

DISAIN CIRCUIT REDUKSI NOISE PADA DETEKTOR *PHOTODIODE ARRAY* UNTUK APLIKASI *UV-VIS SPECTROPHOTOMETER*

Pakhrur Razi

Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA UNP

Email: rozi_fi@fmipa.unp.ac.id

ABSTRACT

UV-Vis Spectrophotometer is a tool used to measure the absorbance of a substance. Detector which is used to detect the magnitude of absorbance of a substance is the photodiode array. The output of the photodiode array is in current form, the magnitude of current proportional to the magnitude of light intensity on the detector. In order to resulting output of photodiode array can be measured is needed strengthening. The initial design of the output circuit produced by the photodiode array vulnerable noise, whether it comes from the circuit itself, thermal and so forth. The purpose of this research is to design processing circuit the output of signal that without noise, starting from the design of electronic circuit photodiode array detector, current to voltage converter, strengthening of the voltage, noise control and hardware-software interfacing that displayed on a PC (personal computer) for the application of UV-VIS spectrophotometer. This type of photodiode array S4111-16R used is 320nm-1100nm spectral response.

Keyword : *Design Circuit Spectrophotometer, signal processing, Photodiode array*

PENDAHULUAN

Photodiode Array adalah fotodiode yang tersusun secara berurutan yang telah dipaket dan berbentuk IC (*integrated circuit*). Salah satu keuntungan dari *Photodiode array* (PDA) adalah memungkinkan untuk pembacaan keluaran secara paralel dengan kecepatan tinggi. 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 seperti ini di Indonesia sangat tinggi walaupun harganya relatif mahal. Dengan mahalnya harga alat seperti ini, tidak banyak Universitas atau pusat penelitian memilikinya, jikapun ada

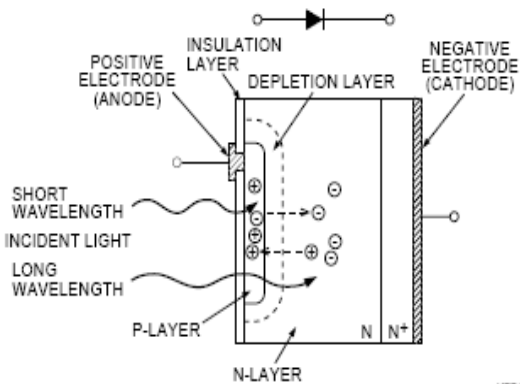
jumlahnya sangatlah terbatas. Di Indonesia alat-alat seperti ini masih di impor dari luar negeri, sehingga selain harganya mahal, jika alat seperti ini mengalami kerusakan kita harus mendatangkan teknisi khusus dari produsen alat tersebut, tentu membutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Pada penelitian ini telah dihasilkan *Visible spectrophotometer* menggunakan *detector photodiode array* yang dapat digunakan untuk keperluan penelitian di laboratorium.

METODE PENELITIAN

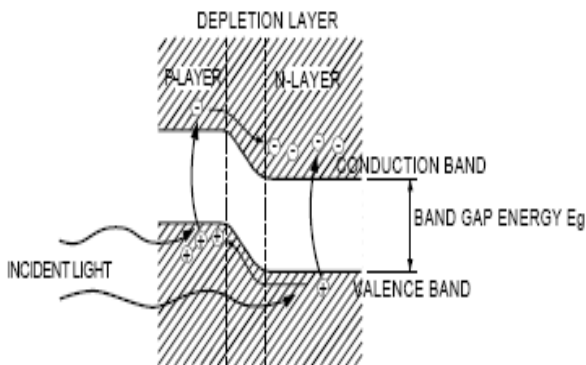
1. Prinsip Kerja Photodiode Array

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



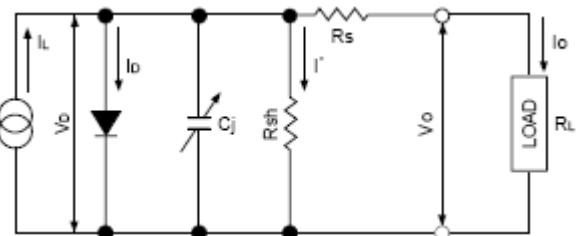
Gambar 2. Keadaan sambungan pn photodiode array

