacaan dan $\pm 0,1$ range

Range Tegangan 1 V, 10 V, 100 V, 1000 V dengan ketelitian $\pm 0,1$ % dari pembacaan dan $\pm 0,02$ % range .

- h. ACTINOGRAPH merck OGAWA SEIKI, NOMOR KODE OSK 7199 dengan spesifikasi:

Sensor : Bimetal hitam putih

Skala penuh : 2 cal/cm².menit

Spektrum : 90 % mentransmisi radiasi matahari pada panjang gelombang (360-2000) nm

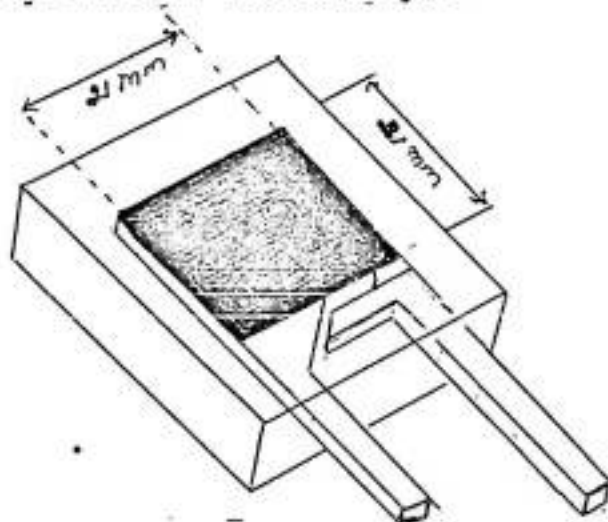
Dimensi : (33x28,5x20,5) cm .

Berat : 58 kg

III.2. Sel Silikon

Dalam penelitian ini dipergunakan 3 buah sel silikon dengan bentuk dan ukuran yang sama. Sel-sel ini terdiri dari dua kutup dengan luas penampang $\pm 9 \text{ mm}^2$.

Di bagian permukaan terdapat lapisan plastik bening yang membungkus bagian sel yang aktif. Bagian aktif ini berwarna coklat kehitam-hitaman. Sel-sel ini banyak tersedia di pasaran dengan harga terjangkau ($R_p(1000-2000)$ per biji 1989). Pada gambar III.1 ditunjukkan sketsa sel silikon dengan pembesaran ± 50 kali ukuran sebenarnya.



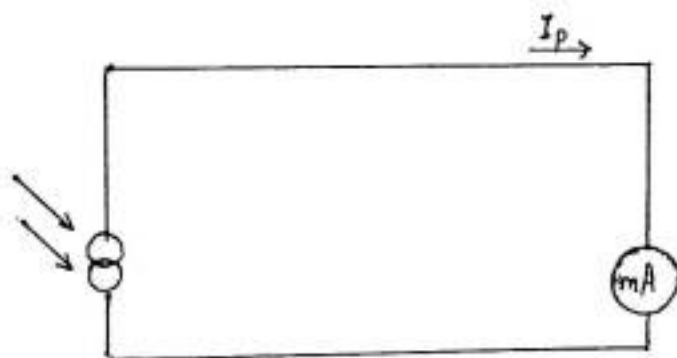
Gambar III.1. Sketsa sel silikon pembesaran ± 50 kali ukuran sebenarnya.

III.3 Intensitas Penyinaran Matahari (I_m)

Untuk menentukan batas maksimum intensitas penyinaran yang dipakai pada pengamatan di laboratorium, maka terlebih dahulu diadakan survei intensitas radiasi matahari pada suatu hari yang cerah. Besaran intensitas radiasi itu dibaca dalam bentuk arus hubungan singkat.

III.4. Linieritas Arus Hubungan Singkat I_{sc} Pada Intensitas Penyinaran Laboratorium.

Sebelum meneliti karakteristik arus tegangan suatu sel yang akan dijadikan solarimeter, terlebih dahulu diamati respon arusnya terhadap intensitas penyinaran. Sebagai sumber intensitas penyinaran, dipergunakan lampu halogen 55 W 12 volt. Intensitas penyinaran (d^{-2}) yang dapat diketahui secara relatif, dapat diperoleh dengan mengubah jarak d lampu halogen dan sel silikon. Penentuan dengan cara seperti ini dilakukan berhubung alat ukur intensitas mutlak sulit diperoleh. Selama pengamatan suplai pada lampu halogen dimonitor agar tidak terjadi fluktuasi akibat PLN. Dengan demikian spektrum cahaya tetap selama penyinaran. rangkaian arus hubungan singkat sel silikon dapat dilihat pada gambar III.2

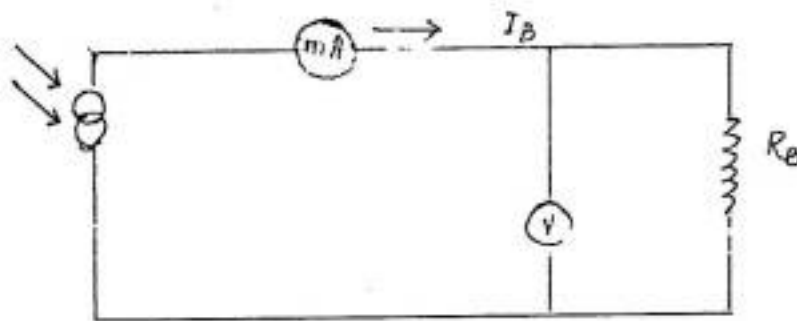


Gambar III.2 Rangkaian arus hubungan singkat I_{sc} sel silikon.

III.5. Karakteristik Arus-tegangan (I-V).

Untuk mengetahui kemampuan atau operasi kerja suatu sel silikon maka terlebihdahulu watak arus-tegangannya ditentukan. Sistematika penentuan karakteristik I-V sebagai berikut:

- Sel silikon dipasang pada bangku optik dan menghadap sumber intensitas radiasi pada $\approx 1,3$ kali J_m .
- Milliammeter sebagai pengukur arus, dihubungkan seri dengan sel silikon, sedang voltmeter dan hambatan beban masing-masing dipasang secara paralel dengan sel, seperti pada gambar di bawah ini

