

## PENCITRAAN 2D DAN 3D OPTICAL BEAM INDUCED VOLTAGE MENGUNAKAN SENSOR FOTORESISTOR

Warsito, Sri Wahyu Suciyati, Susi Harnani, dan Akhmad Dzakwan

KBK Fisika Instrumentasi, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Lampung, Bandar Lampung 35145, Indonesia

Email: warsito@unila.ac.id

---

### Abstrak

Artikel ini menunjukkan sebuah metode untuk memahami sistem pencitraan OBIV (*optical beam induced voltage*) yang biasanya menggunakan sistem *laser scanning microscopy*. Sistem pencitraan OBIV ini memanfaatkan sensor fotoresistor sebagai sampel uji yang sekaligus dapat digunakan untuk menganalisis homogenitas tanggapannya. Resolusi dari sistem pencitraan ini masih terlalu rendah yaitu sekitar  $350\mu\text{m}$  disebabkan oleh besarnya diameter cahaya jatuh. Hasil pencitraan OBIV menginformasikan bahwa fotoresistor memberikan tanggapan optimal ketika cahaya jatuh pada bagian tengah permukaannya.

### Abstract

**Study of 2D and 3D Optical Beam Induced Voltage Imaging Using Photoresistor Sensor.** This article shows a method to study OBIV (*optical beam induced voltage*) imagerie system, that usually employ a laser scanning microscopy system. The OBIV imagerie system developed use a photoresistor sensor as a sample and simultaneously it can be used for analyzing its inhomogeneity response. Resolution of the system is still low, about  $350\mu\text{m}$  due to high value of incident light diameter. The results inform that photoresistor sensors gave an optimum response if the incident light hits the center of sensible zone.

*Keywords: OBIV, photoresistor, imagerie system.*

---

### 1. Pendahuluan

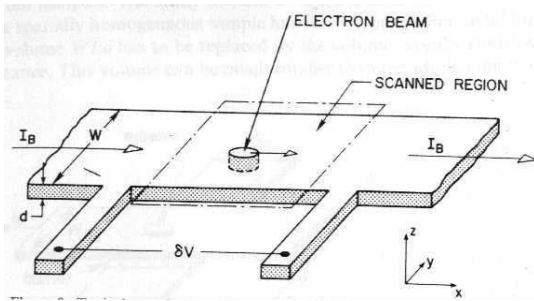
Pencitraan 2D dan 3D OBIV (*optical beam induced voltage*) merupakan tahapan penting dalam uji mutu sensor yang berbasis lapis tipis. Sistem pencitraan ini sering diwujudkan dengan menggunakan LSM (*laser scanning microscopy*), yang memerlukan teknologi tinggi. Prinsip pencitraan OBIV dapat dipahami dengan merekam sinyal tanggapan dari sensor fotoresistor. Cahaya yang jatuh ke fotoresistor dikonsentrasikan dengan dimensi yang lebih kecil daripada dimensi lateral fotoresistor dan selanjutnya tanggapan fotoresistor tersebut direkam sesuai dengan koordinat cahaya.

Gambar hasil pencitraan OBIV dapat diperoleh dengan mem-plot tanggapan fotoresistor sesuai dengan koordinat cahaya jatuh. Gambar ini selanjutnya dianalisis sebagai metode untuk memahami prinsip

kerja OBIV serta dapat digunakan sebagai metode karakterisasi homogenitas tanggapan fotoresistor.

Pencitraan OBIV pada dasarnya mempunyai kesamaan prinsip dengan pencitraan EBIV (*electron beam induced voltage*) dengan menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*). Mikroskop laser (LSM) dan electron (SEM) sangat diperlukan dalam laboratorium instrumentasi untuk menganalisis homogenitas sensor yang terbuat dari lapis tipis. Dengan menggunakan laser dapat diketahui bagian dari sensor yang aktif dan yang tidak aktif sesuai dengan homogenitas resistansi lokal dari bahan superkonduktor [1].

Prinsip pencitraan OBIV ditunjukkan pada Gambar 1 [2]. Ketika laser mengenai sensor yang dikarakterisasi pada posisi tertentu, suhu lokal dari sensor tersebut akan naik. Kenaikan suhu lokal ini mengakibatkan kenaikan resistansi lokal dari sensor yang diuji.



Gambar 1. Prinsip dari Pencitraan OBIV atau EBIV [2].

