

PENENTUAN SENSITIVITAS DETEKTOR SINAR-X BERBASIS FOTOTRANSISTOR

Ramacos Fardela^{1*}, Kusminarto²

¹Prodi Teknik Komputer, STT Payakumbuh, Jl. Khatib Sulaiman Sawah Padang, Payakumbuh, 26227,

²Laboratorium Fisika Citra Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Email : Ramacosfardela@gmail.com

Submitted: 16-05-2016, Rewiewed:17-05-2016, Accepted:17-05-2016

<http://dx.doi.org/10.22216/jit.2015.v9i4.391>

Abstract

X-ray interaction with matter can produce phenomenon of fluorescence that emits visible light. This phenomenon was exploited to design an x-ray detector based on phototransistor by attaching a screen ZnS(Ag) on the surface of the phototransistor which is arranged in a Darlington circuit. Detection of active region of detector was done by collimating of x-rays beam from the x-ray generator tube Philips 2000 watts, 60 kV type PW 2215/20 NR 780 026 and measure the detector output voltage (V_{out}) at change in x-ray intensity . The experimental results showed that the Darlington circuit can be applied to design the detector of x-ray based on phototransistor. Sensitivity of detector used 0,037 mV and offset 130 mV.

Keywords: Detector , Phototransistor , X-ray , Screen ZnS (Ag)

Abstrak

Interaksi sinar-x dengan materi dapat menghasilkan gejala fluoresensi yang mengemisikan cahaya tampak. Fenomena ini dimanfaatkan untuk merancang detektor sinar-x berbasis fototransistor dengan menempelkan layar pemendar ZnS(Ag) di permukaan fototransistor yang disusun dalam rangkaian Darlington. Pengukuran sensitivitas detektor dilakukan dengan langkah mengkolimasi berkas sinar-x dari tabung pembangkit sinar-x Philips 2000 watt, 60 kV tipe PW 2215/20 NR 780026 dan mengukur tegangan keluaran detektor (V_{out}) terhadap perubahan intensitas sinar-x. Berdasarkan hasil eksperimen menunjukkan bahwa rangkaian Darlington dapat diterapkan untuk merancang detektor sinar-x berbasis fototransistor. Sensitivitas detektor didapatkan sebesar 0,037 mV dan gelinciran 130 mV.

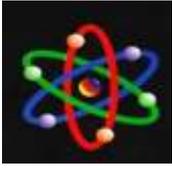
Kata kunci: Detektor, fototransistor, Sinar-X, Layar ZnS(Ag)

PENDAHULUAN

Panjang gelombang sinar-x yang jauh lebih pendek dari cahaya tampak yaitu berkisar antara 0,01 nm hingga 10 nm atau energi dari 100 eV hingga 100 keV diaplikasikan untuk diagnosa maupun terapi di bidang medis yang salah satunya pada pesawat sinar-x *Ct-scan (Xray Computed Tomography)*. Pada *CT scan* untuk citra yang dihasilkan merupakan distribusi koefisien serapan sinar-x. Besaran fisika yang diukur berupa intensitas foton yang

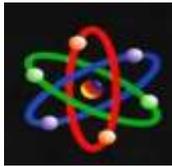
diterima oleh detektor yang telah mengalami pelemahan intensitas sepanjang jalur transmisi. Jumlah detektor pada *CT scan* ditentukan oleh generasi nya. Istilah generasi *CT* mengacu pada pengaturan geometris dari kombinasi detektor, sumber radiasi dan metode yang dianut dalam memperoleh data untuk jumlah proyeksi yang diperlukan (Abdullah et al., 2008).

Generasi pertama adalah *scanning* yang paling sederhana yang merupakan berkas paralel di mana sumber



