

PERKEMBANGAN RISET APLIKASI POLARISASI CITRA DARI HAMBURAN CAHAYA DI LANGIT BIRU SEBAGAI KOMPAS PENUNJUK ARAH ALTERNATIF

Mohammad Iqbal¹, Olivier Morel², Fabrice Mariedeau²

¹ Universitas Gunadarma, Fakultas Ilmu Komputer, Jl. Margonda Raya 100, Depok, Indonesia, e-mail: mohiqbal@staff.gunadarma.ac.id

² Université de Bourgogne, IUT Le Creusot, Laboratoire Le2i - UMR CNRS 5158, Perancis, {*Maître de conférences, professeur*} email : {o.morel, fabrice.meriedeau}@u-bourgogne.fr

Abstract

Polarisasi cahaya di alam merupakan salah satu fenomena optik yang selalu terjadi setiap hari. pada dasarnya cahaya matahari tidak terpolarisasi (unpolarized) dan akan terpolarisasi saat mengalami pantulan (reflecting) akibat bersinggungan dengan permukaan dielektrik (seperti pada permukaan air atau permukaan yang mengkilap lainnya) atau mengalami proses hamburan (scattering) yang diakibatkan oleh partikel di udara maupun ketika diserap oleh air. Fenomena polarisasi yang diakibatkan oleh hamburan dapat diobservasi pada langit biru. Ketika cahaya matahari bersinggungan dengan molekul atmosfer, cahaya ini menjadi cahaya yang terpolarisasi parsial linier (partially Linearly polarized) yang mengandung berbagai macam pola kompleks yang sering disebut dengan e-vector. Pola ini simetris dengan garis zenit dan posisi matahari, sehingga dapat digunakan sebagai referensi arah untuk navigasi. Paper ini merupakan studi pustaka riset yang terkait dengan mekanisme pengambilan informasi polarisasi pada langit biru untuk dipergunakan sebagai referensi arah (kompas cahaya). Pembahasannya meliputi deskripsi alat pemindai pola polarisasi di langit, skenario pemindaian dan metode analisis pola polarisasi menggunakan model rayleigh. Kemudian, klasifikasi proses demi proses pemanfaatan cahaya terpolarisasi disusun berdasarkan pola yang terbentuk pada beberapa riset agar dapat dijadikan pedoman riset selanjutnya.

Daftar Pustaka (1988- 2006)

Kata kunci : Polarisasi, hamburan cahaya, kompas matahari, teori rayleigh

1. PENDAHULUAN

Polarisasi cahaya yang disebabkan oleh penghamburan cahaya (Scattering) merupakan salah satu fenomena optik yang banyak terjadi di alam. Kejadian ini akan menyebabkan cahaya matahari menjadi terpolarisasi parsial linier (*partially linearly polarized light*) setelah bertabrakan dan terhambur oleh molekul atmosfer bumi (Coulson, 1988). Fenomena ini dapat dimanfaatkan sebagai aplikasi untuk memahami suatu citra oleh komputer yang merupakan suatu perluasan dari kemampuan mengindra cahaya.

Pada umumnya, secara konvensional proses mengindra cahaya dilakukan dengan menangkap intensitas dan warna cahaya. Namun pada kejadian polarisasi di alam ini, terdapat informasi tambahan yang dapat ditangkap yang dapat dimanfaatkan untuk memahami lebih lanjut suatu obyek yang diobservasi. Informasi tersebut misalnya derajat polarisasi, sudut polarisasi dan variasi intensitas cahaya yang dihasilkan dari polarisasi.

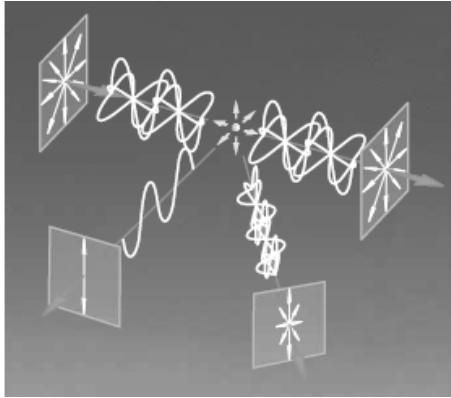
Pada langit biru, Informasi-informasi tambahan polarisasi cahaya ini dapat diambil dengan cara-cara

khusus yang berbeda dengan metode analisis cahaya pada umumnya. Kemudian dari hasil penangkapannya, akan didapati pola polarisasi yang simetris dengan garis zenit dan posisi matahari yang dapat dimanfaatkan sebagai referensi arah.