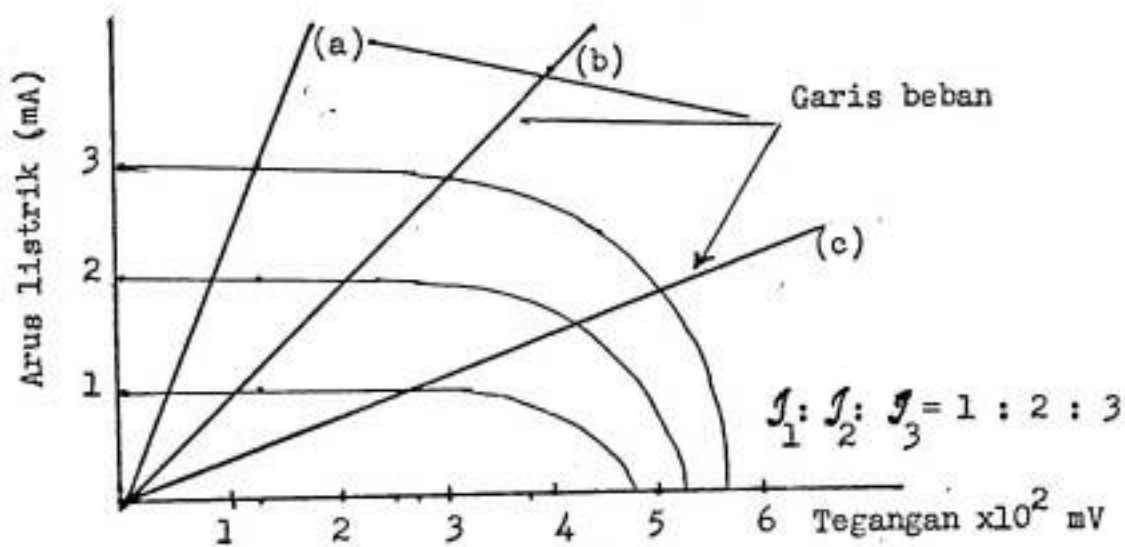


Gambar III.3 Rangkaian karakteristik I-V

- Dengan mengatur hambatan beban dan memperhatikan penunjukan voltmeter dan milliammeter, maka grafik karakteristik sel untuk suatu harga intensitas dapat diperoleh.
- Dengan mengulangi butir a sampai c di atas tetapi dengan mengubah intensitas, karakteristik I-V untuk berbagai intensitas akan diperoleh.

III.6. Batas Hambatan Beban

Pada bab II.2.3 tinjauan pustaka, telah dibicarakan bahwa hubungan arus sel silikon dengan intensitas penyinaran adalah linier. Karena arus sebanding dengan intensitas penyinaran dan juga sebanding dengan tegangan yang dibangkitkan pada bagian yang datar grafik karakteristik I-V, maka diharapkan tegangan yang dihasilkan sel akan sebanding dengan intensitas penyinaran. Dengan demikian, untuk memperoleh hambatan beban yang diharapkan, maka garis beban yang ditarik dari pangkal salib sumbu harus memotong bagian yang datar grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar III.4.



Gambar III.4. Contoh garis beban karakteristik arus-tegangan sel silikon. (8)

Dengan, (a) adalah garis beban pada karakteristik I-V sel, yang masih linier, dimana garis beban ini akan memberikan nilai tegangan rendah.

- (b) adalah garis beban pada karakteristik I-V yang masih linier dan memberikan nilai tegangan maksimal. Di dalam penelitian ini, pemilihan hambatan beban mengikuti pola garis beban ini.
- (c) adalah garis beban tidak linier. Intensitas yang dihasilkan tidak sebanding dengan arus.

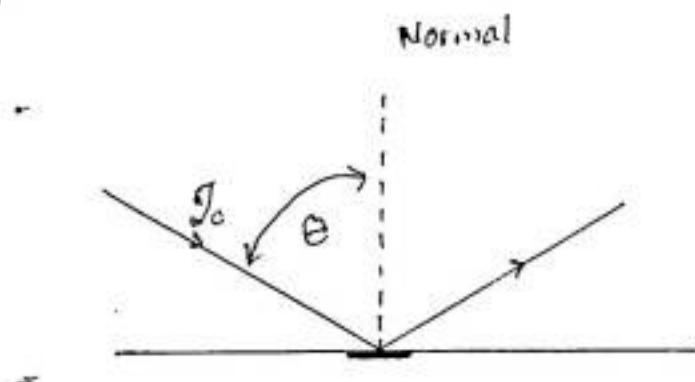
III.7. Respon Arus Sel Terhadap Sudut Datang Sinar.

Di dalam mengoperasikan solarimeter ini diharapkan selnya mampu bekerja dengan baik pada variasi sudut datang sinar. Dengan demikian respon sel untuk variasi sudut tersebut, juga dilakukan. Variasi itu dapat diperoleh dengan membuat posisi sel dapat diputar-putar. Sehubungan dengan itu, maka diharapkan responnya mengikuti hukum kosinus sebagai berikut :

$$I_{\theta} = I_0 \cos \theta$$

I_{θ} adalah intensitas radiasi pada bidang datar.

I_0 adalah intensitas radiasi tegak lurus arah datang sinar.



Gambar III.5. Sinar jatuh pada sel sebesar θ

III.8. Pembuatan Dan Kalibrasi

III.8.1. Pembuatan

Pada dasarnya solarimeter ini terdiri dari dua komponen utama yaitu sebuah sel silikon dan sebuah hambatan beban yang besarnya ditentukan pada bab III.3. Jika keduanya dirangkai paralel dan alat ukur tegangan diterapkan untuk mengukur tegangan pada hambatan beban itu, maka ketiga komponen tersebut telah membentuk sebuah sistim dan kita sebut solarimeter sel silikon. Dengan demikian sebuah solarimeter telah diperoleh. Solarimeter seperti ini dapat diperbanyak dengan cara sebagai berikut :

- a. Solarimeter I diletakkan berdampingan dengan sel yang akan ditentukan hambatan bebannya pada suatu intensitas penyinaran yang sama.
- b. Hambatan kotak yang dirangkai paralel dengan sel II, diatur besarnya supaya defleksi penunjukan pada sel II akan sama dengan sel I.
- c. Dengan mengulangi point a dan b di atas, solarimeter ke III segera diperoleh pula.

III.8.2. Kalibrasi Dengan Actinograph

Kalibrasi ketiga alat ini dilakukan dari jam 08.00 - 15.00 di lapangan yaitu dengan memasang ketiganya pada posisi yang berdampingan dengan alat pengkalibrasi.

Dengan demikian intensitas yang menerpa keempat alat ini akan sama. Faktor kalibrasi atau sensitifitas diperoleh dari grafik data kalibrasi.

III.9. Sensitifitas b Solarimeter Sel Silikon

Sensitifitas alat ini dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = b \mathcal{I}$$

V adalah tegangan dalam mV.

b adalah sensitifitas solarimeter (mV/Wm^{-2}).

\mathcal{I} adalah intensitas penyinaran Wm^{-2} .

Penentuan kesalahan kalibrasi akan ditentukan dengan menggunakan teori estimasi kesalahan dengan rumus sebagai berikut:

$$S_0 = \sum V_i^2 - \frac{(\sum \mathcal{I}_i V_i)^2}{\sum \mathcal{I}_i^2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{S_0}{(n-1)}}$$

$$\sigma_b = \frac{\sigma}{\sqrt{\sum (\mathcal{I}_i^2)}}$$

Dengan S_0 adalah jumlah kwadrat simpangan.

σ adalah simpangan rata.