Kenaikan nilai resistans akan mengakibatkan perubahan nilai tegangan keluaran dari sensor ( $\delta V$ ). Selanjutnya  $\delta V$  direkam sesuai dengan posisinya ( $x$  dan  $y$ ). Besar  $\delta V$  ini dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\delta V(x, y) = \delta R_s(x, y) I_B \quad (1)$$

dengan  $(x, y)$  adalah posisi dari laser,  $\delta R_s$  adalah variasi resistans lokal dari fotoresistor dan  $I_B$  adalah arus polarisasi dari fotoresistor.

Resolusi spasial dari sistem pencitraan ini ditentukan oleh dimensi cahaya yang dijatuhkan, untuk SEM dapat mencapai  $0.1 \mu\text{m}$ . Hal ini juga yang mengakibatkan ada dua kelas dalam sistem pencitraan ini, yaitu pencitraan global atau tanggapan global [3] dan pencitraan lokal [4]. Sistem pencitraan lokal ini kemudian dikembangkan oleh Divin, dkk. [5] menjadi sistem pencitraan OBIV. Pencitraan global pertama kali dipelajari oleh Lanping, dkk. [6].

Dalam penelitian ini, sampel yang digunakan untuk merealisasi sistem OBIV adalah fotoresistor. Fotoresistor sering disebut juga fotokonduktor yang didefinisikan bahwa nilai resistansinya berubah dengan berubahnya cahaya yang mengenainya. Bagian aktif dari fotoresistor adalah bagian yang berbentuk spiral. Pemilihan bentuk itu dilakukan dengan tujuan menaikkan faktor penguatan pada saat proses rekombinasi elektron ketika ada cahaya jatuh yang mengenainya. Pada saat tidak ada cahaya jatuh, jumlah electron yang berpasangan per detik adalah  $n/\tau_n$  untuk tiap satuan volume. Jumlah ini sama dengan jumlah elektron yang dibebaskan karena rayonisasi  $g$ , sehingga

$$n = g \tau_n \quad (2)$$

Dari rumus dasar resistans, didapatkan

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{A} = \frac{1}{q \mu n} \frac{L}{A} \quad (3)$$

Dari persamaan 2 dan 3 di atas dapat dilihat bahwa untuk menaikkan nilai resistans fotoresistor, lebar bagian aktif fotoresistor harus sesempit mungkin. Oleh

karena itu pemilihan bentuk pabrikasi fotoresistor adalah memanjang dan berbentuk spiral.

Nilai resistans fotoresistor bergantung dari bentuk geometri, dimensi, suhu dan bahan pembuatnya [7]. Namun, ada besaran fisis lain yang berpengaruh pada nilai resistans fotoresistor tersebut, yaitu terjadinya efek fotoelektrik akibat adanya fluks cahaya yang mengenainya.

Pada dasarnya nilai resistansi global fotoresistor  $R_C$  terdiri atas nilai resistansi global ketika tidak ada cahaya masuk  $R_{Co}$  serta resistansi global internal yang tersusun secara paralel  $R_{Cp}$ , yaitu

$$R_{Cp} = a \phi^{-\gamma} \quad (5)$$

$a$  merupakan suatu besaran konstan yang tergantung pada bahan dan suhu; dan  $\phi$  adalah spektrum cahaya yang jatuh kepadanya dan  $\gamma$  bernilai antara 0,5 dan 1.

Pada umumnya  $R_{Cp} \ll R_{Co}$ , sehingga

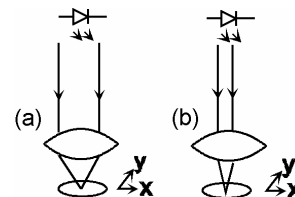
$$R_C = a \phi^{-\gamma} \quad (6)$$

Oleh karena itu perubahan resistans global terhadap fluk cahaya yang mengenainya bukan fungsi linear [7]. Namun permasalahan ini dapat diatasi dengan rangkaian pengkondisian sinyal.

## 2. Metode Penelitian

Metode untuk mempelajari dan merealisasi sistem OBIV ini tersusun melalui tiga tahapan penting, yaitu realisasi sistem optik, sistem mekanis, dan sistem pengkondisian sinyal [8]. Sistem optik dimaksudkan untuk menghasilkan sumber cahaya yang mempunyai diameter pancaran kecil ( $< 1 \text{ mm}$ ). Sistem optik ini dapat menggunakan sumber cahaya berupa LED (Light Emitting Diode) yang dirangkai dengan lensa cembung. Sistem ini menghasilkan diameter pancaran  $> 500 \mu\text{m}$ . Untuk mendapatkan diameter yang lebih kecil dan terkonsentrasi, LED tersebut diganti oleh laser dioda sehingga menghasilkan cahaya yang lebih fokus dengan diameter  $\sim 350 \mu\text{m}$  (Gambar 2a dan 2b)

Sistem mekanis berfungsi untuk melakukan pemindaian untuk pengambilan data. Sistem ini dilakukan dengan



Gambar 2. Sistem sumber cahaya dan pengkonsentrasian cahaya jatuh menggunakan sumber cahaya (a) LED dan (b) laser diode.

cara manual sehingga mempunyai resolusi pemindaian sebesar 1000µm. Bagian terakhir adalah pengkondisian sinyal yang berfungsi mencatu daya fotoreistor sehingga menghasilkan keluaran berupa tegangan sesuai dengan tujuan pencitraan OBIV.

