

# Metode rasio sisa cahaya terpolarisasi lingkaran untuk menentukan fase retarder

Gatut Yudoyono\* dan Ali Yunus Rohedi

Lab. Optik dan Optoelektronika, Jurusan Fisika MIPA, ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111

## Intisari

Telah dilakukan perhitungan retardasi retarder melalui pengukuran rasio sisa cahaya terpolarisasi lingkaran. Pada penelitian ini digunakan keping seperempat gelombang sebagai retarder uji. Set-up peralatan menggunakan konstruksi polariskop lingkaran dengan keping gelombang pertama sebagai retarder uji. Perhitungan retardasi retarder berdasar pada vektor Stoke dan matriks Muller dari komponen optis yang digunakan. Retarder uji diputar untuk mendapatkan variasi retardasi retarder sebagai fungsi sudut datang. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa retardasi retarder uji besarnya berubah terhadap sudut datang dan dapat difungsikan sebagai keping seperempat gelombang bila sudut datang berkas cahaya tidak lebih dari  $20^\circ$ .

**KATA KUNCI:** Keping seperempat gelombang, Retardasi retarder, Rasio sisa cahaya terpolarisasi lingkaran, Polariskop lingkaran

## I. PENDAHULUAN

Keping seperempat gelombang  $\lambda/4$  terbuat dari bahan kristal bias rangkap dengan retardasi  $\pi/2$  radian, bila berkas cahaya datang tegak lurus sumbu optik keping gelombang. Retardasi keping gelombang terjadi karena berkas ordinari dan extra ordinari merambat dengan kecepatan berbeda pada lintasan yang sama sehingga ada beda phase gelombang. Besarnya retardasi tergantung pada indeks bias dan tebal keping gelombang. Bila cahaya datang dengan sudut datang tidak sejajar arah normal maka terjadi pemantulan berulang dalam keping gelombang sehingga tebal keping efektif menjadi lebih besar.

Penggunaan keping gelombang (khususnya keping  $\lambda/4$ ) dalam perangkat polariskop lingkaran dengan berkas cahaya yang tidak terkolimasi akan mempengaruhi pola frinji isokromatik. Penelitian Yudoyono dan Rohedi (2002) telah menunjukkan pengaruh kesejajaran berkas pada pola frinji isokromatik yang dipengaruhi retardasi retarder[1]. Hasil kualitatif menunjukkan perbedaan komposisi warna pada posisi yang sama dalam pola frinji isokromatik yang dihasilkan oleh kesejajaran berkas yang berbeda. Analisa kuantitatif akan lebih akurat bila secara tepat diketahui besarnya retardasi retarder untuk pemberian berkas cahaya dengan arah sudut datang yang berbeda.

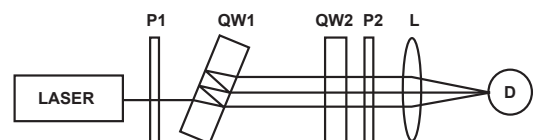
Pada artikel ini dilaporkan tentang penggunaan metode rasio sisa cahaya terpolarisasi lingkaran untuk menentukan besarnya retardasi retarder keping  $\lambda/4$  dan pengaruh arah/ sudut sinar datang dari berkas cahaya terhadap phase dari retarder.

## II. METODOLOGI

Pengukuran retardasi retarder dapat dilakukan dengan beberapa macam cara, seperti yang dilakukan oleh penulis [2], dengan menggunakan modulator elektro-optik efek Kerr, atau metode analisator[3]. Sedangkan pada artikel ini pengukuran retardasi retarder dilakukan dengan metode rasio sisa cahaya terpolarisasi lingkaran.

### A. Rasio Sisa Cahaya Terpolarisasi Lingkaran

Pengukuran retardasi retarder keping  $\lambda/4$  dengan metode rasio sisa cahaya terpolarisasi lingkaran dilakukan menggunakan susunan peralatan seperti ditunjukkan secara skematis pada Gambar 1. Susunan peralatan ini serupa dengan perangkat fotoelastisitas polariskop lingkaran [4]. Sistem optik yang digunakan terdiri atas dua polarisator yang saling tegak lurus (P1 dan P2), satu keping  $\lambda/4$  (QW2) dengan sumbu cepat tegak lurus terhadap sumbu cepat keping  $\lambda/4$  uji (QW1). Sumbu polarisator membentuk sudut  $45^\circ$  terhadap sumbu cepat keping  $\lambda/4$  untuk mendapatkan cahaya terpolarisasi lingkaran. Sumber cahaya yang digunakan berupa laser He-Ne (Melles Griot 05-LLR-831,  $\lambda = 0,6328\mu\text{m}$ , 10 mW, diameter berkas 1 mm), dan detektor D berupa Laser Beam Reciever Ogawa Seiki, dengan dilengkapi multi meter digital Yu Fong tipe YF-3140.



