

MAKALAH SEMINAR NASIONAL

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

**DISAIN CIRCUIT DETEKTOR PHOODIODE ARRAY UNTUK
APLIKASI UV-VIS SPECROPHOTOMETER**



MILIK PERPUSTAKAAN UNIV. NEGERI PADANG
DITERIMA TGL. : 2 - 5 - 2009
SUMBER / MARGA : Habiah ,
KOLEKSI : K1
NO. INVENTARIS : 150/Hb/2009 - d, (1)
KLASIFIKASI : 621.319 Ra2 d.1

Oleh:

PAKHRUR RAZI, M.SI
JURUSAN FISIKA FMIPA UNP

SEMINAR NASIONAL BKS PTN B
FMIPA UNIVERSITAS SYIAH KUALA
DARUSSALAM BANDA ACEH
TANGGAL 4-5 APRIL 2009

DISAIN CIRCUIT DETEKTOR *PHOODIODE ARRAY* UNTUK APLIKASI *UV-VIS SPECTROPHOTOMETER*



Pakhrur Razi, M.Si

Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang

Abstract

UV-Vis Spectrophotometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur absorbansi dari sebuah bahan. *Detector* yang digunakan untuk mendeteksi besarnya absorbansi dari suatu bahan adalah *photodiode array*, keluaran dari photodiode ini berupa arus yang sebanding dengan besarnya intensitas cahaya yang mengenai detector. Agar keluaran yang dihasilkan dapat diukur maka diperlukan penguatan. Dari hasil perancangan awal keluaran yang dihasilkan photodiode rentan dengan noise. Pada paper ini akan dijelaskan bagaimana sistem pengolahan sinyal output photodiode array, yang dimulai dari desain rangkaian elektronik detector photodiode array, converter arus ke tegangan, penguatan, noise control serta interfacing *hardware-software* yang di display menggunakan PC (*personal computer*) untuk aplikasi *UV-VIS spectrophotometer*. Tipe photodiode array yang digunakan adalah S4111-16R spektral respon 320nm-1100nm.

Keyword : Pengolahan sinyal Photodiode array, photodiode array

A. PENDAHULUAN

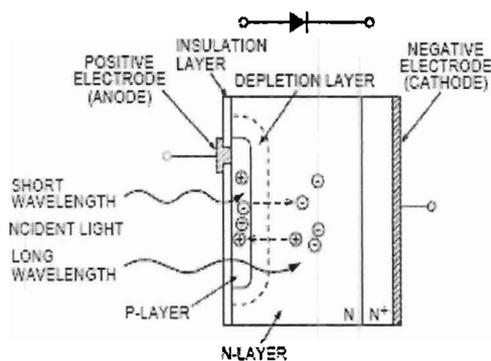
Photodiode Array adalah fotodiode yang tersusun secara berurutan yang telah dipaket dan berbentuk IC (*integrated circuit*). Banyak alat ukur atau instrument menggunakan photodiode sebagai detektor atau sensornya. Antara lain: uv-vis spectrophotometer, AAS (atomic absorption spectrometer), yang digunakan untuk menentukan kadar unsur logam, lux meter, CT-Scan, X-ray detector dan lain sebagainya. Kebutuhan akan alat ini di

Indonesia sangat tinggi dan harganya pun relative mahal sehingga tidak banyak Universitas atau pusat penelitian memilikinya. Jikapun ada jumlahnya sangatlah terbatas. Di Indonesia alat-alat seperti ini masih di impor dari luar negeri sehingga selain harganya mahal, jika ini mengalami kerusakan kita harus mendatangkan teknisi khusus dari luar dan ini membutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Pada penelitian ini telah dihasilkan *Visible spectrophotometer* menggunakan detector photodiode array