σ_b adalah simpangan dalam estimasi b.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

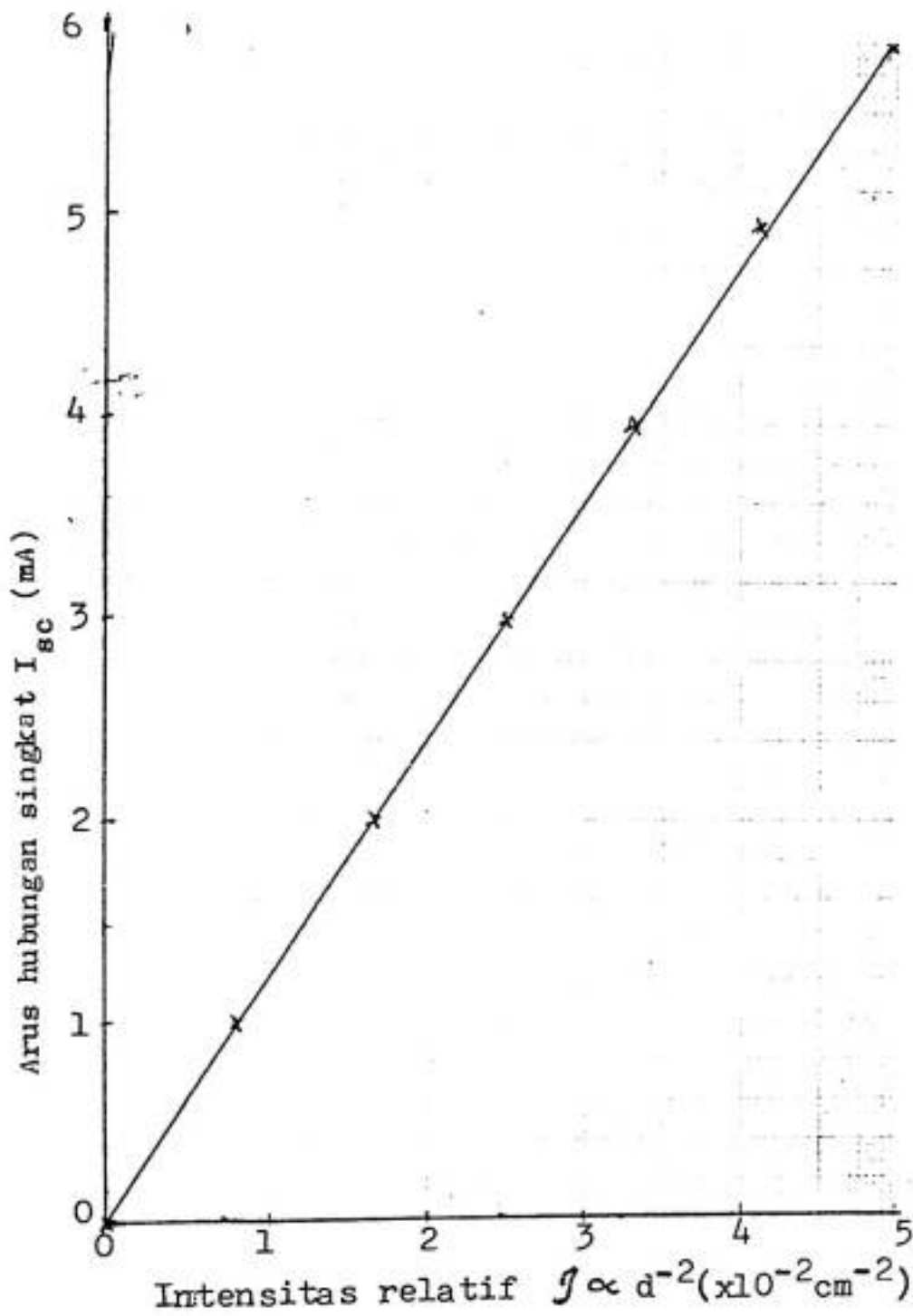
IV.1 Pengamatan Linearitas Arus Hubungan Singkat I_{sc} terhadap Intensitas Penyinaran.

Data pengamatan arus hubungan singkat I_{sc} terhadap intensitas penyinaran dapat dilihat pada tabel IV.1, sedangkan grafiknya pada gambar IV.1.

Tabel IV.1

i	Jarak d_i (cm)	Intensitas relatif $I_i \propto 1/d_i^2$ $\times 10^{-2} \text{cm}^{-2}$	Arus hubungan singkat I_{sc} (mA)
1	10,7	0,873	1,00
2	8,8	1,291	1,50
3	7,7	1,687	2,00
4	6,9	2,100	2,50
5	6,3	2,520	3,00
6	5,8	2,973	3,50
7	5,5	3,306	4,00
8	5,2	3,698	4,50
9	4,9	4,165	5,00
10	4,7	4,530	5,50
11	4,5	4,938	6,00

Data arus hubungan singkat I_{sc} terhadap intensitas relatif penyinaran.



Gambar IV.1 Grafik arus hubungan singkat I_{sc} terhadap intensitas penyinaran.

Data pada grafik IV.1 di atas, menunjukkan kelinearan arus hubungan singkat I_{sc} terhadap penyinaran sampai 6 mA.

Seandainya terjadi penyimpangan dari linier, hal ini akan mulai nampak pada suatu arus tertentu. Ternyata menurut pengamatan kami, arus-intensitas tetap linier hingga arus 6 mA dengan memakai lampu halogen. Sedangkan

untuk pengukuran intensitas matahari hanya dipakai sampai 4 mA. Tidak ada alasan untuk menduga bahwa adanya distribusi foton dari matahari yang lebih banyak pada panjang gelombang pendek akan menyebabkan penyimpangan dari linieritas pada arus yang lebih kecil dari pada arus yang sudah diamati dengan memakai lampu halogen.

IV.2. Karakteristik Arus-tegangan

Dari pengamatan yang dilakukan sesuai dengan metoda yang ditunjukkan pada bagian metodologi, diperoleh karakteristik arus-tegangan sel silikon sebagai fungsi hambatan beban R pada berbagai intensitas penyinaran. Intensitas penyinaran yang digunakan adalah $I_3, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9$ yang besarnya masing-masing diperlihatkan pada tabel IV.1.

Data-data yang diperoleh, ditunjukkan pada tabel IV.2, sedangkan grafik karakteristik arus-tegangannya diperlihatkan pada gambar IV.2.

Tabel IV, 2.a

NO	Tegangan (mV)	I_3	I_5	I_6
		arus (mA)	arus (mA)	arus (mA)
1	0,5	2,00	-	-
2	0,7	-	3,00	3,50
3	50	2,00	3,00	3,50
4	100	1,98	2,94	3,42
5	150	1,95	2,86	3,32
6	200	1,92	2,76	3,12
7	250	1,86	2,53	2,82
8	300	1,70	2,16	2,50
9	315	1,53	-	-
10	350	1,40	1,53	2,05
11	380	1,02	-	-
12	400	0,65	1,00	1,80
13	427	-	-	0,29
14	429	-	0	-
15	434	-	-	0
16	443	0,11	-	-
17	448	0	-	-

Karakteristik arus-tegangan pada intensitas
 I_3 , I_5 , dan I_6 .

Keterangan : $I_3 = 1,687 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-2}$.
 $I_5 = 2,520 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-2}$.
 $I_6 = 2,973 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-2}$.

