

## Rancang Bangun Sistem Pengamatan Optik Berbasis Ellipsometri

MUHAMMAD ARIFIN, KIKI MEGASARI, FATIMAH NOPRIARDY, IMAN SANTOSO

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Gadjah Mada

Sekip Utara BLS 21 Yogyakarta,

E-mail: muhammad.arifin@ugm.ac.id

TEL: 085743320165; FAX: (0274)545185

**ABSTRAK:** Telah dibangun sistem pengamatan optik berbasis ellipsometri dengan konfigurasi *rotating-analyzer ellipsometry* (RAE). Sistem ini menggunakan laser HeNe 633 nm, *linear polarizer*, dan *laser power meter*. Ellipsometri adalah teknik pengukuran optik yang mengkarakterisasi refleksi (atau juga transmisi) dari cahaya yang mengenai suatu sampel/material tertentu. Informasi fisis berupa konstanta dielektrik ( $\epsilon$ ) atau indeks bias ( $n$ ) material diperoleh dengan menganalisa perubahan polarisasi cahaya terpantul ( $\Delta$ ) dan perubahan amplitudo ( $\psi$ ) yang terekam oleh detektor. Pada lapisan *bulk* emas dengan sudut datang  $70^\circ$  diperoleh nilai  $\psi = 0,9403$  dan  $\Delta = 15,439$ . Menggunakan *pseudo-dielectric function* didapatkan nilai  $\epsilon = -5,8371 + 4,1656i$ . Variasi sudut datang pada sampel menghasilkan nilai konstanta dielektrik yang berbeda.

**Kata Kunci:** Ellipsometri, konstanta dielektrik, polarisasi.

### PENDAHULUAN

Ellipsometri adalah teknik pengukuran optik yang mengkarakterisasi refleksi (atau juga transmisi) dari cahaya yang mengenai suatu sampel/material tertentu. Kunci utama dari teknik pengukuran ini adalah pengukuran perubahan polarisasi cahaya yang terpantul (atau yang diteruskan) dari sampel/material tertentu. Perubahan polarisasi ini terkait dengan perubahan fase dari cahaya yang dipantulkan/diteruskan dan perubahan fase ini sangat sensitif dengan kehadiran lapisan tipis dalam orde 0.01 nanometer. Oleh karena itu pengukuran lapisan tipis dengan menggunakan sistem optik ellipsometry akan menghasilkan data yang lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan (Fujiwara, 2007).

Kajian optik berbasis ellipsometri sudah banyak dilakukan, misalnya untuk memonitor interaksi yang terjadi dalam *biomaterial* (Ostroff *et al*, 1998), nanopartikel emas untuk aplikasi biosensor (Moirangthem *et al*, 2011), deteksi gas beracun berbasis *surface plasmon resonance enhanced ellipsometri* (SPREE) menggunakan lapisan tipis emas (Nooke, 2012).

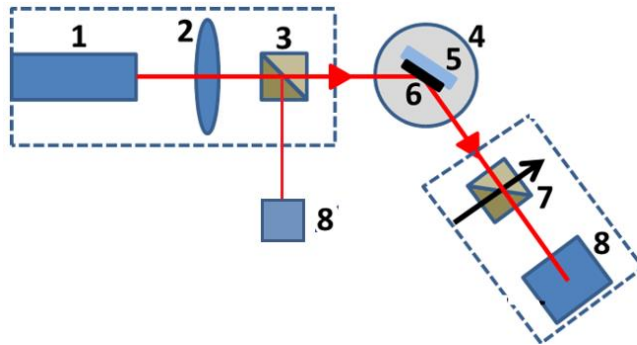
Sepengetahuan penulis, baru sedikit publikasi ellipsometri yang dilakukan di dalam negeri, misalnya studi teoritis

ellipsometri pada graphene menggunakan metode inversi Newton–Raphson (Subama *et al*, 2015, studi teoritis prinsip kerja ellipsometri (Warti, 2006) dan studi ellipsometri pada lapisan tipis amorf silikon karbon (Saleha *et al*, 2001). Selain itu, sistem ellipsometri yang dipakai untuk penelitian atau pengujian umumnya berasal dari perusahaan pabrikan seperti: SENTECH (Sentech website, 2015), WOOLLAM (Woollam website, 2015) dan OCEAN OPTICS (Ocean Optics website, 2015). Untuk itu, rancang bangun sistem ellipsometri secara mandiri dan terjangkau menjadi tujuan penelitian ini.