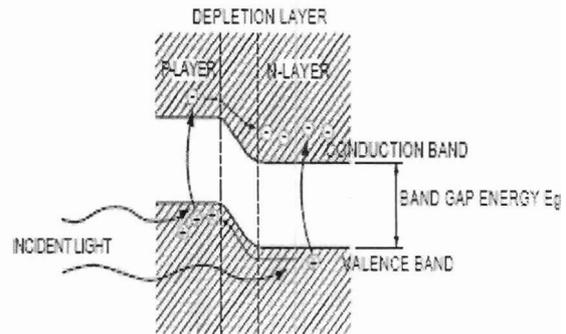
B. Bahan dan Metode

1. Prinsip Kerja Photodiode Array

Photodiode Array adalah fotodiode yang tersusun secara berurutan yang telah dipaket dan berbentuk IC (*integrated circuit*). Silicon fotodiode adalah divais semikonduktor yang responsif terhadap energi foton, cara kerja fotodiode adalah menyerap foton atau muatan partikel sehingga menghasilkan aliran arus didalam rangkaian yang proporsional dengan banyaknya penyerapan tersebut. Fotodiode terdiri atas silicon tipe “n” sebagai substrat dan didoping dengan material tipe “p” dengan difusi termal atau implementasi ion, biasanya di doping dengan Boron. Hubungan antara layer “p” dengan silicon “n” dikenal dengan junction pn, kontak metal tipis dipasang pada permukaan *device* ini, area aktif fotodiode biasanya dilapisi dengan silicon nitrit, silicon monoksida atau silicon dioksida untuk proteksi dan lapisan anti refleksi. Kontruksi fotodiode seperti gambar 1



Gambar 1. Photodiode tampak samping



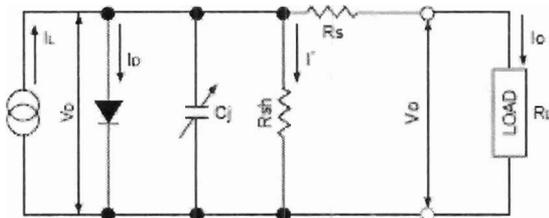
Gambar 2. Keadaan sambungan pn Photodiode Array

Silicon adalah sebuah semikonduktor dengan “band gap” 1.12 eV pada temperatur ruang. Pada daerah pn *junction* terdapat daerah deplesi, dimana pada daerah ini atom akseptor dan donor terionisasi karena perpindahan elektron atau hole, daerah deplesi ini dapat dirubah dengan memberi bias mundur (*reverse bias*). Ketika area aktif fotodiode menyerap foton maka terbentuk pasangan electron-hole, difusi elektron dari daerah tipe n ke daerah tipe p, dan difusi hole dari daerah tipe p ke daerah tipe n sehingga menghasilkan aliran arus dalam rangkaian

2. Rangkaian setara Photodiode

Rangkaian setara Silikon photodiode diwakili oleh sumber arus yang paralel dengan dioda ideal. Sumber arus berasal dari radiasi yang mengenai daerah aktif dan dioda diwakili oleh sambungan pn. Dalam rangkaian setara ini juga dimasukkan junction kapasitor (C_j) dan

hambatan shunt (R_{sh}) yang paralel dengan komponen lain. Hambatan seri (R_s) dihubungkan seri dengan semua komponen dalam rangkaian setara. Selengkapnya seperti gambar 3



Gambar 3. Rangkaian setara photodiode
Dimana:

- I_L = Arus yang dihasilkan saat dikenai cahaya
- I_D = Arus Dioda
- C_j = Kapasitor junction
- R_{sh} = Hambatan shunt
- R_s = Hambatan seri
- I' = Arus hambatan shunt
- V_D = Tegangan pada dioda
- I_o = Arus Keluaran
- V_o = Tegangan keluaran

Hambatan shunt (R_{sh}) digunakan untuk menentukan arus nois pada photodiode saat tanpa bias. Agar photodiode memiliki performance yang bagus disarankan menggunakan hambatan shunt (R_{sh}) yang lebih besar. Hambatan seri (R_s) dari photodiode berasal dari metal kontak dan daerah deplesi dari silikon, yang besarnya ditentukan oleh

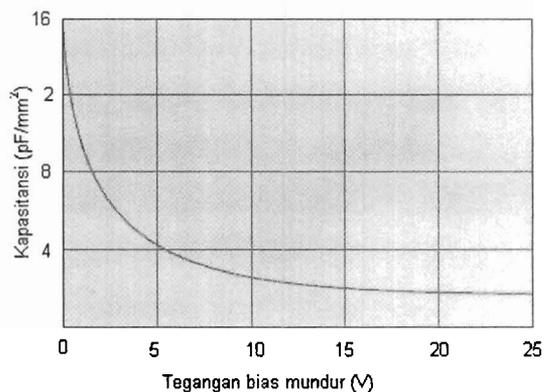
$$R_s = \frac{(W_s - W_d)\rho}{A} + R_c \dots \dots \dots (1)$$