memancarkan sinar radiasi tunggal, dan detektor yang digabungkan bersama sehingga detektor selalu menghadap sumber. Generasi kedua memiliki sebuah larik detektor menghadap satu sumber, jumlah rotasi dikurangi dengan penggunaan beberapa *pencil beams* dan menggunakan beberapa detektor. Generasi ketiga salah satu jenis scanner yang paling populer, memiliki sejumlah detektor yang terletak di busur konsentris ke sumbernya. Ukuran detektor cukup besar, gerak linier dihilangkan sehingga secara signifikan mengurangi waktu akuisisi data. Generasi keempat dimana sumber diatur tetap dan sejumlah besar detektor dipasang pada cincin sehingga detektor membentuk cincin tertutup dan tetap diam selama *scanning* sinar radiasi menyapu objek. Salah satu keuntungan dari *scanner* generasi keempat adalah jarak antara sampel yang berdekatan dalam proyeksi ditentukan semata-mata oleh di mana tingkat pengukuran dilakukan (Abdullah et al., 2008). Semakin tinggi generasinya, jumlah detektor yang digunakan semakin banyak sehingga membutuhkan detektor yang lebih sensitif terhadap radiasi sinar-x dan ukuran yang lebih kecil. Detektor sinar-x yang biasa digunakan saat ini adalah detektor isian gas, seperti Detektor Ionisasi dan Detektor Geiger Muller (Grupen, 2011). Detektor ini terdiri dari dua elektroda, elektroda positif dan elektroda negatif, serta berisi gas diantara kedua elektrodanya. Elektroda positif disebut sebagai anoda, yang dihubungkan ke kutub listrik positif, sedangkan elektroda negatif disebut sebagai katoda, yang dihubungkan ke kutub negatif. Detektor ini berbentuk silinder dengan sumbu yang berfungsi sebagai anoda dan dinding silindernya sebagai katoda. Detektor isian gas memiliki konstruksi yang cukup sederhana, namun memiliki dimensi yang

cukup besar serta memiliki efisiensi yang rendah. Berikutnya adalah detektor semikonduktor yang memiliki keuntungan (1) respon yang bervariasi secara linear terhadap energi yang disimpan di detektor dan tidak tergantung pada jenis radiasi yang menyimpan energi, (2) penyerapan energi diabaikan pada muka detektor, (3) resolusi energi yang sangat baik, (4) pembentukan pulsa dengan waktu naik cepat, dan (5) ukuran detektor kecil (Hendee, Ritenour, & Hoffmann, 2003). Sifat sinar-x yang mampu mengionkan atom suatu bahan yang dikenainya yang kemudian mengemisikan foton, atau dapat menimbulkan gejala fluoresensi pada suatu bahan tertentu. Dengan memanfaatkan gejala fluoresensi yang umumnya menghasilkan cahaya tampak, maka tentunya kita dapat menggunakan detektor cahaya sebagai basis untuk mendeteksi sinar-x (Rahman, 2012). Gejala fluoresensi pada sinar-x akan sangat optimal jika bahan yang digunakan sebagai pemancar adalah bahan yang sangat sensitif terhadap sinar-x. Salah satu jenis dari fotodetektor adalah fototransistor yang terbuat dari bahan semikonduktor p-n yang juga dapat menghasilkan arus listrik atau tegangan listrik dan sekaligus dapat menguatkan arus listrik tersebut. Arus yang dibangkitkan fototransistor jauh lebih besar daripada arus yang dibangkitkan fotodioda. Dengan kata lain, fototransistor lebih sensitif daripada fotodioda (Fraden, 2013). Pada dasarnya fototransistor peka terhadap perubahan cahaya, sedangkan sinar-x itu sendiri bukan merupakan cahaya tampak. Oleh karena itu diperlukan layar pemancar yang apabila berinteraksi dengan sinar-x akan menghasilkan gejala fluoresensi yang mengemisikan cahaya tampak. Salah satu bahan yang sangat peka dan mampu memancarkan gelombang elektromagnetik yang berfrekuensi tinggi terutama sinar-x

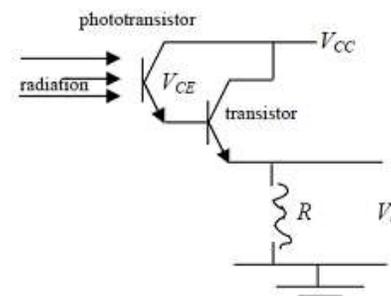


adalah *Silver-Activated Zinc Sulfide*, atau ZnS(Ag). Cahaya tampak inilah yang akan dideteksi oleh fototransistor dan keluaran detektor dapat diukur baik berupa arus (i) maupun tegangan (V_{out}). Untuk memberikan informasi yang lebih berarti perlu dilakukan digitasi hasil keluaran detektor menggunakan konverter yang biasa disebut dengan istilah ADC (*Analog to Digital Converter*). Perubahan sinyal analog yang dihasilkan detektor fototransistor menjadi nilai digital. Dengan perubahan besaran analog menjadi digital diharapkan dapat memberikan manfaat yang lebih terutama dapat diproses oleh computer (PC). Fototransistor banyak ditemukan dipasaran baik yang berukuran 5 mm bahkan 3 mm dengan harga yang relatif murah. Pada penelitian ini digunakan fototransistor yang berukuran 3 mm yang relatif lebih kecil. Pada *CT Scan* terdapat larik detektor dalam jumlah banyak untuk menangkap radiasi sinar-x. Karena menggunakan larik detektor, maka diperlukan detektor yang berukuran kecil agar tiap larik dapat memuat banyak detektor. Dengan dimensi fototransistor yang relatif lebih kecil yaitu 3 mm untuk 1 sel dan sensitifitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan fotodiode diharapkan dapat digunakan sebagai detektor sinar-x pada *CT-Scan*. Untuk itu dilakukan penelitian penentuan sensitivitas detektor sinar-x berbasis fototransistor yang didekati oleh layar pemendar ZnS(Ag). Penelitian ini guna menentukan sensitivitas fototransistor yang didekatkan layar pemendar ZnS (Ag), dengan diperolehnya informasi ini diharapkan kedepannya fototransistor dapat diaplikasi untuk detektor *X-ray* pada *Computed Tomography (CT scan)*.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Citra Jurusan Fisika FMIPA UGM