Tabel IV.2.b

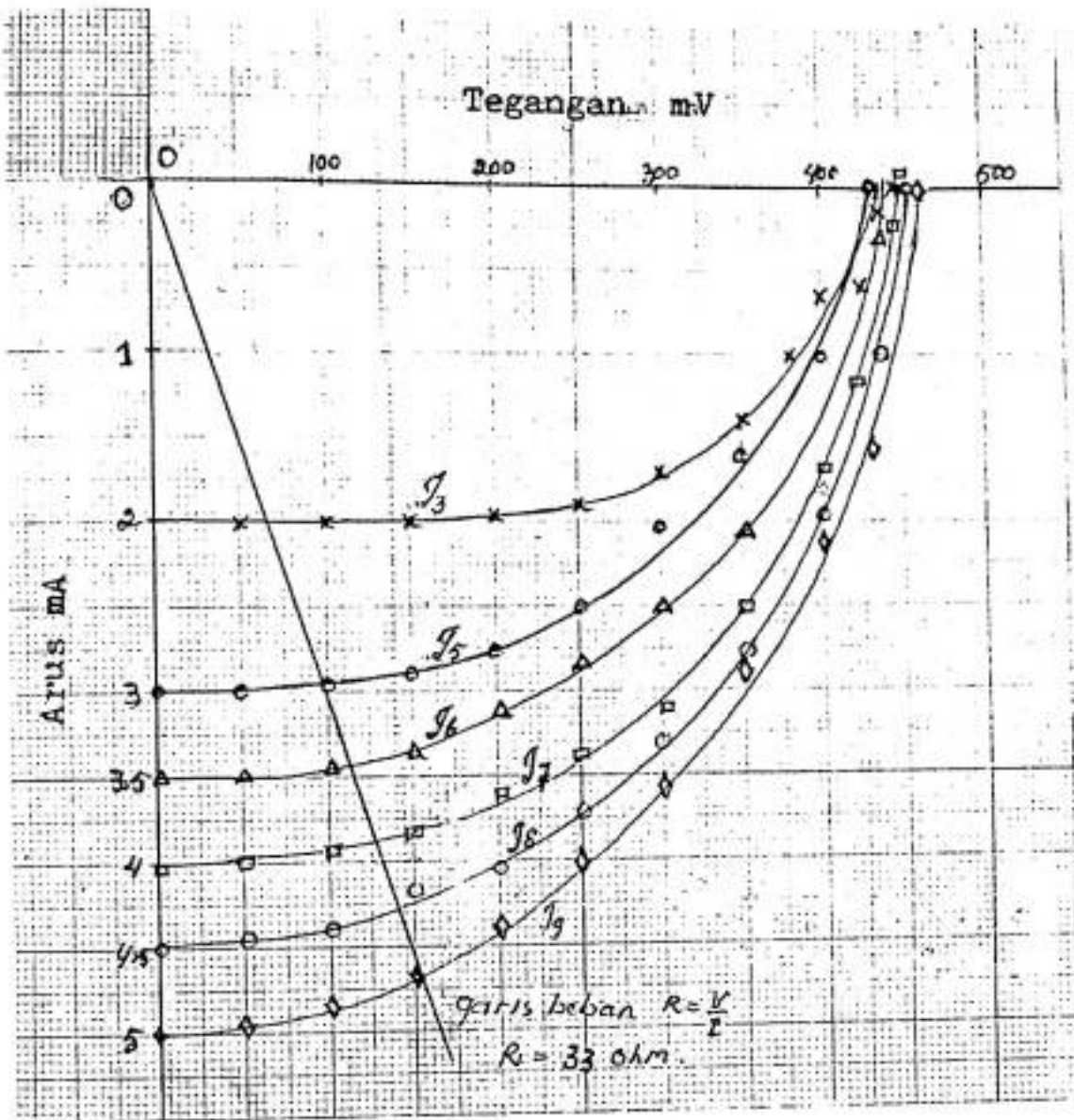
NO	Tegangan: (mV)	\mathcal{I}_7	\mathcal{I}_8	\mathcal{I}_9
		arus (mA)	arus (mA)	arus (mA)
1	0,7	4,00	4,5	5,00
2	50	4,00	4,43	4,94
3	100	3,94	4,40	4,82
4	150	3,78	4,15	4,65
5	200	3,60	4,05	4,35
6	250	3,36	3,72	4,00
7	300	3,10	3,30	3,55
8	350	2,46	2,75	2,80
9	400	1,66	1,94	2,10
10	420	1,16	-	-
11	430	-	-	1,54
12	435	-	1	-
13	438	0,06	-	-
14	445	0	-	-
15	450		0	-
16	460			0

Karakteristik arus-tegangan pada intensitas \mathcal{I}_7 , \mathcal{I}_8 , dan \mathcal{I}_9 .

Keterangan: $\mathcal{I}_7 = 3,306 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-2}$.

$\mathcal{I}_8 = 3,698 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-2}$.

$\mathcal{I}_9 = 4,195 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-2}$.



Gambar IV.2 Karakteristik arus-tegangan sel silikon.

IV.3. Batas Hambatan Beban

Sesuai dengan metoda yang ditunjukkan pada bab III.6 metodologi, tentang pemilihan hambatan beban yang sesuai. Nilai hambatan beban itu dipilih sebesar 330ohm. Pemilihan ini didasarkan atas upaya untuk melinierkan intensitas penyinaran dengan output tegangan V ($V \propto I$). Pada gambar IV.2 terlihat penyimpangan relatif tegangan V , dari tagangan ideal \bar{V} pada intensitas relatif I_7 (intensitas maksimum pada permukaan bumi yang menghasilkan $I_{sc} = 4 \text{ mA}$) sebesar

$$\Delta V = \frac{(127-132)\text{mV}}{132 \text{ mV}} \times 100\%$$

$$\Delta V = -4 \%$$

Dimana nilai 127 adalah nilai V yang terukur dan 132 adalah nilai tegangan ideal. Sedangkan penyimpangan yang lain untuk intansitas yang lebih rendah seperti I_3 , dapat diabaikan. Hambatan beban untuk sel II dan sel III diperoleh dengan metode pada bab III.5.1 dan harganya masing-masing sebesar 38,5 ohm dan 33,4 ohm.

IV.4. Respon Sel Silikon Terhadap Variasi Sudut

Datang Sinar.

Dari pengamatan yang dilakukan sesuai dengan metode yang ditunjukkan pada bab III.7, diperoleh grafik hubungan $\cos \theta$ dengan arus sel silikon untuk 3 buah sel yang masing-masing diputar ke kiri dan ke kanan pada intensitas penyinaran I_5 .

Data itu ditunjukkan dalam tabel IV.3 dan grafiknya pada gambar IV.3 dan IV.4, dimana garis putus-putus menerangkan hubungan ideal arus sel silikon dengan kosinus sudut. Titik-titik yang terdistribusi sepanjang garis putus-putus tersebut diterangkan sebagai berikut:

□ □ □: Sel silikon I diputar ke kanan.

△ △ △: Sel silikon II diputar ke kanan.

○ ○ ○: Sel silikon III diputar ke kanan.

▣ ▣ ▣: Sel silikon I diputar ke kiri.

▲ ▲ ▲: Sel silikon II diputar ke kiri.

● ● ●: Sel silikon III diputar ke kiri.