Dimana W_s adalah ketebalan dari substrat, W_d adalah lebar daerah deplesi. A adalah daerah difusi dari sambungan. ρ

adalah resistivitas dari substrat dan R_c adalah hambatan penghubung. Hambatan seri (R_s) digunakan untuk menentukan lineritas photodiode saat tanpa bias $v=0$. Walaupun idealnya photodiode tidak mempunyai hambatan seri (R_s). Biasanya dari hasil pengukuran besarnya hambatan seri (R_s) photodiode berkisar dari rank 10-1000 ohm.

Kapasitansi *Capacitor junction* (C_j) sebanding dengan area difusi dan berbanding terbalik dengan lebar daerah deplesi, agar photodiode memiliki sensitivitas yang tinggi maka kapasitansi junction kapasitor harus rendah. Capasitasi junction kapasitor tergantung pada *reverse bias* yang diberikan. Besarnya kapasitansi junction kapasitor (C_j) ditentukan oleh

$$C_j = \frac{\epsilon_{Si}\epsilon_0 A}{\sqrt{2\mu\rho(V_A + V_{bi})}} \dots \dots \dots (2)$$



Gambar 4. Kapasitansi C_j vs Reverse bias

Dimana $\epsilon_0=8.854 \times 10^{-14}$ F/cm, yaitu permitivitas ruang hampa, $\epsilon_{Si}= 11.9$

konstanta dielektrik silikon, $\mu = 1400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ mobilitas elektron pada suhu 300 K, ρ adalah resistivitas silikon, V_{bi} adalah tegangan built-in silikon dan V_A tegangan bias. Dari gambar terlihat bahwa besarnya kapasitansi tergantung pada tegangan bias mundur yang diberikan. *Capacitor junction* (C_j) digunakan untuk menentukan laju respon dari photodiode. Besarnya arus keluaran yang diberikan berdasarkan rangkaian setara di atas adalah

$$I_0 = I_L - I_D - I' = I_L - I_s \left(\exp \frac{eV_D}{kT} - 1 \right) - I' \quad (3)$$

I_s = Arus saturasi photodiode bias mundur

e = muatan electron ($1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

k = konstanta boltzman ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)

T = Temperatur absolut Photodiode

Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) adalah tegangan pada saat I_0 sama dengan 0, sehingga V_{oc} menjadi

$$V_{oc} = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_L - I'}{I_s} + 1 \right) \quad (4)$$

Jika I' diabaikan, sehingga kenaikan V_{oc} berubah terhadap temperatur. V_{oc} berbanding terbalik terhadap temperatur dan sebanding dengan log dari I_L . Pada saat terhubung singkat yaitu R_L dan V_0 sama dengan nol, arus I_{cs} adalah

$$I_{cs} = I_L - I_s \left(\exp \frac{e(I_{cs}R_s)}{kT} - 1 \right) - \frac{I_{cs}R_s}{R_{sh}} \quad (5)$$

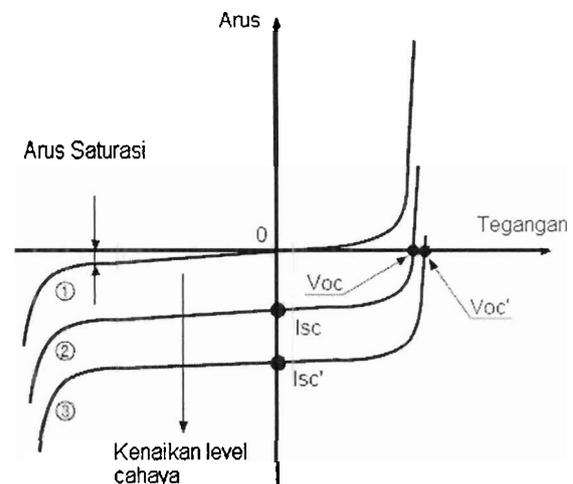
Dalam hubungan ini, bagian ke dua dan ketiga batas dari linearitas dari I_{cs} . Karena R_s beberapa ohm dan R_{sh} 10^7 sampai