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

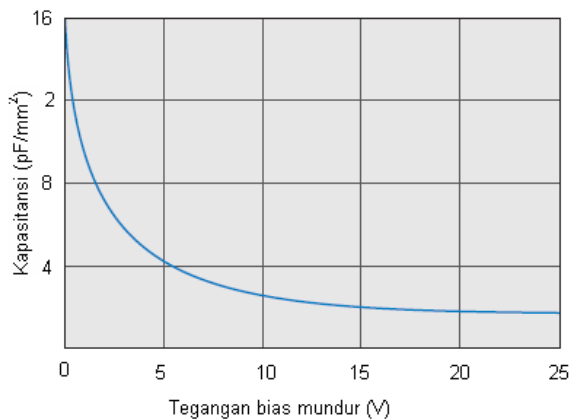
Hambatan shunt (R_{sh}) digunakan untuk menentukan arus noise pada photodiode saat tanpa bias. Agar photodiode memiliki performance yang bagus disarankan menggunakan hambatan shunt (R_{sh}) yang lebih besar. Hambatan seri (R_s) dari photodiode berasal dari metal kontak dan daerah deplesi dari silikon,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

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

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. Capasitansi junction kapasitor tergantung pada *reverse bias* yang diberikan. Besarnya kapasitansi junction capasitor (C_j) ditentukan oleh

$$C_j = \frac{\epsilon_s \epsilon_0 A}{\sqrt{2\mu\rho(V_A + V_{bi})}} \quad (2)$$



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, $\mu= 1400$ cm²/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

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

I_s = Arus saturasi photodiode bias mundur

E = muatan electron (1.6×10^{-19} C)

k = konstanta boltzman (1.38×10^{-23} 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

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

Dalam hubungan ini, bagian ke dua dan ketiga batas dari lineritas dari I_{sc} . Karena R_s beberapa ohm dan R_{sh} 10^7 sampai 10^{11} ohm.sehingga bagian ini dapat diabaikan.

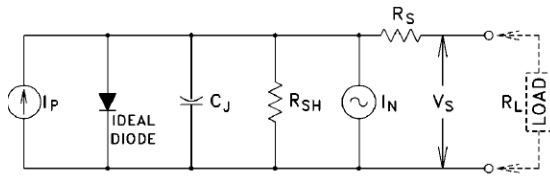
Dalam sebuah photodiode, ada dua sumber nois yang dapat diidentifikasi yaitu shot nois dan Johnson nois (thermal). Shot nois berhubungan dengan fluktuasi photocurrent dan dark current. Shot nois didominasi oleh sumber ketika *photoconductive* diberi bias. Thermal atau jhonson nois berhubungan denga hambatan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

3. Karakteristik Nois Photodiode

a. Noise Current (I_N)

Rangkaian setara diode seperti Gambar 5. Terdiri dari sebuah pembangkit arus yang ideal dan paralel dengan dioda

ideal. *Junction capacitance*, hambatan seri dan *noise current generator* dihubungkan dengan hambatan shunt.



Gambar 5. Rangkaian Setara Photodiode

Seperti tipe sensor cahaya yang lain, batas bawah cahaya yang dideteksi photodiode ditentukan oleh karakteristik dari photodiode tersebut.

Tiga sumber utama noise pada photodiode adalah thermal noise (Johnson noise), shot noise, dan flicker noise (1/f atau contact noise). Ketiga sumber noise ini tidak tergantung satu sama lainnya, dan total noise adalah akar dari jumlah kuadrat dari masing sumber noise. Dapatditulis:

$$I_N = \sqrt{I_J^2 + I_S^2 + I_F^2} \quad (6)$$

- I_N = total noise current (A)
- I_J = thermal or Johnson noise current (A)
- I_S = shot noise current (A)
- I_F = flicker noise current (A)

b. Thermal or Johnson Noise (IJ)

Nois termal merupakan fenomena mendasar yang dihasilkan oleh gerak acak dari elektron. Nois thermal Fotodiode disebabkan oleh hambatan shunt R_{SH} dan berbanding lurus dengan suhu mutlak, sehingga dapat ditulis

$$I_J = \sqrt{\frac{4kTB}{R_{SH}}} \quad (7)$$

Dimana:

- I_J = Johnson noise (A)
- k = Boltzmann's constant (1.38 x 10⁻²³ joules/K)
- T = Absolute temperature (K)
- B = Noise bandwidth (Hz)
- R_{SH} = Photodiode shunt resistance (Ω)

Pada dioda, Johnson nois akan menjadi jenis nois dominan ketika salah satu ada kebocoran kecil atau photodiode resitensi tinggi digunakan dalam konfigurasi tanpa bias atau ketika hambatanyabernilai tinggi ($M\Omega$ atau $G\Omega$) digunakan sebagai elemen sensor arus. Karena termal nois tidak tergantung pada frekuensi dan mengandung kerapatan nois per satuan bandwidth tetap, ini dianggap sebagai *white noise*. Johnson nois dapat dinyatakan dalam satuan ampere per akar hertz

$$\frac{I_J}{\sqrt{B}} = \sqrt{\frac{4KT}{R_{sh}}} \quad (8)$$

c. Shot Noise (IS)

Shot noise dihasilkan oleh fluktuasi acak pada aliran arus normal melalui sambungan PN. Sebab setiap elektron membawa sejumlah muatan diskrit dan aliran elektron tergantung pada fluktuasi acak arus.

shot noise dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut.

$$I_s = \sqrt{2qI_{dc}B} \quad (9)$$

Dimana:

- I_s = Shot noise (A, rms)
- I_{dc} = Dc current through the junction
- q = Electron charge (1.6 x 10⁻¹⁹ coulombs)
- B = Noise bandwidth (Hz)

Seperti halnya thermal noise, shot noise juga tidak tergantung pada frekuensi (white noise). Shot noise menjadi signifikan ketika dioda mengalami kebocoran yang besar digunakan dalam *reseve bias* atau ketika signal yang harus dideteksi sangat lemah.

d. Flicker or 1/f Nois

Flicker nois biasanya dikaitkan dengan nois dari proses pabriaksi atau permukaan fotodiode. Dari data eksperimen menunjukkan bahwa nois tipe ini tergantung

pada aliran arus dc. Secara umum besarnya flicker noise mengikuti persamaan:

$$I_F = \sqrt{\frac{KI_{dc}B}{f}} \quad (9)$$

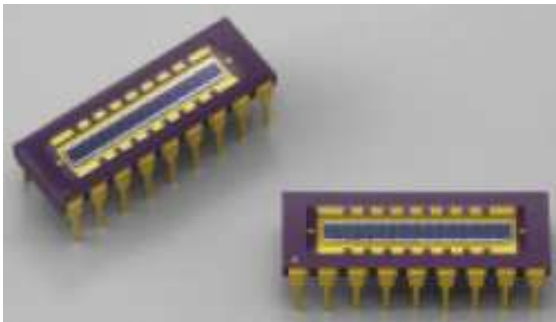
Dimana:

- I_F = Flicker noise (A)
- K = Konstanta yang tergantung pada tipe material dan gemetrinya
- I_{dc} = Arus dc pada sambungan (A)
- B = Bandwidth yang digunakan (Hz)
- F = Frekuensi (Hz)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. 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

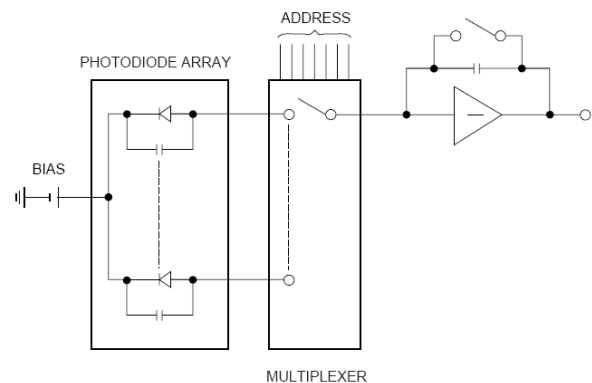


Gambar 6. Photodiode array 16 element

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 chanel, 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