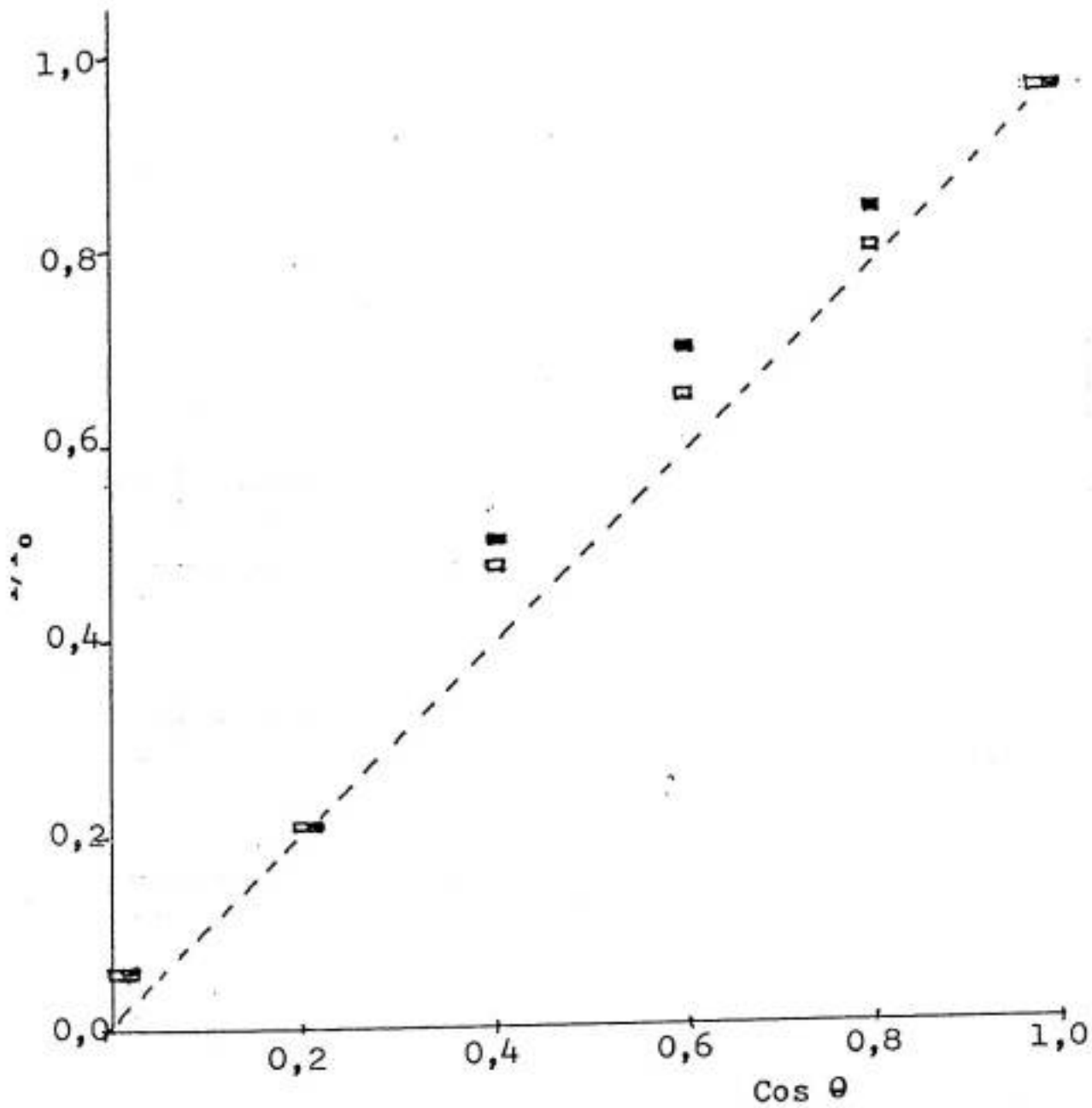
Tabel IV.3

Nô	Sudut θ	Cos θ	Sel diputar ke kanan						Sel diputar ke kiri							
			I mA	I/I ₀	I mA	I/I ₀	I mA	I/I ₀	I mA	I/I ₀	I mA	I/I ₀	I mA	I/I ₀		
1	0°	1,00	3	1	2,96	1	3,02	1	3	1	2,96	1	3,02	1	3	1
2	36,9°	0,80	2,48	0,83	2,38	0,8	2,35	0,78	2,6	0,87	2,5	0,84	2,60	0,86	2,14	0,71
3	53,1°	0,60	1,97	0,66	1,97	0,6	1,90	0,63	2,17	0,72	1,92	0,65	2,14	0,71	1,45	0,48
4	66,4°	0,40	1,44	0,48	1,49	0,5	1,42	0,47	1,57	0,52	1,4	0,47	1,45	0,48	0,39	0,13
5	78,5°	0,20	0,67	0,22	0,67	0,22	0,66	0,22	0,59	0,2	0,43	0,15	0,39	0,13	0,15	0,05
6	90°	0,00	0,19	0,06	0,17	0,06	0,18	0,06	0,17	0,06	0,15	0,05	0,15	0,05	0,15	0,05

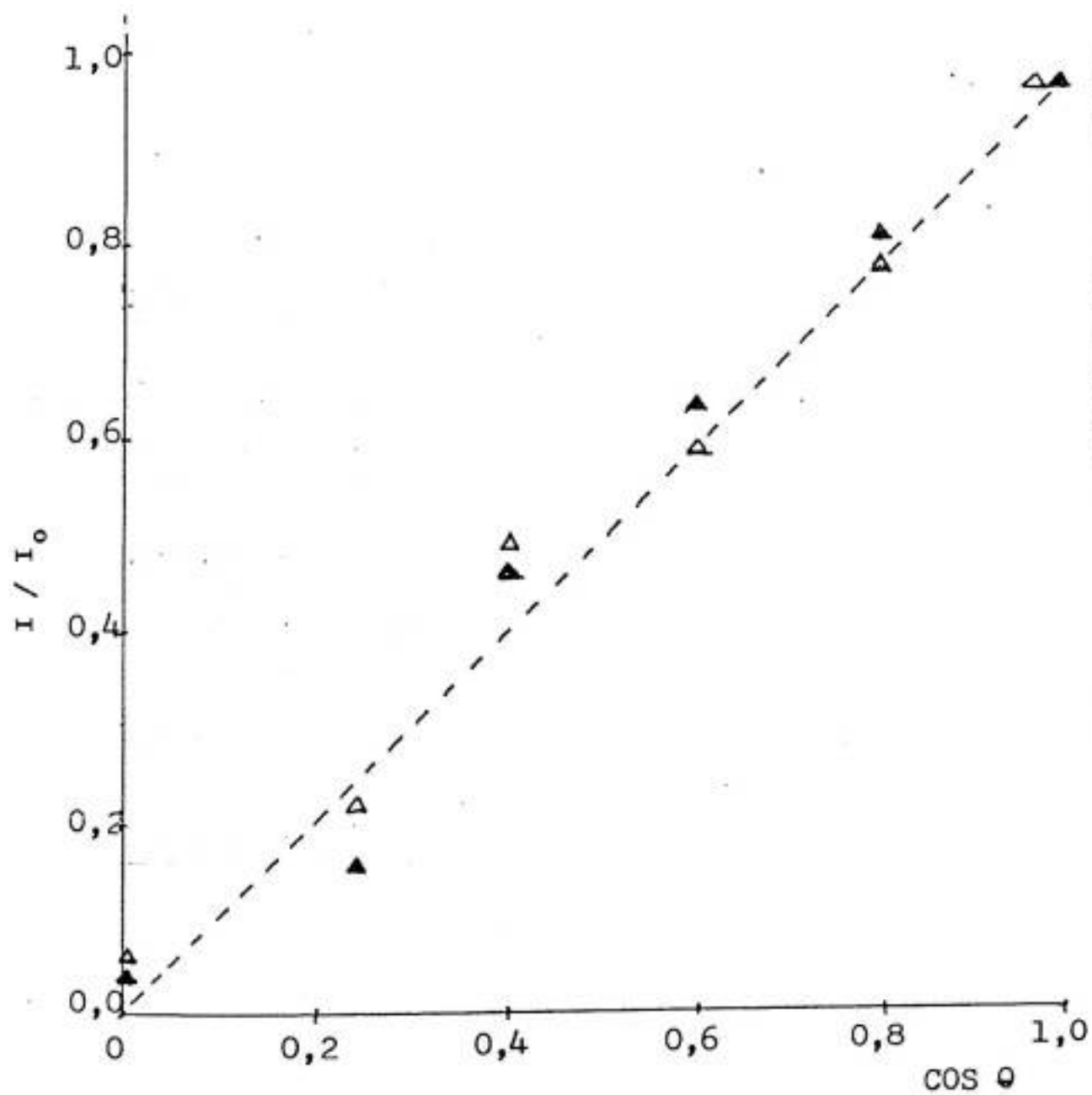
Respon arus sel silikon terhadap variasi sudut datang sinar pada intensitas relatif J_5 .