Gambar 1: Skema peralatan ukur rasio sisa cahaya terpolarisasi lingkaran.

\*E-MAIL: gyudoyono@physics.its.ac.id

Pada saat QW1, sebagai keping gelombang uji, diposisikan dengan arah tegak lurus perambatan cahaya, maka secara teoritis tidak ada cahaya yang keluar dari analisator P2. Pemutaran QW1 (sumbu putar tegak lurus arah perambatan) sehingga sudut datang berkas cahaya dari polarisator pertama P1 yang mengenai QW1 tidak searah normal, maka akan mengakibatkan adanya cahaya sisa yang keluar dari sistem. Hal ini menunjukkan bahwa retardasi keping uji tidak  $\pi/2$  rad, sehingga cahaya yang keluar dari keping uji mempunyai jenis polarisasi elips dan setelah melewati QW2 polarisasi cahaya bukan lagi terpolarisasi linier yang tegak lurus P2. Ketidak tegak lurusan ini mengakibatkan adanya cahaya yang keluar sistem. Pengukuran dilakukan dengan sudut datang dari  $0^\circ$  hingga  $40^\circ$ , untuk empat titik uji dengan posisi yang berbeda.

**B. Analisa Data**

Analisa data dilakukan dengan memanfaatkan rumusan hasil manipulasi dan penurunan analitik dari vektor Stokes dan matriks Mueller yang merupakan bentuk matematis dari

keadaan polarisasi cahaya dan komponen optik [5–8]. Suatu cahaya terpolarisasi dapat dinyatakan dalam bentuk vektor baris atau vektor kolom. Penulisan matematis ini akan mempermudah dalam analisis jenis polarisasi cahaya yang menjalar dalam sistem optik dengan melibatkan bentuk matrik dari komponen-komponen optik. Cahaya terpolarisasi dibentuk dalam empat besaran yang merupakan fungsi gelombang EM yang disebut parameter Stokes. Bentuk umum vektor Stokes dan matriks Mueller untuk cahaya terpolarisasi yang dinyatakan dalam besaran sudut azimuth ( $\alpha$ ), eliptisitas ( $\tan \omega$ ),  $C_2 = \cos(2\rho)$ ,  $C_4 = \cos(4\rho)$ ,  $S_2 = \sin(2\rho)$ ,  $S_4 = \sin(4\rho)$ ,  $\rho =$  azimuth sumbu cepat retarder, dan  $\delta =$  retardasi retarder sebagai

$$\begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos(2\omega) \cos(2\alpha) \\ \cos(2\omega) \sin(2\alpha) \\ \sin(2\omega) \end{bmatrix} \tag{1}$$

dan

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_4 \sin^2(\delta/2) + \cos^2(\delta/2) & S_4 \sin^2(\delta/2) & -S_2 \sin^2(\delta) \\ 0 & S_4 \sin^2(\delta/2) & -C_4 \sin^2(\delta/2) + \cos^2(\delta/2) & C_2 \sin^2(\delta) \\ 0 & S_2 \sin^2(\delta) & -C_2 \sin^2(\delta) & \cos(\delta) \end{bmatrix} \tag{2}$$

Dari penurunan analitik bentuk matematis vektor Stokes dan matriks Mueller dengan susunan peralatan optik seperti ditunjukkan Gambar 1, diperoleh besarnya retardasi retarder sebagai fungsi intensitas relatif rasio sisa cahaya terpolarisasi lingkaran sebagai berikut

$$\delta = \arcsin(1 - C) \tag{3}$$

dengan  $C \equiv$  intensitas relatif rasio sisa cahaya terpolarisasi lingkaran

keping gelombang, kebalikannya untuk posisi 2 penambahan sudut datang akan menambah besarnya retardasi hingga sudut datang tertentu. Sedangkan posisi 4, terjadi pola yang serupa dengan posisi 2 tetapi dengan penambahan retardasi yang tidak terlalu besar. Pada posisi 3, grafik relatif landai hingga sudut datang yang relatif besar. Perubahan besarnya retardasi retarder sebagai fungsi sudut datang dapat dijelaskan sebagai berikut. Seberkas cahaya yang menjalar dalam medium setebal  $d$ , maka besarnya beda fase relatif kedua gelombang "o" dan "e"