Bagian pertama dari paper ini membahas tentang teori dasar polarisasi akibat hamburan cahaya. Bagian kedua membahas metode pengambilan informasi polarisasi agar dapat dimanfaatkan untuk pemrosesan selanjutnya. Di bagian ketiga membahas metode analisis polarisasi dan bagian terakhir adalah kesimpulan yang didapat dari pembahasan pada bagian sebelumnya.

2. TEORI POLARISASI AKIBAT HAMBURAN CAHAYA DI UDARA

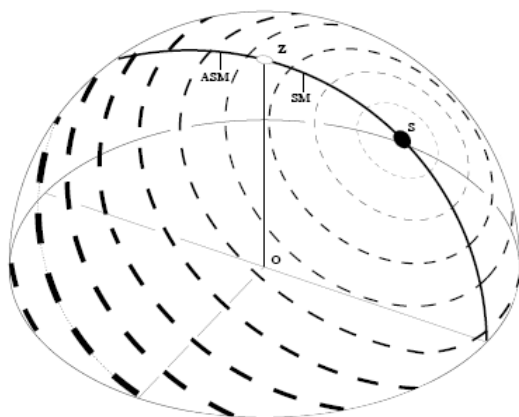
Cahaya terpolarisasi dan warna di langit diciptakan oleh cahaya yang terhambur (*scattering*), yaitu istilah teknis untuk cahaya yang "dipantulkan" ke segala arah dengan acak oleh sesuatu. (Tyndall, 1869). Prosesnya dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Proses terjadinya polarisasi oleh hamburan cahaya oleh atmosfer di langit (Wehner, 2001)

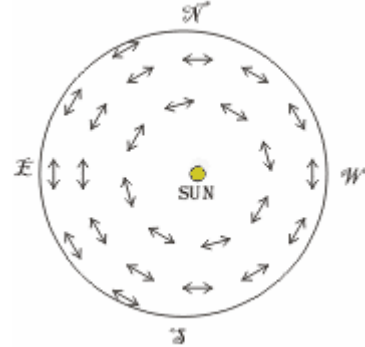
Cahaya matahari yang tiba tidak terpolarisasi (panel kiri atas) tetap tidak terpolarisasi jika langsung mencapai observer (dengan sudut hambur 0° , lihat panel kanan atas). Namun cahaya ini akan menjadi polarisasi linier jika terhambur oleh molekul atmosfer (O_2 dan N_2). Berdasarkan teori Rayleigh, derajat polarisasi akan mencapai 100 % jika sudut hamburnya 90° (lihat panel bawah kiri), dan sebagian sudut hambur yang lainnya akan menyebabkan cahaya terpolarisasi dengan derajat polarisasi yang lebih rendah (lihat panel kanan bawah).

Proses hamburan ini akan terjadi terus menerus pada atmosfer (*multiple scattering*) dan membentuk sebuah pola horisontal yang dikenal dengan nama *e-vector* (István Pomozi1, 2001) dan dapat direpresentasikan seperti pada gambar 2 di bawah ini.



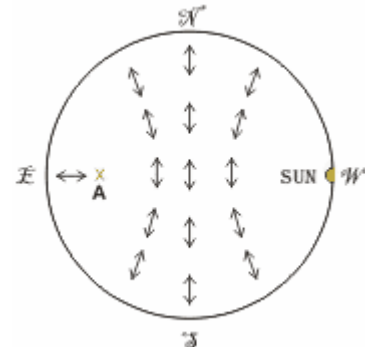
Gambar 2. Representasi 3D dari pola polarisasi yang dihasilkan hamburan cahaya matahari di langit. Z adalah zenit, S adalah matahari (sun), O adalah posisi observasi, SM adalah solar meridian dan ASM adalah anti solar meridian. (Lambrinos et al, 2000)

Posisi matahari akan sangat menentukan orientasi polarisasi cahaya. Pada posisi matahari dekat dengan zenit, maka langit akan terpolarisasi horisontal sepanjang keseluruhan kaki langit (*horison*).