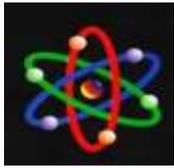
Yogyakarta. Bahan yang dibutuhkan adalah ZnS (Ag) sebagai layar pemendar, transistor 2N2369, fototransistor 3 mm. Peralatan yang digunakan meliputi Generator sinar-x dari alat *XRD Shimadzu XD-300* lengkap dengan Trafo pembangkit dan sistem pendinginnya *Shimadzu CWK-3500*. Tabung pembangkit sinar-x *Philips 2000 watt, 60 kV* dengan tipe *PW 2215/20 NR.780026*. Surveimeter, *Analog to Digital Converter* 10 bit yang terdapat pada *Arduino UNO R3*, dan Komputer (PC) berfungsi untuk menulis program serta menampilkan hasil data analog yang dirubah dalam bentuk digital menggunakan ADC. Rangkaian yang digunakan dalam penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



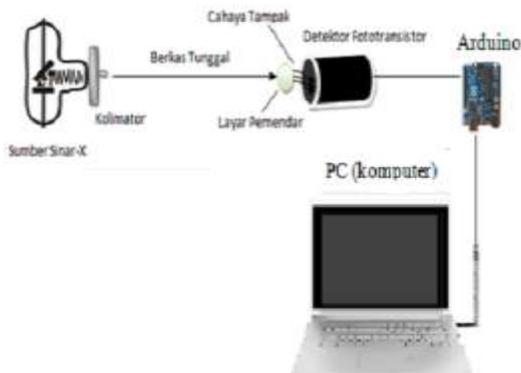
Gambar 1. Rangkaian Tipe Darlington
(Kusminarto and Susilo, 2004)

Rangkaian ini digunakan untuk merancang detektor fototransistor yang didekatkan layar pemendar ZnS (Ag) untuk mendeteksi sinar-x dengan keluaran berupa tegangan (V_{out}) yang selanjutnya dihubungkan pada ADC untuk mengkonversi nilai analog menjadi nilai digital. Detektor yang dirancang terdiri dari layar pemendar ZnS (Ag) yang didekatkan tepat pada muka fototransistor.

Tahap berikutnya adalah pengujian sensitivitas detektor terhadap cahaya tampak dikarenakan detektor ini sejatinya merupakan detektor cahaya. Keluaran



detektor berupa tegangan (V_{out}) diukur dan ditentukan sensitivitasnya terhadap perubahan intensitas sinar-x. Pengukuran sensitivitas detektor terhadap sinar-x ditampilkan pada layar komputer (PC), seperti ilustrasi Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi pengukuran sensitivitas detektor sinar-x

HASIL DAN PEMBAHASAN

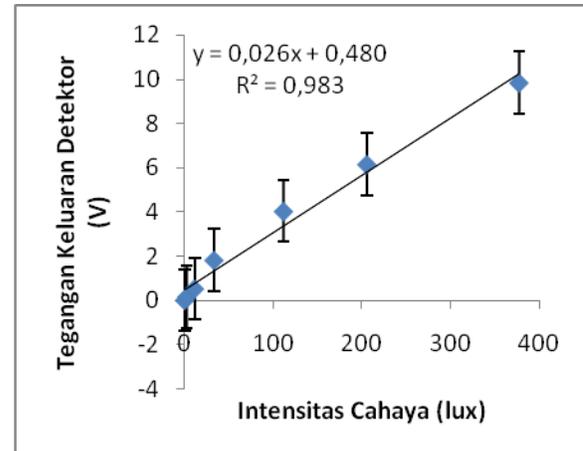
Data hasil eksperimen sensitivitas detektor terhadap cahaya tampak ditunjukkan pada Tabel 1 dan sensitivitas detektor terhadap perubahan intensitas sinar-x ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengujian sensitivitas detektor menggunakan cahaya tampak