10^{11} ohm. sehingga bagian ini dapat diabaikan

Dalam sebuah photodiode, ada dua sumber nois yang dapat diidentifikasi yaitu shot nois dan Johnson nois (thermal). Shot nois berhubungan dengan fluktuasi photocurrent dan dark current. Shot nois didominasi oleh sumber ketika *photoconductive* diberi bias. Thermal atau jhonson nois berhubungan dengan hambatan shunt yang dimiliki photodiode. Tipe nois ini didominasi arus nois pada saat dioperasikan tanpa bias. Perlu diingat bahwa semua hambatan mempunyai jhonson nois jika hambatan tersebut voltensial

3. Karakteristik Arus vs Tegangan

Ketika tegangan diberikan pada photodiode dalam keadaan gelap, hasil karakteristik arus terhadap tegangan yang diperoleh menyerupai kurva dioda biasa, seperti gambar 5



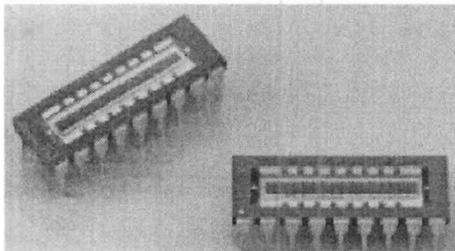
Gambar 5. Karakteristik kurva I-V photodiode

Ketika cahaya mengenai photodiode, kurva pada kondisi (1) berubah ke (2) dan terus naik sampai kondisi (3) dalam perubahan yang sejajar, berdasarkan intensitas cahaya yang mengenainya. Karakteristik dari kondisi (2) dan (3), jika terminal photodiode terhubung singkat, arus I_{sc} sebanding dengan intensitas cahaya, yang mengalir masuk dengan arah dari anoda ke katoda. Jika rangkaian terbuka, V_{oc} atau V_{oc}' akan menghasilkan polaritas positif di anoda.

C. Hasil Diskusi

a. Rangkaian Readout Photodiode Array

Photodiode array yang digunakan adalah type s4111R-16 array dengan keunggulan yaitu dapat mendeteksi intensitas cahaya yang rendah, sensitivitas yang tinggi, memiliki aktif area yang besar. Photodiode array ini memiliki 16 pin dengan konfigurasi sebagai berikut

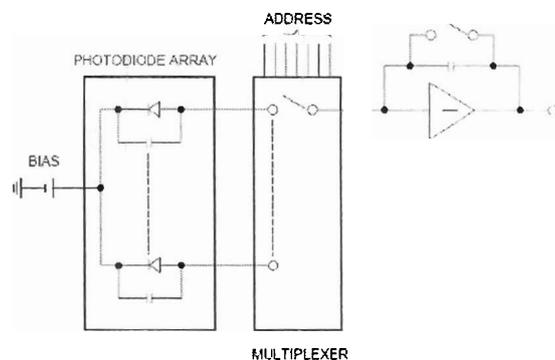


Gambar 6. Photodiode Array 16 element

Pin No.	16-element type
1	KC
2	2
3	4
4	6
5	8
6	10
7	12
8	14
9	16
10	KC
11	15
12	13
13	11
14	9
15	7
16	5
17	3
18	1

Gambar 7. Konfigurasi pin Photodiode array

Pembacaan keluaran photodiode dilakukan dengan mengalirkan muatan yang disimpan dalam *capacitor junction* (C_j) pada setiap channel, yang besarnya sebanding dengan intensitas cahaya yang mengenainya, pembacaan keluaran *photodiode array* secara berurutan dapat dilakukan dengan menggunakan *multiplexer*. Dengan methoda ini photodiode harus diberikan tegangan bias mundur (*reverse voltage*) dan satu amplifier. Skematik rangkaian seperti gambar