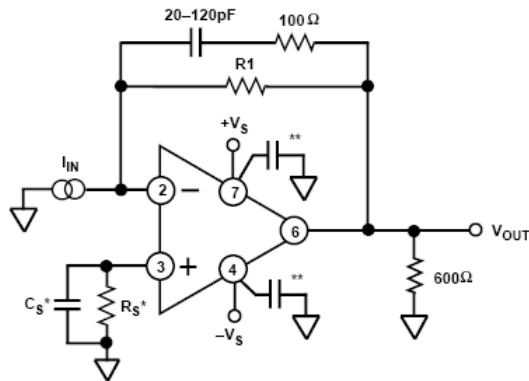


Gambar 8. Skematik rangkaian photodiode array dan multiplexer

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

2. Rangkaian Penguat dan Konversi Arus ke Tegangan

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

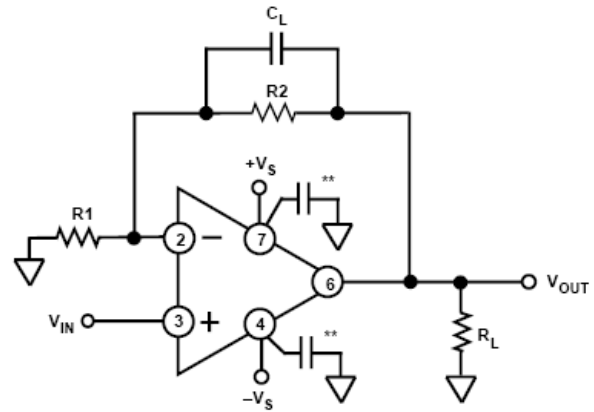


Gambar 9. Current amplifier & I -to-V circuit

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 nois 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 nios, bandwidth dan penguatan.

3. Rangkaian Penguat Tegangan dan Kontrol Nois

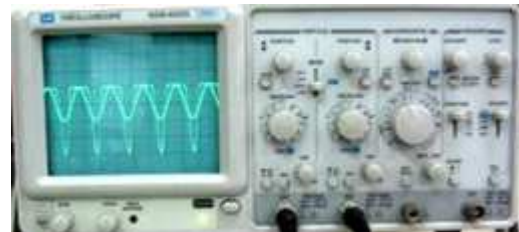
Tegangan keluran dari rangkaian converter arus ketegangan dihubungkan dengan rangkain penguat untuk mendapatkan penguatan yang sesuai dengan yang diinginkan. Skematik rangkain seperti pada gambar 10



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 kapa sitor kecil (C_L) secara parallel.

Bentuk keuaran signal seperti Gambar 11



Gambar 11. Keluaran tegangan keluaran rangkaian

Dari keluaran rangkaian Nampak bahwa tegangan keluaran masih sedikit terpotong, agar hal ini tidak terjadi dapat diatasi dengan menambahkan mengantikan kapasitor buffer.

KESIMPULAN

1. Dengan desain rangkain seperti di atas telah berhasil didapatkan keluaran yang dihasilkan tanpa nois untuk aplikasi visible spectrohotometer
2. Nois dari keluaran rangkaian dapat berasal dari op-amp, komponen rangkaian, ataupun dari potodiode (detektor). Untuk keperluan rancangan instrumen yang sangat presisi disarankan menggunakan ragkain yang telah terintegrasi dengan detektor dalam bentuk IC

DAFTAR PUSTAKA

- Graeme Jerald. (1995). **Photodiode Amplifiers: OP AMP Solutions**. McGraw-Hill Professional
- HermansCarolien, SteyaertMichiel (2007). **Broadband Opto-Electrical Receivers in Standard CMOS (Analog Circuits and Signal Processing)** Springe.
- J. Morrow. (2004). **Photodiode Amplifier Design Schematics**
- Jacob Fraden. **Modern sensor, design and application**
- Johnson Mark. (2003). **Photodetection and Measurement: Maximizing Performance in Optical Systems**. McGraw-Hill Professional
- IizukaKeigo. (2002). **Elements of Photonics 2 Volume Set**. Wiley- Interscience
- PakhrurRazi. (2007). **Development of visible spectrophotometer based on photodiode array detector**. Semirata UIN Jakarta
- RadovanovicSasa, Annema Anne-Johan, Nauta Bram. (2006). **High-Speed Photodiodes in Standard CMOS Technology (The International Series in Engineering and Computer Science)**. Springer.
- Texas Instruments Incorporated. (2000). **Designing Photodiode Amplifier**. Buletin
- Texas Instruments Incorporated. (2000). **Photodiode Monitoring**. Bulet