$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} d |n_o - n_e| \tag{4}$$

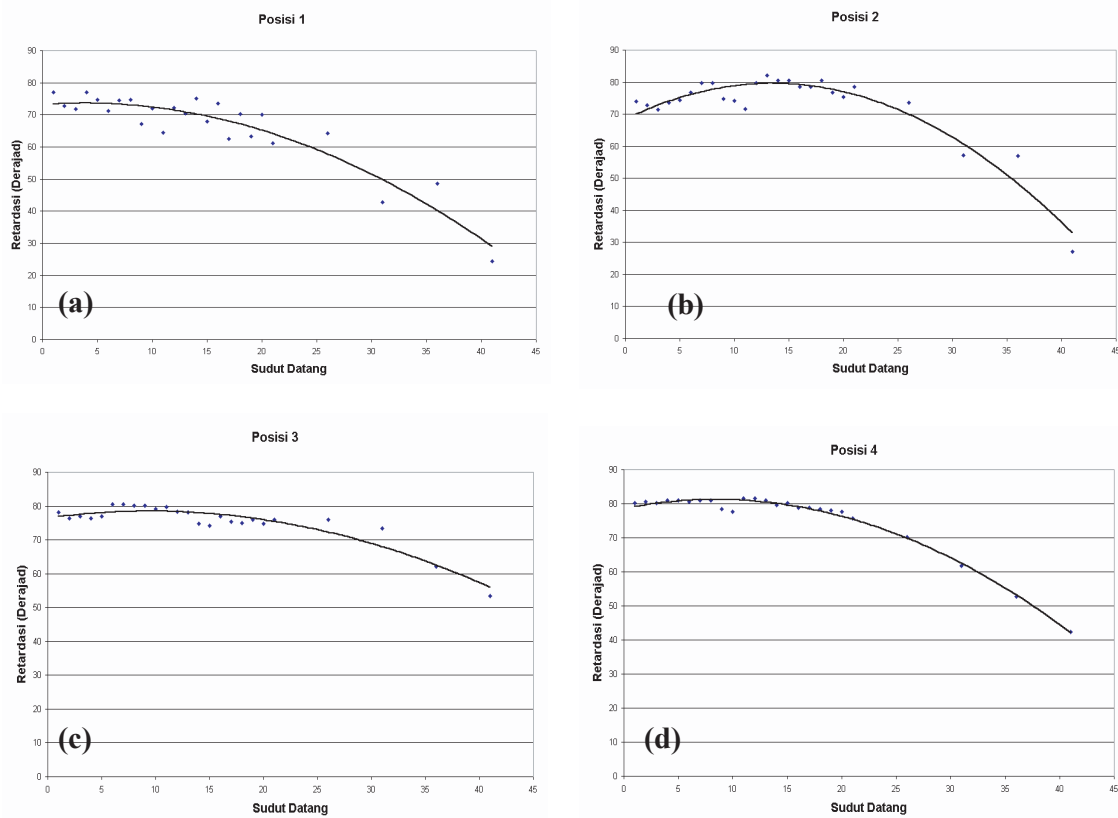
dengan  $\lambda_0$  adalah panjang gelombang dalam vakum, dan  $n_o$  dan  $n_e$  berturut-turut adalah indeks bias medium yang dirambati gelombang ordinary dan extraordinari.

Besarnya beda fase relatif pada retarder akan mempengaruhi jenis polarisasi cahaya yang keluar dari retarder. Bila  $\Delta = \pi/2$ , antara gelombang "o" dan "e" akan bergeser fasenya sebesar  $\pi/2$  radian [9]. Proyeksi resultan medan listrik pada bidang tegak lurus arah perambatan berbentuk elips bila amplitudo gelombang yang saling orthogonal tidak sama  $E_{ox} \neq E_{oy}$ , sedangkan untuk polarisasi lingkaran terjadi bila amplitudo kedua gelombang sama  $E_{ox} = E_{oy}$ . Perangkat optik yang dibuat dengan syarat ini disebut keping  $\lambda/4$  (*Quarter Wave Plate*).

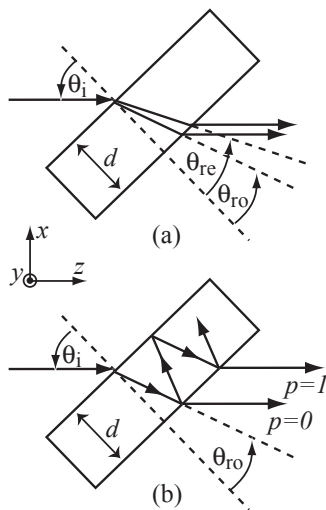
**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengukuran intensitas rasio sisa cahaya terpolarisasi lingkaran untuk ke-empat posisi yang berbeda dengan menggunakan Pers.(3) akan diperoleh nilai retardasi retarder. Besarnya retardasi retarder sebagai fungsi sudut datang berkas cahaya digambarkan berupa grafik seperti ditunjukkan oleh Gambar 2. Pemilihan posisi dilakukan secara acak dengan tetap memperhatikan koordinat titik uji sehingga dapat mewakili seluruh permukaan keping gelombang.