No	Tegangan pada variac (Volt)	Intensitas cahaya (lux)	Tegangan Keluaran Detektor (Volt)
1	40	0,20	$0,021 \pm 0,01$
2	50	2,50	$0,17 \pm 0,01$
3	60	11,30	$0,54 \pm 0,01$
4	70	33,30	$1,83 \pm 0,04$
5	80	111,74	$4,04 \pm 0,09$
6	90	205,60	$6,16 \pm 0,01$
7	100	377,10	$9,85 \pm 0,01$

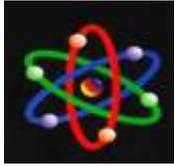
Tabel. 1 merupakan hasil pengujian sensitivitas detektor terhadap cahaya tampak untuk mengetahui kinerja dari rangkaian

Darlington yang diterapkan pada detektor serta untuk memastikan fototransistor yang digunakan dalam keadaan baik. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan intensitas cahaya yang diterima oleh detektor dengan cara mengubah tegangan yang diberikan pada lampu menggunakan Variac. Detektor dipasang pada posisi tetap yaitu 93 cm dari sumber cahaya. Intensitas cahaya yang dikeluarkan oleh lampu diukur menggunakan Luxmeter digital. Hasil menunjukkan bahwa detektor dapat bekerja dengan baik untuk setiap perubahan intensitas cahaya yang diberikan dengan tegangan keluaran maksimum yaitu $(9,85 \pm 0,01)$ V pada intensitas cahaya 377,1 lux. Hubungan antara intensitas cahaya yang diterima fototransistor dengan tegangan keluaran yang dihasilkan detektor ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara intensitas cahaya (lux) dengan keluaran detektor (mV)

Gambar 3 menunjukkan bahwa detektor bekerja dengan baik untuk mendeteksi cahaya tampak dengan kemiringan garis 0,026 volt/lux, nilai korelasi $R^2 = 0,98$ menyatakan terdapat hubungan yang kuat antara perubahan intensitas cahaya yang



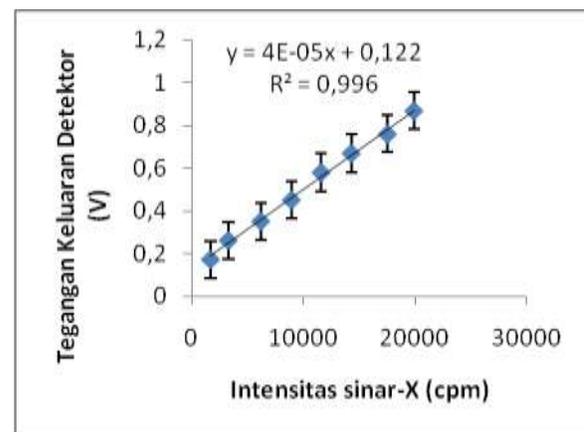
diberikan dengan tegangan keluaran yang dihasilkan. Persamaan garis yang diperoleh adalah $y = 0,026X + 0,48$ dimana y menyatakan tegangan keluaran detektor (V_{out}) dan X adalah intensitas cahaya (I). Persamaan ini dapat kita tulis menjadi $V_{out} = 0,026 I + 0,48$ sehingga didapatkan nilai sensitivitas detektor terhadap cahaya tampak adalah 0,026 volt/lux dengan offset (gelinciran) 0,48 volt. Hasil ini menunjukkan bahwa rangkaian Darlington yang digunakan pada detektor dapat diterapkan, serta detektor berada dalam keadaan baik. Untuk mengembangkan fototransistor sebagai detektor sinar-x perlu diperhatikan bahwa intensitas cahaya yang terukur oleh fototransistor benar berasal dari proses interaksi antara sinar-x dengan layar pemendar, sehingga dalam pengambilan data detektor fototransistor perlu ditutup guna meminimalisir cahaya lain yang terukur oleh detektor.

Tabel 2. Hasil pengukuran respon detektor terhadap perubahan intensitas sinar-x.