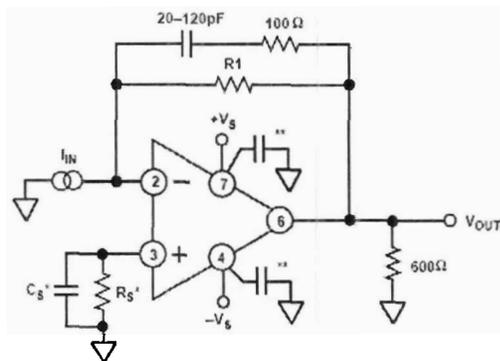


Gambar 8. Skematik rangkaian Photodiode Array dan multiplexer

Arus keluaran dari multiplexer dihubungkan dengan sebuah op-amp untuk mereduksi noise.

b. Rangkaian penguat dan konversi arus ke tegangan

Untuk mereduksi noise yang dihasilkan dari photodiode array dan multiplexer, keluaran multiplexer dihubungkan dengan sebuah op-amp. Skema rangkaian seperti gambar 9



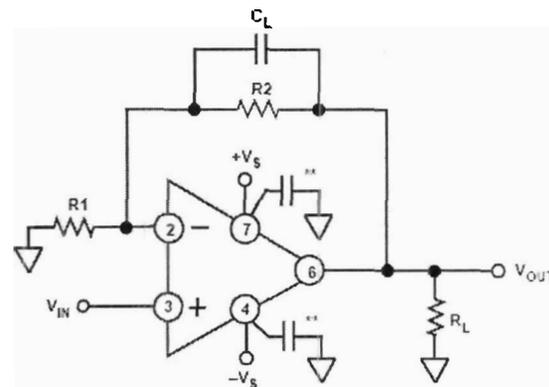
Gambar 9. Current amplifier & I -to-V circuit

Setelah dihubungkan dengan op-amp arus di konversi ke dalam bentuk tegangan. Hambatan R_1 digunakan sebagai feedback inverting untuk menstabilkan keluaran op-amp. Untuk menghasilkan penguatan yang besar harga hambatan R_1 juga besar. Dengan harga R_1 yang besar pada rangkaian menghasilkan masalah baru yaitu hambatan R_1 akan menghasilkan panas secara signifikan sehingga menciptakan noise baru. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan menghubungkan hambatan R_s dengan besar yang sama ke masukan noninverting dan kapasitor C_s by pass untuk menghilangkan noisnya. Besarnya harga hambatan feedback

menentukan noise, bandwidth dan penguatan.

c. Rangkaian penguat tegangan dan control noise

Tegangan keluaran dari rangkaian converter arus ketegangan dihubungkan dengan rangkaian penguat untuk mendapatkan penguatan yang sesuai dengan yang diinginkan. Skematik rangkaian seperti pada gambar 10



Gambar 10. Skematik rangkaian penguat tegangan

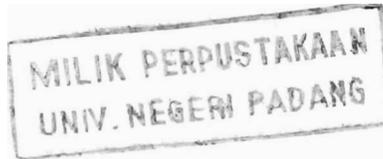
Besarnya penguatan ditentukan oleh harga R_2 dan R_1 untuk mendapatkan respon yang baik (flat) dari keluaran op-amp pada hambatan feedback dipasang sebuah kapasitor kecil (C_L) secara parallel.

D. Kesimpulan

1. Dengan desain rangkaian seperti di atas telah berhasil dibuat sebuah visible spectrophotometer dengan menggunakan detektor photodiode array
2. Keluaran photodiode berupa arus dan sangat rentan dengan noise, untuk keperluan rancangan instrumen yang

sangat presisi dituntut agar keluaran dari sensor bebas dari nois yang dapat berasal dari op-amp, komponen, ataupun dari potodiode (detektor)

621.319
Pa2
d:1



Referensi

- [1] Texas Instruments Incorporated,(2000).
Designing Photodiode Amplifier.
Buletin
- [2] Texas Instruments Incorporated,(2000).
Photodiode Monitoring. Buletin
- [3] [www.http://hamamatsu.com/circuit](http://hamamatsu.com/circuit)
- [4] [www.http://photodiode characteristic](http://photodiode characteristic)
- [5] J. Morrow (2004), *Photodiode Amplifier Design Schematics*,
- [6] Jacob Fraden. Modern sensor, design and application