Gambar 3. Matahari berada di dekat zenit, langit akan terpolarisasi horisontal.

Dan pada posisi lainnya, misalnya ketika matahari berada di barat (terbenam), langit akan terpolarisasi maksimal sepanjang garis bujur (*meridian*) dan tegak lurus (vertikal) pada horison di utara dan selatan.



Gambar 4. Ketika terbenam, polarisasi langit sepanjang horison akan terpolarisasi secara vertikal

Dari beberapa ilustrasi di atas, kita mengetahui bahwa pola polarisasi akan berotasi berdasarkan posisi matahari terhadap zenit. Pada keadaan rotasi ini, pola polarisasi di langit biru memiliki 2 properti penting, yaitu :

1. Memiliki garis simetris dengan titik tengah zenit membentuk sudut 180° . Titik dimana posisi matahari berada disebut solar meridian (SM), dan cerminannya terhadap zenit di sisi lainnya disebut anti solar meridian (ASM).
2. E-Vector selalu tegak lurus terhadap solar meridian. (Lambrinos et al, 2000)

3. METODE PENGAMBILAN INFORMASI POLARISASI

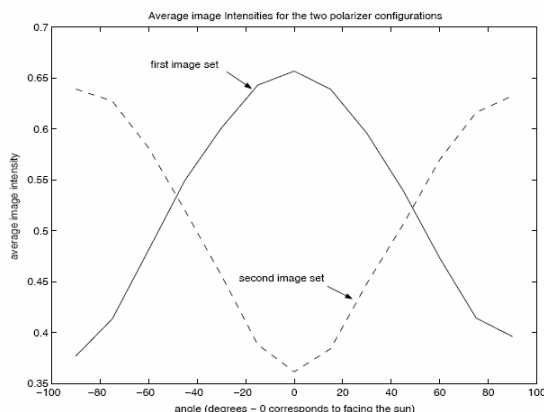
Sistem ini amat penting dalam rangkaian kegiatan penentuan arah menggunakan polarisasi. Kesalahan dalam pemilihan jenis filter polarisasi, kamera dan instalasi, tentu akan mempengaruhi akurasi deteksi terhadap obyek *e-vector* pada langit.

3.1. Menggunakan Kamera CCD

Pengambilan informasi polarisasi menggunakan kamera CCD biasa ini adalah dengan cara menganalisa komponen biru dari output RGB. Polarisasi pada langit biasanya terjadi dalam kisaran panjang gelombang cahaya ultraviolet atau biru. (350-450nm). Untuk mengekstrak citra polarisasi, diperlukan filter polarisasi linier yang ditambahkan pada lensa kamera CCD tersebut. (Usher et all , 2001).

Langkah pertama dilakukan untuk inialisasi, yaitu mengambil referensi maksimal dan minimal terhadap pola polarisasi (*e-vector*) di langit. Citra langit diambil sebanyak dua kali, dimana citra yang kedua sudut filter polarisasinya ortogonal (tegak lurus) terhadap sudut filter polarisasi yang pertama. Ini berarti mengambil polarisasi horisontal (0°) dan mengambil sudut polarisasi 90° (polarisasi vertikal), yaitu referensi dimana kita bisa melihat *e-vector* di langit dengan jelas, dan dimana kita tidak bisa melihatnya sama sekali.

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengamatan citra langit. Kamera akan diarahkan ke langit dalam sudut $0^\circ - 180^\circ$. Citra akan diambil setiap 10° sebanyak 2 kali dengan situasi seperti pada langkah inialisasi (filter polarisasi pada 0° dan 90°).



Gambar 5. Variasi Instensitas dengan orientasi yang sama, set citra 1 memiliki posisi sama dengan *e-vector*, set citra 2 tegak lurus terhadap *e-vector* (Usher et all , 2001)

Gambar 5 menunjukkan rata-rata intensitas dari dua set citra dengan orientasi yang sama. Pada orientasi 0° , rata-rata intensitas citra pertama pada puncak tertinggi, ini berarti sudut filter polarisasi berada pada posisi yang sama dengan *e-vector* (atau tegak lurus terhadap solar meridian). Namun, intensitas citra kedua mencapai posisi minimum yang berarti filter polarisasi tegak lurus terhadap *e-vector*.