### METODE PENELITIAN

Skema sistem ellipsometri yang dibangun dapat dilihat pada Gambar 1. Konfigurasi optik sistem ellipsometri yang dibangun adalah *rotating-analyzer ellipsometry* (RAE).

Penelitian ellipsometri ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi, Jurusan Fisika FMIPA UGM. Sampel yang digunakan adalah lapisan emas dengan tebal 100 nm. Pada sistem RAE ini, analisator dapat divariasi dari  $0^\circ - 360^\circ$ . Data yang diperoleh berupa intensitas cahaya yang terpantul pada setiap variasi sudut analisator sebesar  $5^\circ$ .



Keterangan :

1. Sumber laser HeNe
2. Polarisator
3. Beam splitter
4. Tempat dudukan sampel
5. Tempat sampel
6. Sampel
7. Analisator
8. Laser power meter

Gambar 1. Skema Sistem Ellipsometri.

Kemudian dilakukan fitting data menggunakan Pers. 1 sehingga diperoleh nilai  $\alpha$  dan  $\beta$ .

$$I(t) = I_0(1 + \alpha \cos(2\omega t) + \beta \sin(2\omega t)) \quad (1)$$

Parameter ellipsometri berupa perubahan fasa ( $\Delta$ ) dan perubahan amplitudo ( $\psi$ ) cahaya terpantul dari sampel dapat dihitung dari Pers. 2.a dan 2.b, yakni

$$\tan(\Psi) = \sqrt{\frac{1+\alpha}{1-\alpha}} |\tan(P)| \quad (2.a)$$

$$\cos(\Delta) = \frac{\beta}{\sqrt{1-\alpha^2}} \quad (2.b)$$

Untuk mendapatkan nilai konstanta dielektrik digunakan model optik untuk sampel *bulk* berdasarkan *pseudo-dielectric function*, yakni

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \sin^2 \phi_0 \left( 1 + \tan^2 \phi_0 \left[ \frac{1-\rho}{1+\rho} \right]^2 \right) \\ &= \varepsilon_1 + i\varepsilon_2 \end{aligned} \quad (3)$$

dengan  $\rho$  adalah perbandingan koefisien refleksi cahaya terpolarisasi  $p$  dan terpolarisasi  $s$  yang berkaitan dengan  $\Delta$  dan  $\psi$  melalui, (Fujiwara, 2007)

$$\rho = \frac{r_p}{r_s} = \tan(\Psi) \exp(i\Delta) \quad (4)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Set Up Sistem Ellipsometri

Secara umum sistem ellipsometri dalam konfigurasi RAE terdiri dari sumber cahaya dan polarisator pada cahaya datang serta analisator dan detektor pada cahaya pantul. Sistem ini memiliki keunggulan konfigurasi optik yang sederhana dibandingkan konfigurasi yang lain.

Adapun rincian set-up sistem ellipsometri yang telah dibangun adalah sebagai berikut.

- a. Laser HeNe (Newport, panjang gelombang 633 nm) sebagai sumber gelombang elektromagnetik dalam bentuk polarisasi linear.
- b. Polarisator dipasang pada sudut polarisasi  $45^\circ$ . Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan polarisasi tipe  $p$  dan  $s$  dalam intensitas yang sama.
- c. *Beam splitter* (Thorlabs, PBS 202) digunakan untuk membagi sinar laser menjadi dua bagian yang intensitasnya sama. Sinar laser yang terpantul dari beam splitter ( $D_1$ ) digunakan sebagai pembagi intensitas yang terpantul dari sampel ( $D_2$ ).
- d. Tempat dudukan sampel dapat diputar  $360^\circ$ . Alat ini digunakan untuk memvariasi sudut datang cahaya laser pada sampel.
- e. Analisator (Newport, 10LP-Vis-B) digunakan untuk memutar sudut polarisasi cahaya laser yang terpantul dari laser setiap  $5^\circ$ .
- f. Laser power meter (Sanwa, LP1) digunakan sebagai detektor untuk menangkap daya sinar laser (dalam mikrowatt).