Data diambil dengan mengkonsentrasikan cahaya pada permukaan aktif fotoreistor dan selanjutnya dilakukan pemindaian, yaitu dengan menggeser ke kanan dan ke kiri fotoreistor uji.

**3. Hasil dan Pembahasan**

Bagian pembahasan ini meliputi dua bagian penting, yaitu analisis perangkat keras dan analisis hasil pencitraan 2D dan 3D OBIV.

Analisis perangkat keras membahas sistem pengkondisian sinyal pada rangkaian fotoreistor. Fotoreistor merupakan sensor pasif sehingga rangkaian pengkondisian sinyal tingkat pertama merupakan rangkaian pencatu daya [9]. Rangkaian pengkondisi sinyal tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Rangkaian pengkondisi sinyal tersebut terbagi menjadi dua bagian penting, yang pertama merupakan rangkaian pencatu daya dan yang kedua adalah rangkaian penguat sinyal yang berupa rangkaian *op-amp*. Arus dari catu daya I2 yang akan sampai ke emitor dari transistor merupakan fungsi dari banyaknya arus I1 yang sampai ke basis dari transistor.

Di sisi lain, besarnya I1 yang sampai ke basis adalah fungsi dari penurunan atau perubahan nilai resistans dari fotoreistor. Resistans fotoreistor adalah fungsi dari tingkat intensitas cahaya yang mengenainya, semakin kuat intensitasnya semakin menurun nilai resistansnya. Beda tegangan antara emitor dan *ground* kemudian memasuki pengkondisi sinyal tingkat kedua yaitu *op-amp*. Dalam penelitian ini, besar penguatan yang dilakukan adalah sekitar seratus kali.

Cahaya yang jatuh ke fotoreistor mempunyai intensitas dan keadaan lingkungan yang sama, yaitu data diambil

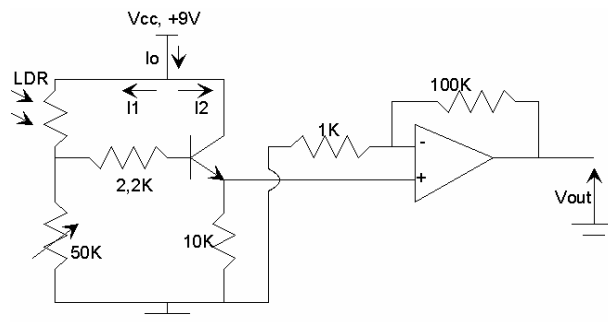
pada malam hari dengan tujuan mengurangi pengaruh cahaya dari lingkungan. Perbedaan nilai dari tegangan yang keluar dari penguat sebagai fungsi koordinat cahaya jatuh itu yang menunjukkan tingkat homogenitas tanggapan fotoreistor.

Hasil pencitraan 2D OBIV ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar tersebut merupakan hasil tanggapan lokal fotoreistor untuk diameter yang berbeda: (a) 120mm, (b) 200mm, dan (c) 250mm.