No	Arus Filamen (mA)	Intensitas Sinar-x (cpm)	Tegangan Keluaran Detektor (Volt)
1	5	1678±41	0,17 ± 0,03
2	10	3281±57	0,26 ± 0,04
3	15	6182±79	0,35 ± 0,05
4	20	8922±94	0,45 ± 0,05
5	25	11590±108	0,58 ± 0,02
6	30	14290±119	0,67 ± 0,05
7	35	17520±132	0,76 ± 0,06
8	40	19890±141	0,87 ± 0,07

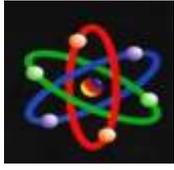
Tabel 2 merupakan hasil pengukuran respon detektor terhadap perubahan intensitas sinar-x yang didapatkan dari perubahan arus filament. Pengukuran dilakukan secara berulang untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

Tegangan keluaran minimum adalah sebesar 0,17 V dengan standar deviasi 0,03 V, sedangkan nilai maksimum sebesar 0,87 V dengan standar deviasi 0,07 V. Untuk mengetahui sensitivitas detektor atau karakteristik dari detektor sinar-x yang telah dirancang, diplot hubungan antara intensitas sinar-x terhadap tegangan keluaran detektor fototransistor, ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara intensitas sinar-x (cpm) dengan keluaran detektor (V).

Gambar 4 hubungan antara intensitas sinar-x (cpm) terhadap tegangan keluaran detektor (mV) fototransistor yang telah didekatkan layar pemendar ZnS(Ag). Hasil menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang linear antara perubahan intensitas sinar-x dengan tegangan keluaran detektor fototransistor yang telah didekatkan dengan bahan fluoresensi Zns (Ag) atau lebih dikenal dengan istilah layar pemendar. Hubungan yang linear ini ditunjukkan dari nilai $R^2 = 0,99$ yang menyatakan bahwa terdapat korelasi yang kuat antara perubahan intensitas pada sinar-x terhadap tegangan keluaran pada detektor yang telah dikembangkan. Persamaan garis dari hubungan diatas adalah $Y = 3,7 \times 10^{-5} \cdot X + 0,13$, dimana X merupakan perubahan



intensitas sinar-X (I) dan Y merupakan Tegangan keluaran (V_{out}). Persamaan ini dapat kita tulis menjadi $V_{out} = 3,7 \times 10^{-5} I + 0,13$ dan kemiringan garis sebesar $3,7 \times 10^{-5}$ V/cpm. Sehingga dapat diketahui sensitivitas detektor yang dikembangkan adalah 0,037 mV per cpm dan gelincirannya (offset) 130 mV yang menyatakan sinyal keluaran pada saat sinyal masukan nol. Keberadaan ZnS (Ag) sebagai layar pemendar sangatlah penting untuk menghasilkan gejala fluoresensi yang maksimal karena detektor yang dikembangkan merupakan detektor cahaya tampak. Gejala fluoresensi pada akhirnya mengemisikan cahaya tampak rentan violet sehingga fototransistor dapat bekerja mendeteksi cahaya dengan panjang gelombang 400-1100 nm dengan nilai tertinggi pada 940 nm. Dengan sensitivitas detektor fototransistor lebih sensitif dari pada fotodiode (Fraden, 2013) dan ukuran ($3 \pm 0,25$) mm yang relatif kecil dapat dikembangkan untuk detektor pada *CT-scan*. Pengembangan ini juga harus didukung oleh layar pemendar yang dapat mengkonversi sinar-x menjadi cahaya tampak secara maksimal tanpa terjadi penyerapan energi yang besar.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa detektor fototransistor yang didekati layar pemendar ZnS(Ag) memiliki sensitivitas 0,037 mV dan gelinciran 130 mV. Detektor yang dirancang mampu menghasilkan tegangan keluaran yang cukup besar dari *mV* sampai *V* dan mampu mendeteksi sinar-x dengan kemampuan yang baik sehingga membuka peluang untuk dapat diaplikasikan pada bidang medis khususnya dan dosimeter radiasi sinar-x umumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, J., Cassanello, M. C. F., Dudukovic, M. P., Dyakowski, T., Hamada, M. M., Jin, J. H., ... Thyn, J. (2008). *Industrial Process Gamma Tomography. Iaea-Tecdod-1589*.
- Fraden, J. (2013). *Handbook of Modern Sensor*. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Grupe, Claus and Burat, Irene. 2011. *Handbook of Particle Detection and Imaging*, Springer, New York, USA.
- Hendee, W. R., Ritenour, E. R., & Hoffmann, K. R. (2003). *Medical Imaging Physics, Fourth Edition. Medical Physics* (Vol. 30). <http://doi.org/10.1118/1.1563664>
- Kusminarto and Susilo. (2004). Phototransistor Based Position Sensitive Detector for Signal Detection in Photothermal Spectroscopy. *Matematika Dan Sains*, 9(2), 229–232.
- Rahman. 2012. Pengembangan Detektor Sinar-X Berbasis Fotodetektor. Skripsi S1. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.