**Analisis Data**

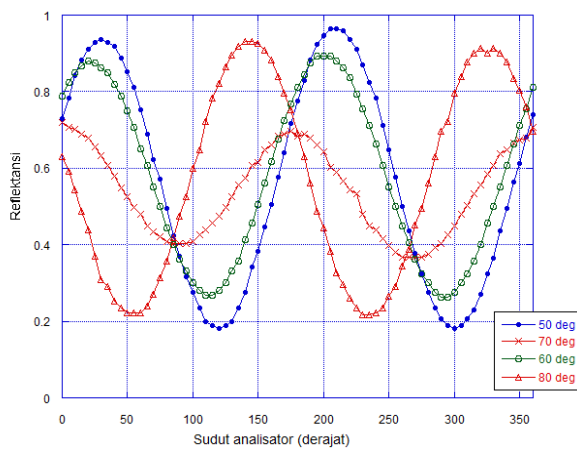
Data penelitian yang diperoleh berupa intensitas sinar pantul dari lapisan tipis emas untuk variasi sudut putar analisator. Kurva reflektansi pada sudut datang  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$  dan  $80^\circ$  ditunjukkan oleh Gambar 2.

Reflektansi pada variasi sudut datang menunjukkan intensitas yang berbeda. Juga terjadi pergeseran fase jika sudut datang berubah. Hal ini menunjukkan bahwa ada perbedaan nilai  $\Delta$  dan  $\psi$ .

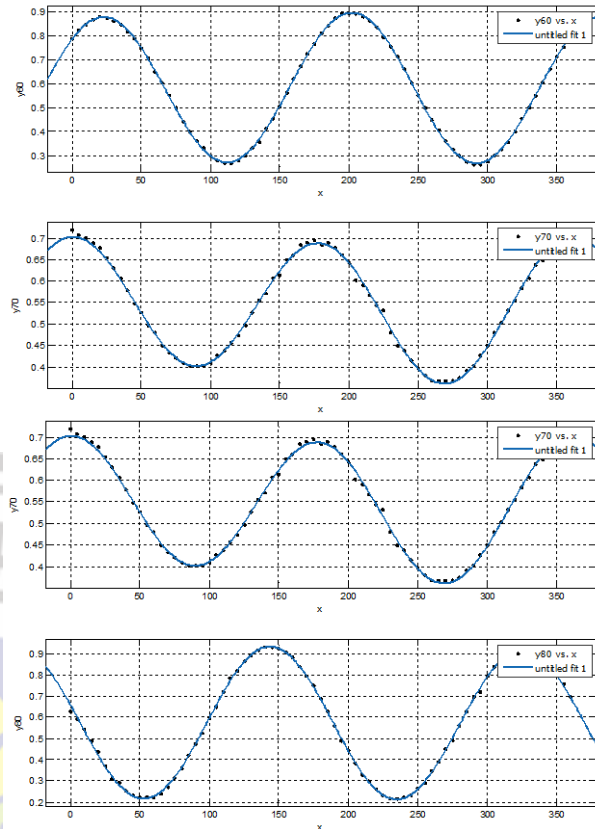
Sudut datang pada sampel akan mempengaruhi koefisien refleksi cahaya terpolarisasi-p ( $r_p$ ) dan koefisien refleksi cahaya terpolarisasi-s ( $r_s$ ). Nilai  $r_p$  dan  $r_s$  dapat diturunkan dari persamaan Fresnel untuk multilayer.

Untuk mendapatkan nilai parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  dilakukan fitting menggunakan analisis Fourier berdasarkan Pers. 1. Hasil fitting untuk masing-masing sudut datang disajikan dalam Gambar 3.a – 3.d. Fitting data dilakukan pada derajat kebebasan 2. Dari hasil fitting data diperoleh koefisien pada persamaan Fourier-nya.

Parameter  $\Delta$  dan  $\psi$  dapat diperoleh menggunakan Pers. 2 yang disajikan dalam Tabel 1. Perubahan fase reflektansi semakin besar sebanding dengan perubahan sudut datang. Perubahan amplitudo reflektansinya tidak sebanding dengan perubahan sudut datang. Adanya perubahan  $\Delta$  dan  $\psi$  menunjukkan perubahan nilai  $\rho$ .