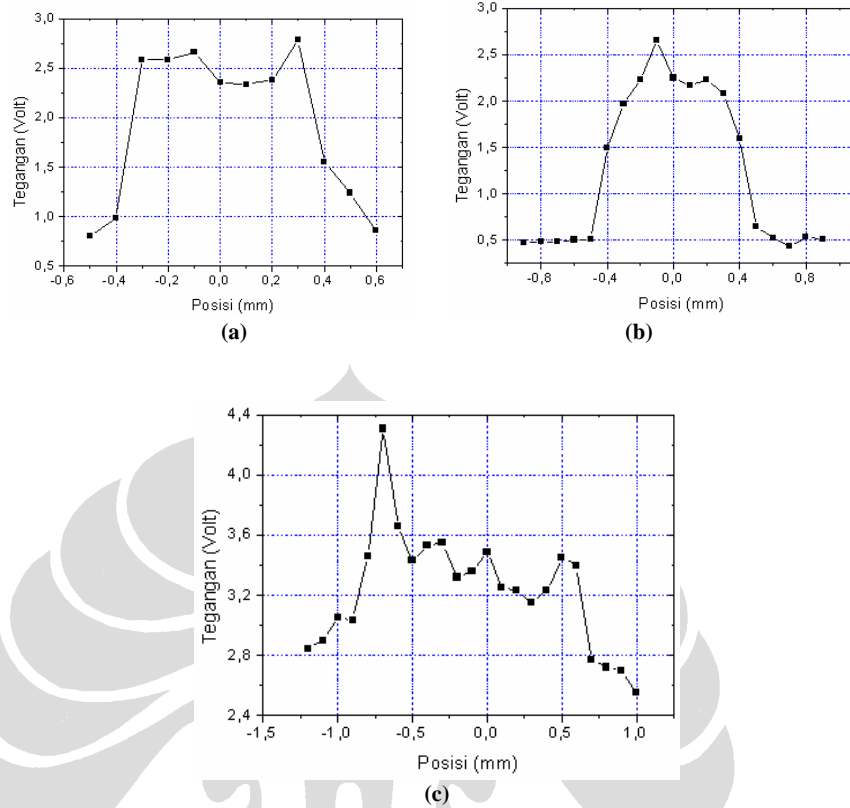
Gambar 4 menunjukkan bahwa tegangan tanggapan fotoreistor memberikan tanggapan optimum ketika cahaya jatuh berada pada bagian tengahnya. Hasil ini menunjukkan kesamaan dengan penelitian untuk sampel bahan lapis tipis dari superkonduktor yang dilakukan oleh beberapa peneliti [1,6]. Untuk fotoreistor dengan diameter 1.2 cm (Gambar 4a) tanggapan optimum mencapai 2.8 Volt yaitu terletak pada posisi 0,5mm, sedangkan tanggapan rata-rata yang merupakan tanggapan global adalah 2.5 Volt. Pada bagian pinggir tanggapan sangat kecil, hal ini mengindikasikan bahwa pada bagian tersebut tidak terdapat bagian aktif atau *sensible zone* dari fotoreistor uji.

Fotoreistor dengan diameter 2 cm mempunyai bagian aktif lebih sempit apabila dibandingkan dengan kedua fotoreistor yang lain (diameter 1,2 cm dan 2,5 cm). Keadaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4b yaitu lebar daerah aktif hanya ~1.2 cm yang ditandai dengan perbedaan tegangan tanggapannya. Untuk daerah aktif, tanggapan tegangan global sekitar 1.5 Volt dimulai posisi -0.4 cm sampai +0.5 cm. Sedangkan untuk fotoreistor dengan diameter 2.5 cm (Gambar 4c) mempunyai lebar daerah aktif sebesar 2 cm dengan tanggapan tegangan global sekitar 3.4 Volt.

Pengambilan data pencitraan 2D OBIV (Gambar 4) dilakukan dengan arah pemindaian melintang terhadap spiral dari daerah aktif fotoreistor. Langkah inilah yang menyebabkan tanggapan global tidak bisa stabil atau mempunyai nilai yang hampir konstan. Ketidakstabilan tanggapan pada daerah aktif ini dapat diartikan sebagai tanggapan yang tidak homogen dari fotoreistor.



Gambar 3. Rangkaian pengkondisi sinyal dari fotoreistor uji.



Gambar 4. Hasil pencitraan 2D OBIV untuk fotoresistor dengan diameter berturut-turut (a) 120mm, (b) 200mm dan (c) 250mm.

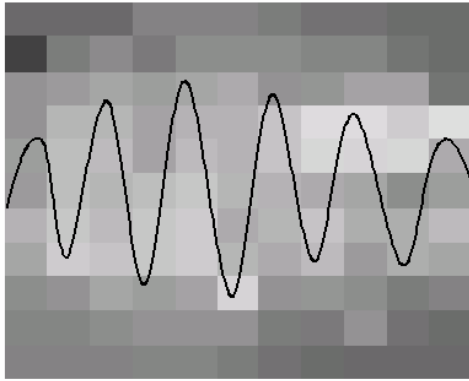
C =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1.9	1.9	1.92	2.32	2.33	2.36	2.27	2.09	2.07	2	2
1	1.2	2.28	2.48	2.21	2.58	2.54	2.59	2.44	2.42	2.1	2
2	2.61	2.78	3.03	2.89	3.04	3.09	2.65	2.7	2.92	2.96	2.11
3	2.63	3.33	3.32	2.91	3.23	3.22	3.52	3.95	3.93	3.65	4.06
4	2.89	3.41	3.36	2.97	3.36	3.25	3.5	3.85	3.8	3.85	3.06
5	2.79	3.46	3.28	3.44	3.58	3.31	3.21	3.08	2.99	2.59	2.86
6	3.23	3.6	3.4	3.57	3.65	3.08	3.31	3.54	3.15	3.14	3.36
7	3	3.64	3.5	3.56	3.68	3.3	3.09	3.39	2.77	3.15	2.98
8	2.57	2.68	3	2.89	2.92	3.79	2.67	2.72	2.56	2.28	2.36
9	2.4	2.42	2.59	2.62	2.66	2.64	2.25	2.24	2.61	2.08	2
10	2.35	2.35	2.38	2.4	2.43	2.26	2.06	1.98	1.91	1.9	1.9