Pada pengukuran rasio sisa cahaya terpolarisasi lingkaran dengan hasil ditunjukkan Gambar 2. tampak bahwa penambahan sudut datang memberikan grafik retardasi yang tidak sama untuk posisi pengujian berbeda. Posisi 1, penambahan sudut datang akan mengurangi besarnya retardasi



Gambar 2: Besarnya retardasi retarder sebagai fungsi sudut datang untuk posisi titik tinjau (a) kesatu, (b) kedua, (c) ke-tiga, (d) ke-empat



Gambar 3: (a) bias rangkap dan (b) pemantulan berulang pada keping gelombang.

Kondisi di atas berlaku untuk berkas cahaya yang datang sejajar normal keping. Tetapi bila berkas cahaya mengenai keping  $\lambda/4$  dengan membentuk sudut datang  $\theta \neq 0^\circ$  maka

di dalam keping terjadi pemantulan berulang sehingga selain tebal keping efektif (d) berubah juga akan terjadi pembiasan ganda [3, 10]. Akibatnya juga akan mengubah besarnya retardasi keping gelombang, seperti ditunjukkan Gambar 3.

Idealnya pengujian di semua titik pada keping gelombang uji akan memberikan bentuk grafik yang sama. Perbedaan yang terjadi antara ke-empat titik uji mungkin disebabkan karena keping uji tidak homogen, keping uji tidak sama tebalnya atau adanya kotoran pada sistem optik sehingga mempengaruhi besarnya intensitas yang ditangkap oleh detektor.

Dari hasil perhitungan memperlihatkan bahwa retardasi keping gelombang tidak sama dengan  $\pi/2$  radian, berarti berkas cahaya yang keluar dari keping uji bukan merupakan cahaya terpolarisasi lingkaran.

Pemberian sudut datang  $\theta_i \neq 0^\circ$  (tidak sejajar normal keping uji) akan menambah lintasan geometris berkas cahaya dalam keping uji (dapat dilihat pada Gambar 3), sehingga menambah beda fase relatif dua gelombang yang merambat dalam keping uji. Penambahan beda phase relatif pada keping gelombang ini akan menambah retardasinya (Pers.4). Dengan acuan sudut datang  $0^\circ$  didapatkan retardasi pada pengukuran dengan sudut datang  $10^\circ$  yang lebih besar, tetapi pada pengukuran intensitas dengan sudut datang  $20^\circ$  besarnya retardasi rata-rata berkurang untuk ke-empat posisi yang diuji.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil pengukuran dan pembahasan menunjukkan bahwa perhitungan retardasi retarder dengan menggunakan metoda rasio sisa cahaya terpolarisasi diperoleh hasil yang beragam untuk posisi pengukuran yang berbeda. Hasil yang didapat nilainya selalu dibawah nilai teoritis. Tetapi ada satu kesamaan dari ke-empat posisi yang diukur, yakni retardasi akan menu-

run tajam pada pemberian sudut datang berkas cahaya sebesar  $20^\circ$ . Sehingga pemakaian keping retarder  $\lambda/4$  dalam polariskop lingkaran atau sistem optik lainnya disarankan digunakan berkas cahaya dengan sudut datang yang lebih kecil dari  $20^\circ$  supaya retardasi retarder masih disekitar nilai idealnya sehingga bentuk polarisasi bekas cahaya yang keluar dari keping gelombang sesuai yang diharapkan.

- 
- [1] G. Yudoyono and A. Y. Rohedi, Jurnal MIPA **7**, 71 (2002).  
[2] G. Yudoyono and A. Rohedi, *Pengujian distribusi retardasi keping  $\lambda/4$  polariskop lingkaran dengan menggunakan modulator elektro-optik efek Kerr* (Laporan Penelitian, LP-ITS Surabaya, 1999).  
[3] L. H. Shyu, Appl.Opt. **32**, 4228 (1993).  
[4] J. W. Dally and W. Riley, *Experimental Stress Analysis* (McGraw-Hill, New York, 1991).  
[5] E. Hecht, *Optics* (Addison Wesley, 2nd.ed., New York, 1987).  
[6] D. S. Klinger, J. W. Lewis, and C. E. Randall, *Polarized Light in Optics and Spectroscopy* (Academic Press, Inc., San Diego, 1990).  
[7] J. Poirson, Appl.Opt. **30**, 6808 (1995).  
[8] X. Zhu, Appl.Opt. **33**, 3505 (1994).  
[9] N. N. Nagib, Measurement Science and Technology **12**, 1714 (2001).  
[10] M. Y. Darsh, Appl.Opt. **34**, 3658 (1995).