**Gambar 2. Kurva reflektansi pada sudut datang  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$  dan  $80^\circ$  untuk variasi sudut putar analisator.**



**Gambar 3. Kurva fit untuk sudut datang a).  $50^\circ$ , b).  $60^\circ$ , c)  $70^\circ$ , dan d).  $80^\circ$ .**

Selanjutnya dapat ditentukan nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon = \epsilon_1 + i\epsilon_2$ ) lapisan tipis emas berdasarkan Pers. 3 yang disajikan dalam Tabel 3.

Dibandingkan dengan referensi, nilai konstanta dielektrik emas pada panjang gelombang 6,328 nm adalah  $\epsilon = -12,033 + i1,1634$  (RefractiveIndex.info website, 2015). Perbedaan nilai konstanta dielektrik emas terjadi karena pendekatan model fungsi dielektrik yang berbeda

**Tabel 1. Nilai  $\Delta$  dan  $\psi$  pada Variasi Sudut Datang.**

Sudut Datang	$\Delta$	$\psi$
$50^\circ$	0,877	0,9361
$60^\circ$	11,213	0,9688
$70^\circ$	15,439	0,9403
$80^\circ$	22,219	0,8632

**Tabel 2. Nilai Konstanta Dielektrik pada Variasi Sudut Datang.**

Sudut Datang	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$
$50^\circ$	-0,2469	0,2388
$60^\circ$	-0,8778	0,9158
$70^\circ$	-5,8371	4,1656
$80^\circ$	-118,56	48,676

## KESIMPULAN

Telah dibangun set-up sistem ellipsometri *home made* untuk kajian optis berbagai material dengan konfigurasi *rotating-analyzer ellipsometry* (RAE). Perubahan sudut datang pada sampel akan mempengaruhi koefisien refleksi cahaya terpolarisasi  $p$  dan terpolarisasi  $s$  sehingga mengakibatkan terjadinya perbedaan nilai perubahan fase  $\Delta$  dan perubahan amplitudo  $\psi$ . Pada lapisan tipis emas diperoleh konstanta dielektrik yang berbeda untuk sudut datang  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$  dan  $80^\circ$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Gadjah Mada (LPPM UGM) yang telah memberikan dana penelitian melalui Hibah Penelitian Peningkatan Kapasitas Peneliti Dosen Muda dengan nomor kontrak 255/DIT.LIT/2015. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Rinto Anugraha NQZ selaku Kepala Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA UGM.

## DAFTAR RUJUKAN

- Fujiwara, H. 2007. *Spectroscopic Ellipsometry Principles and Applications*. John Wiley & Sons, West Sussex, England.
- Moirangthem, R. S., Chang, Y. C., Wei, P. K. 2011. *Ellipsometry Study on Gold-Nanoparticle-Coated Gold Thin Film for Biosensing Application*. Biomedical Optics Express. vol 2, 2569.
- Nooke, A., 2012. *Gas Detection by Means of Surface Plasmon Resonance Enhanced Ellipsometry*. Dissertation. Berlin : Technische Universität Berlin.
- Ostroff, R.M., Maul, D., Bogart, G.R., Yang, S., Christian, D., Hopkins, D., Clark, D., Trotter, B., Modell, G. 1998. *Fixed Polarizer Ellipsometry for Simple and Sensitive Detection of Thin Films Generated by Specific Molecular Interactions : Applications in Immunoassays and DNA Sequence Detection*. Clinical Chemistry. vol. 44, 2031.
- Saleha, S., Munisa, L., Ady, J. 2001. *Study Spektroskopi Ellipsometri Lapisan Tipis Amorf Silikon Carbon (A-SiC:H) yang Dihasilkan dengan Metode Deposisi DC Sputtering*. Makara Jurnal Penelitian Universitas Indonesia. vol 5, 46.
- Subama, E., Abraha, K. Rusydi, A., Santoso, I., 2015. *Perhitungan konstanta dielektrik graphene nanostructured pada substrat SiC hasil pengukuran spectroscopy ellipsometry menggunakan metode inversi Newton-Raphson*, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIX HFI Jateng & DIY, Yogyakarta 25 April 2015, 55.
- Warti, 2006. *Studi Teoritis dari Prinsip Kerja Ellipsometri Dalam Penentuan Indeks Bias Bahan dan Ketebalan Tipis*. Skripsi. Surakarta : FMIPA Universitas Sebelas Maret.