Keterangan :: I adalah arus hubungan singkat pada sudut θ .

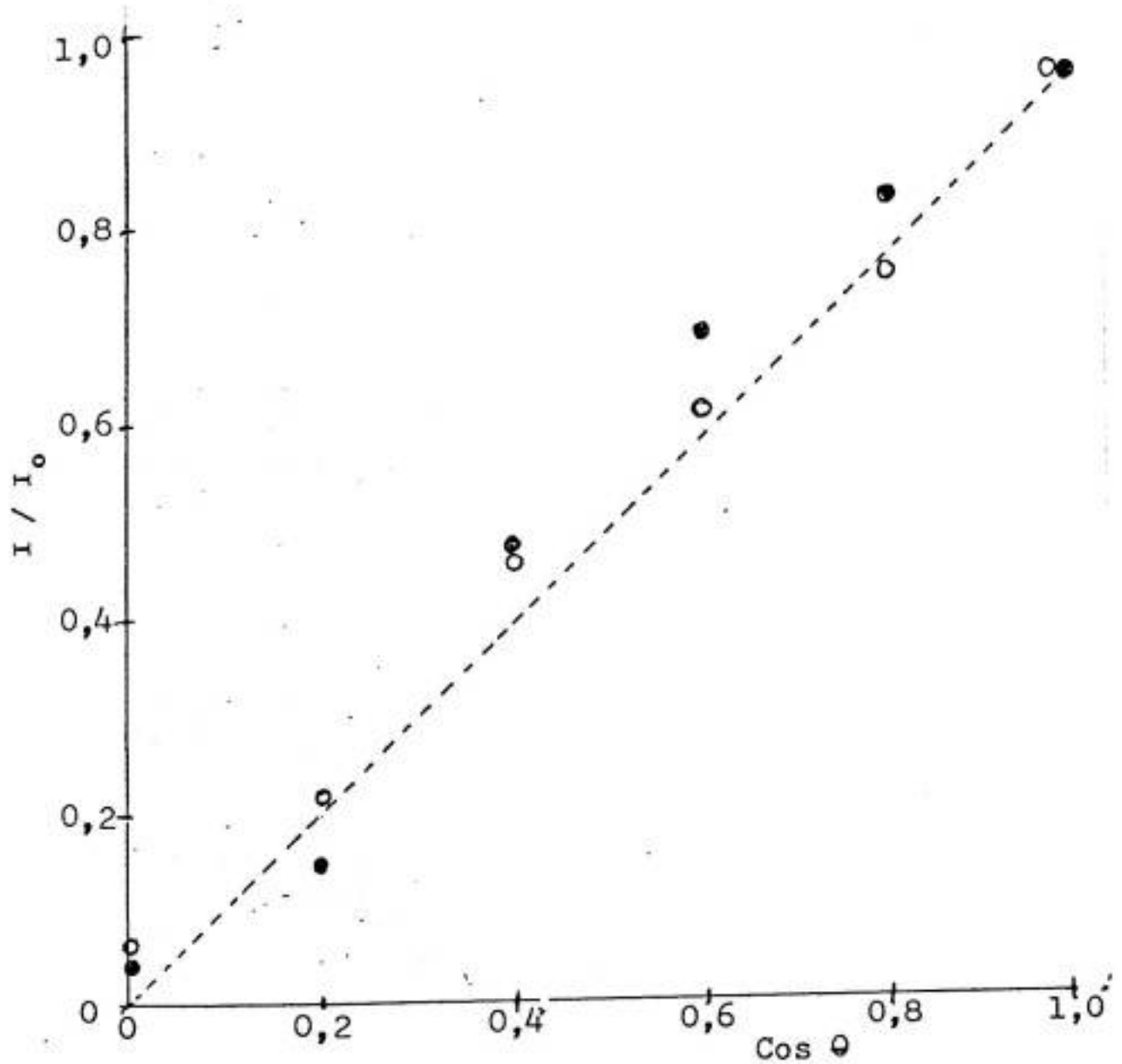
I_0 adalah arus hubungan singkat maksimum (mA).



Gambar IV.3.1 Respon sel silikon I terhadap sudut datang sinar pada intensitas relatif I_5 .