Gambar 5. Contoh pencitraan 3D OBIV untuk fotoresistor dengan diameter 2.5 mm yang ditunjukkan dalam bentuk matriks 11x11.

Hasil pencitraan 2D OBIV pada Gambar 4 dapat dikonfirmasi dengan melihat hasil pencitraan 3D OBIV seperti ditunjukkan pada matriks 11x11 pada Gambar 5 untuk fotoresistor dengan diameter 2.5 cm.

Sistem pengambilan data dilakukan dengan memindai sampel pada arah x dan y seperti pada Gambar 2. Setiap tanggapan tegangan untuk koordinat tersebut dicatat dan kemudian *diplot* 3D (koordinat x, y dan z, dengan z adalah nilai tanggapan tegangan lokal oleh fotoresistor).



C-55

**Gambar 6. Gambar OBIV 3D untuk fotoresistor dengan diameter 2,5mm.**

Untuk mendapatkan data gambar OBIV 3D maka data 3D tegangan sebagai fungsi koordinat pada Gambar 5 akan dikonversi ke dalam *grey level* (Gambar 6). Gambar OBIV yang dihasilkan adalah gambar 8 bit, dengan demikian untuk mendapatkan gambar yang jelas, maka Gambar 5 harus dikalikan dengan bilangan konstan untuk mendapatkan *contrast level* yang sesuai. Untuk data tersebut diambil faktor pengali sebesar 55 dengan output *grey level* tertinggi adalah 203 (nilai ini masih di bawah nilai maksimum *grey level* untuk gambar 8 bit, yaitu 255). Tujuan pengalian ini hanya untuk meningkatkan tampilan gambar yang dihasilkan, tetapi tidak mengurangi makna pencitraan 3D OBIV yang dihasilkan.

Semakin terang (putih) *grey level* pada Gambar 6, semakin sensitif pada koordinat tersebut. Analisis Gambar 6 tersebut mengindikasikan kepada kita bahwa posisi daerah aktif dari fotoresistor yang digunakan adalah melintang horizontal.

#### 4. Kesimpulan

Pencitraan OBIV merupakan tahapan penting untuk karakterisasi tingkat homogenitas kualitas sensor berbasis lapis tipis. Sistem ini harus didukung oleh resolusi spasial yang tinggi sehingga hasil yang didapatkan optimum. Pada sistem ini, resolusi spasial masih rendah  $\sim 350\mu\text{m}$ . Tanggapan secara lokal untuk sistem pencitraan 2D OBIV menunjukkan hasil yang bermakna apabila dikonfirmasi dengan posisi zone aktif dari fotoresistor yaitu pada bagian tengah.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DP3M DIKTI dengan nomor kontrak: 61/P2TPT/DPPM/PID/III/2004 atas dukungan untuk penelitian ini.

#### Daftar Acuan

- [1] V. N. Svetlov, G.E. Churilov, V. M. Dmitriev, A. P. Zhuravel, V. A. Konovodchenko, *Sov. J. Low Temp. Phys.* 14 (1988) 14.
- [2] R. Gross, D. Koelle, *Rep. Prog. Phys.* 57 (1994) 651.
- [3] L. R. Testardi, *Phys. Rev. B* 4 (1971) 123.
- [4] V. A. Konovodchenko, A. G. Sivakov, A. P. Zhuravel, V. G. Efremenko, B. B. Banduryan, *Cryogenics* 26 (1986) 531.
- [5] Y. Y. Divin, F. Y. Nad', V. Y. Pokrovski, P. M. Shandrin, *IEEE Trans. Mag.* 27 (1991) 1101.
- [6] W. Lanping, H. Jian, W. Guowen, *Physica C* 172 (1990) 267.
- [7] G. Asch, *Les Capteurs en Instrumentation Industrielle*, 5 ed., Dunod, Paris, 1998.
- [8] Warsito, *Jurnal Sains dan Teknologi* 10 (2004) 177.
- [9] Warsito, *PubSci AEIF* 3 (2003) 64.