3.2. Menggunakan Lensa Fisheye

Pengambilan citra langit menggunakan lensa *fisheye* ini lebih mudah dibandingkan dengan menggunakan kamera CCD biasa, karena lensa ini akan memungkinkan kita mendapatkan sudut penglihatan 180° terhadap langit. Pada kamera juga dipasang filter polarisasi linier dalam bentuk cakram yang memiliki 3 sudut polarisasi yang berbeda ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$) yang skalanya dapat diukur dengan mudah. (István Pomozi1, 2001)



Gambar 6. Lensa Fisheye (kiri) dan cakram rotator linier polarizer (kanan)

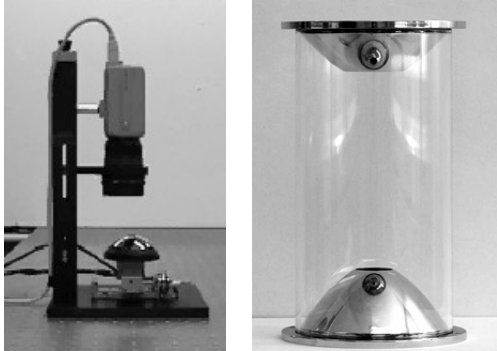
Citra langit diambil dengan mengambil 3 citra dengan sudut transmisi filter polarisasi yang berbeda-beda yang diatur dari rotator cakram tadi. Kamera diletakkan menggunakan tripod tegak lurus menghadap langit sehingga sudut optik *fisheye* vertikal dan *view-finder* kamera menghadap utara.



Gambar 7. Posisi kamera pada Pengambilan citra menggunakan lensa *fisheye* (Jessie, 2005)

3.3. Menggunakan Lensa Catadioptric

Lensa catadioptric memberikan sudut penglihatan yang lebih luas dari lensa biasa bahkan dari lensa *fisheye*. Menggunakan lensa ini untuk deteksi area langit akan memberikan area citra langit lebih dari 180°. (Dimitrios Lambrinos, 2000)



Gambar 8. Lensa Catadioptric tunggal (kiri) dan stereo (kanan)(Gijeong Jang, 2005)

Pengambilan citra langit dilakukan dengan memasang filter polarisasi yang sama dengan yang dilakukan pada kamera lensa *fisheye* pada sub bab sebelumnya. Begitu juga pengambilannya, yaitu menangkap tiga citra dengan sudut transmisi filter polarisasi yang berbeda-beda yang diatur dari rotator cakram filter polarisasi. Namun, kamera diletakkan dengan posisi lensa tegak lurus menghadap sistem catadioptric seperti gambar di bawah ini.



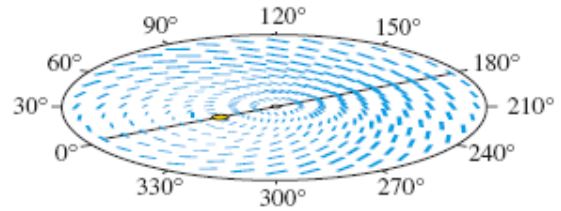
Gambar 9. Posisi kamera pada Pengambilan citra menggunakan lensa *Catadioptric*(Jeffrey R. Charles, 1997)

4. METODE ANALISIS POLARISASI

Metode ini adalah metode selanjutnya setelah pengambilan citra langit. Informasi polarisasi cahaya pada langit akan diekstraksi dan dikuantisasi agar dapat menjadi persepsi arah dengan pemrosesan citra lebih lanjut untuk mendapatkan kecerahan intensitas yang memadai, derajat dan sudut polarisasi langit yang diamati.

4.1. Model Rayleigh Langit

Representasi 3D citra langit akan direpresentasikan secara dua dimensi dengan sistem koordinat polar, dimana sudut zenit θ dan sudut azimuth ϕ dari barat diukur secara radial dan tangensial. Pada koordinat sistem 2D, zenit posisinya sebagai sumber dan horison adalah lingkaran terluar.