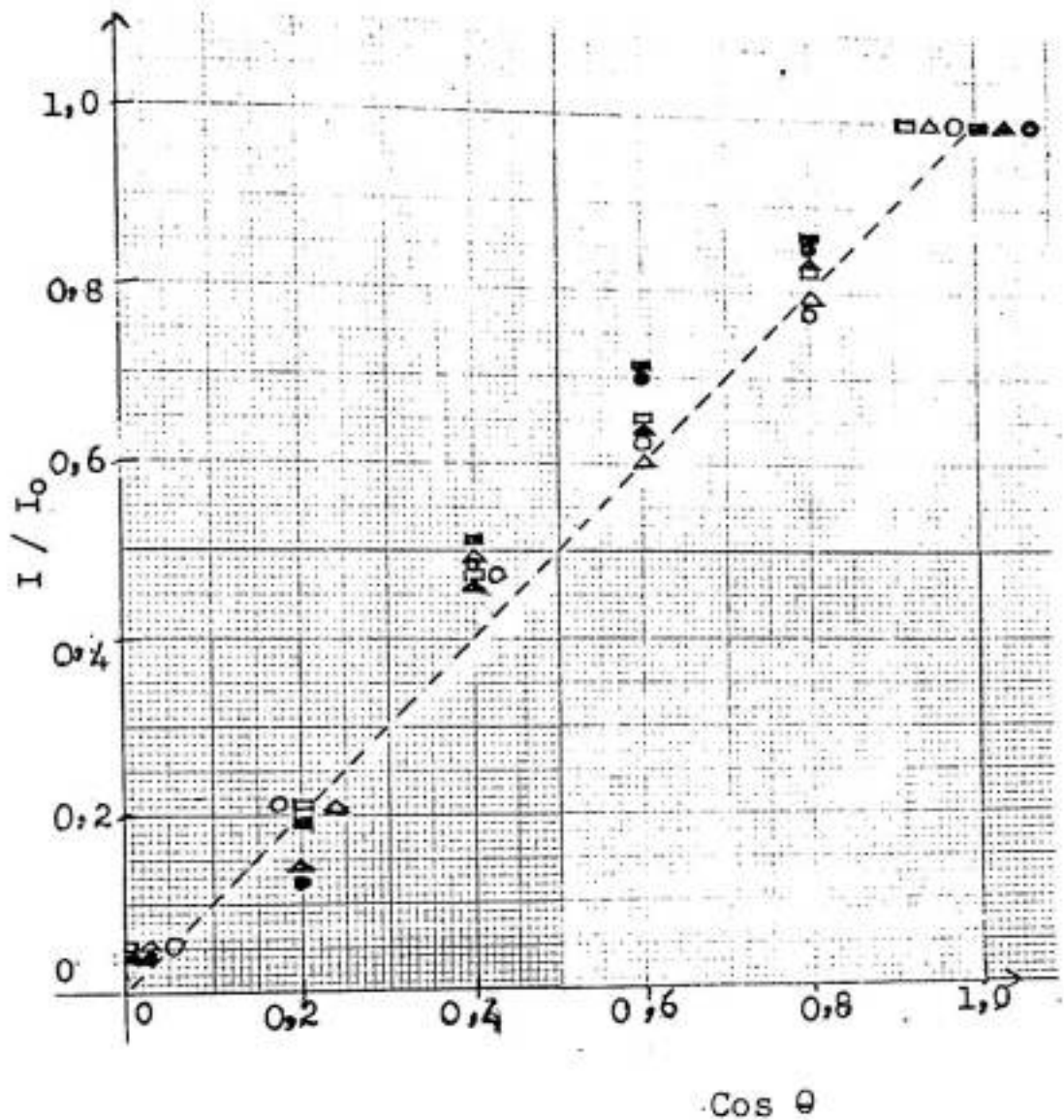


Gambar IV.3.2 Respon sel silikon II terhadap sudut datang sinar pada intensitas relatif I_5 .



Gambar IV.3.3 Respon sel silikon III terhadap sudut datang cahaya pada intensitas relatif I_5 .

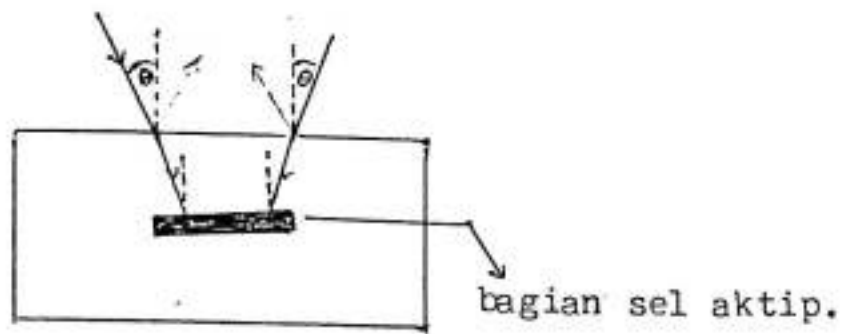
Gabungan ketiga grafik pada gambar IV.3 diperlihatkan pada gambar IV.4.



Gambar IV.4 Grafik hubungan $\cos \theta$ dengan I/I_0 pada intensitas relatif \int_5 untuk sel I, II dan III.

Ternyata respon kosinus menyimpang dari garis ideal sebesar $\pm 7\%$ dan tidak simetri. Ini disebabkan karena :

- Bagian sel yang aktif sedikit miring terhadap permukaan bahan plastik, seperti yang ditunjukkan pada gambar IV.5.
- Plastik permukaan sel tidak homogen.



Gambar IV.5. Kemiringan bagian aktif sel terhadap plastik permukaan.

IV.5 Kalibrasi dengan Actinograph

Dari pengamatan sesuai dengan metoda yang disajikan pada bagian metodologi, diperoleh data kalibrasi actinograph dengan ketiga solarimeter sel silikon pada keadaan radiasi A, B dan C seperti yang ditunjukkan pada tabel IV.4.

Tabel IV.4

NO	JAM	SUDUT	KEADAAN AWAN		RADIASI TOTAL			
			D/L	KODE	INTENSITAS ALAT PENG- KALIBRASI (Wm^{-2})	ALAT SOLARIMETER SEL SILIKON (mV)		
						I	II	III
1.i	08.00	60°	-	A	392	50,1	50,3	50,4
ii								
2.i	09.00	45°	-	A	574	76,1	76,0	76,0
ii			1,5	C	448	56,0	56,4	55,5
3.i	10.00	30°	-	A	784	105,3	104,5	105,7
ii			3	C	504	57,3	58,8	58,0
4.i	11.00	15°	-	A	784	106,1	107,8	107,4
ii			1	C	616	75,5	78,3	78,5
5.i	12.00	0°	0,7	B	840	110,8	113,4	112,6
i			0,4	A	938	124,2	129,4	126,3
ii			3,2	C	504	60,0	60,3	60,4
6.i	13.00	15°	0,5	A	896	120,0	122,8	121,5
ii			0,5	A	966	132,9	134,3	132,1
7.i	14.00	30°	0,9	B	840	108,4	109,9	110,4
ii			1	C	770	100,1	104,0	104,2
8.i	15.00	45°	1,3	C	350	36,7	37,2	38,2

Data kalibrasi

i = Rabu: 15/2 1989

ii = Kamis 16/2 1989

Keadaan radiasi A, B dan C didefenisikan sebagai berikut:

$$A = D/L < 0,6$$

$$B = 0,6 \leq D/L \leq 0,9$$

$$C = D/L \geq 1$$

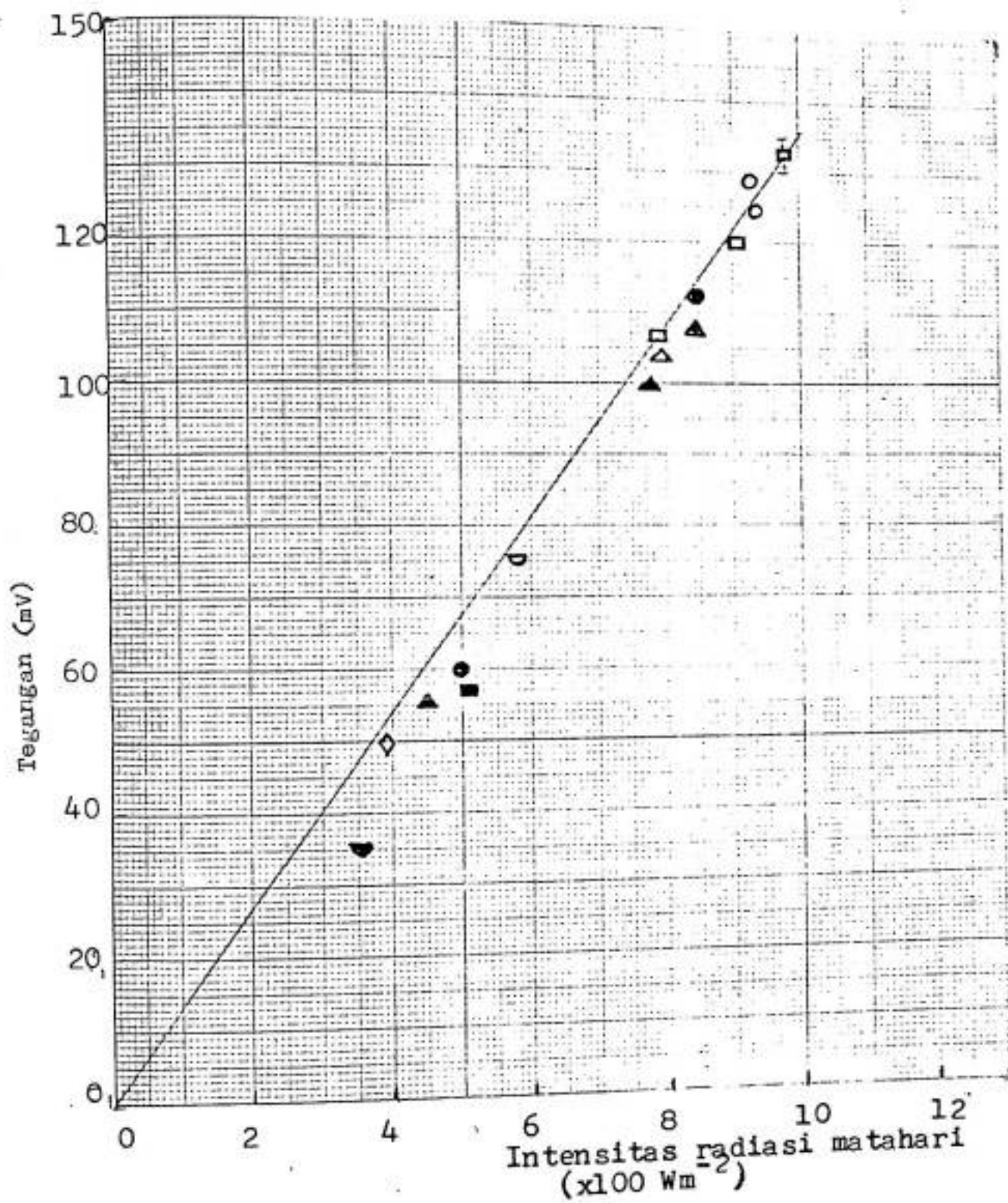
Dimana, D adalah radiasi difus

L adalah radiasi langsung.

Data-data kalibrasi di atas dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti dilihat pada gambar IV.6.

Titik-titik yang terdistribusi sepanjang garis regresi pada gambar IV.6, dapat diterangkan sebagai berikut:

Sudut($^{\circ}$)	Radiasi A	Radiasi B dan C
0°	○	●
15°	□	■
30°	△	▲
45°	∪	∩
60°	◇	◆



Gambar IV.6. Grafik kalibrasi alat solarimeter

IV.6. Sensitifitas Solarimeter Sel Silikon.

Dengan menggunakan metoda yang ditunjukkan pada bab metodologi tentang penentuan sensitifitas dan standar deviasinya, maka diperoleh nilai sensitifitas dan standar deviasi ketiga solarimeter tersebut sebagai berikut:

$$b_1 = (0,1367 \pm 0,0017) \text{ mV/Wm}^{-2}$$

$$b_2 = (0,1367 \pm 0,0017) \text{ mV/Wm}^{-2}$$

$$b_3 = (0,1367 \pm 0,0016) \text{ mV/Wm}^{-2}$$

Dengan, b_1 , b_2 dan b_3 adalah sensitifitas solarimeter I, II dan III.

BAB. V

SIMPULAN DAN SARAN



V.1 Simpulan

Dari pengalaman selama melakukan penelitian, kita dapat menarik beberapa simpulan sebagai berikut:

- a. Arus yang dihasilkan sel silikon ini sebanding dengan intensitas penyinaran. Dengan memperhatikan karakteristik I-V sel silikon terlihat bahwa arus sebanding dengan tegangan pada bagian datar karakteristik I-V. Dengan demikian teganganpun akan sebanding dengan intensitas pada bagian itu.
- b. Respon sel silikon terhadap intensitas radiasi pada sudut kemiringan, mengikuti hukum kosinus dengan penyimpangan $\pm 7\%$.
- c. Dari karakteristik arus-tegangan, dipilih hambatan beban sebesar 33 ohm. Sel ini mampu mengukur dengan linier intensitas radiasi sampai 1000 Wm^{-2} .
- d. Dengan mengatur hambatan beban diperoleh penunjukan yang sama dari ketiga solarimeter tersebut dengan sensitivitas sebesar $0,1367 \text{ mV/Wm}^{-2}$.

V.2 Saran

1. Solarimeter sel silikon ini, outputnya dalam bentuk besaran listrik. Oleh sebab itu, pada penelitian lanjutan diharapkan penelitian kearah integrasi dan rekorder data output, juga dilakukan. Dengan demikian pengambilan

data intensitas penyinaran menjadi lebih mudah.

2. Alat kalibrasi yang digunakan pada kalibrasi alat solameter sel silikon ini, responnya agak lambat, sehingga kalibrasi alat solameter ini diharapkan masih dilakukan dengan alat ukur intensitas penyinaran yang lebih baik seperti pyranometer hitam-putih.

DAFTAR PUSTAKA

1. John A. Duffie and William A. Bechman, "Solar Energy Thermal", A. Willey inter science publication Wisconsin, 1974.
2. Albert Paul Malvino, "Prinsip-prinsip Elektronika", edisi kedua, diterjemahkan oleh Hanafi Gunawan, Erlangga Jakarta, 1981.
3. M. zse, "Semiconductor Devices", 2nd edition Mc Graw hill, New York, 1981.
4. A. Lubis, R. Muliadi, M. Djamin, "Sel Fotofoltaic", Majalah BPP Teknologi Jakarta XIII, 1986.
5. Millman Yacob dan Christos C. Halkias, "Elektronika Terpadu", jilid I , diterjemahkan oleh M. Barmawi dan M. O. Tjia, Erlangga, Jakarta, 1985.
6. Robert King, "Electronic Circuit and System", Nelson, London, 1975.
7. Millman Yacob dan Christos C. Halkias, "Elektronika Terpadu", jilid II, diterjemahkan oleh M. Barmawi dan M. O. Tjia, Erlangga, Jakarta, 1985.
8. Archie W. Culp, "Prinsip-Prinsip Konversi Energi", diterjemahkan oleh Ir. Darwin Sitompul, Erlangga, Jakarta, 1985.