Gambar 10. Representasi 2D Pola E-vector langit (Wehner, 2001)

Teori dasar pola derajat dan sudut polarisasi langit dihitung menggunakan model rayleigh *single-scattering*. Pada model ini, derajat polarisasi linier langit δ ditulis pada persamaan (1) dan (2) :

$$\delta = \delta_{\max} \sin^2 \gamma (1 + \cos^2 \gamma) \quad (1)$$

$$\cos \gamma = \sin \theta_s \sin \theta \cos \psi + \cos \theta_s \cos \theta \quad (2)$$

dimana γ adalah jarak sudut antara observer di permukaan bumi antara titik celestial dan matahari, θ_s adalah sudut solar zenit dan θ adalah jarak sudut observer dipermukaan bumi antara zenit dan solar meridian. Untuk setiap θ_s , δ_{\max} yang diberikan, ditetapkan dari pola derajat polarisasi langit yang diukur dengan metode *full-sky imaging polarimetry* yang dilakukan oleh (István et al, 2001).

Pada model rayleigh, orientasi (atau sudut) polarisasi tegak lurus terhadap ruang (*plane*) hamburan cahaya dilihat dari sisi pengamat, titik celestial yang diamati dan posisi matahari. Polarisasi yang terjadi tidak tergantung pada panjang gelombang. Teori hamburan Rayleigh ini akan dijadikan sebagai pembanding untuk citra hasil pengamatan langsung polarisasi langit berikut ini.

4.2. Ekstaksi Pola Polarisasi di Langit (e-vector)

Proses pengolahan setiap citra langit yang ditangkap dengan tiga orientasi filter polarisasi yang berbeda, dimulai dengan menggunakan persamaan :

$$F(\phi) = K (1 + d \cos (2\phi)) \quad (3)$$

Dimana K adalah skala faktor yang tergantung pada pengaturan kamera dan kondisi sekitar, d adalah

derajat polarisasi, ϕ adalah orientasi yang mengacu pada solar meridian dan $F(\phi)$ adalah intensitas citra yang ingin didapatkan. Dengan orientasi filter polarisasi yang diset pada 0° , 45° dan 90° , kita dapat menyusun persamaan (3) menjadi :

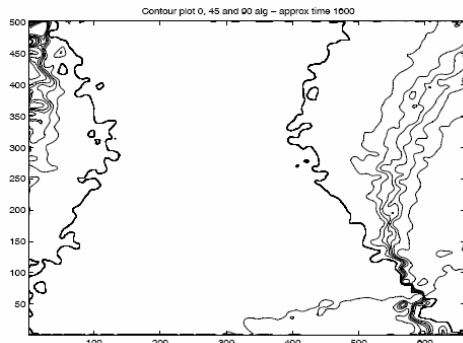
$$F(\phi) = K (1 + d \cos (2\phi - 2 \cdot 0)) \quad (4)$$

$$F(\phi) = K (1 + d \cos (2\phi - 2 \cdot (\pi/4))) \quad (5)$$

$$F(\phi) = K (1 + d \cos (2\phi - 2 \cdot (\pi/2))) \quad (6)$$

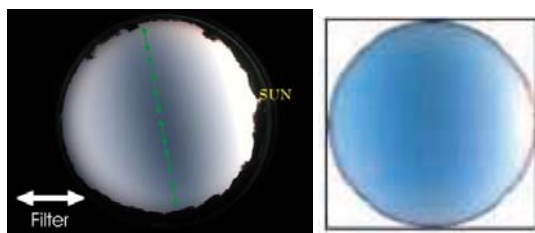
Persamaan-persamaan ini disusun untuk mendapatkan rata-rata intensitas citra, sehingga dapat menjadi solusi untuk setiap piksel dalam 3 citra tersebut.

Dengan mengambil model situasi yang ada pada penelitian Dimitrios Lambrinos (Lambrinos, 2000), yaitu dengan $K=0.5$ dan $d=0.3$, lalu memberi orientasi filter polarisasi 0° , 45° dan 90° , penangkapan citra dilakukan pada saat matahari terbenam, maka rata-rata intensitas yang didapatkan seperti pada gambar 10 di bawah ini.



Gambar 11. Kontur Pola E-vector untuk setiap citra pada ϕ yang berbeda (Usher et all , 2001)

Kita menyaksikan bahwa telah terjadi pemusatan kontur pada kanan bawah dimana matahari berada. Di sisi lainnya (sebelah kiri) juga terbentuk kontur hamburan cahaya namun tidak sebanyak kontur di sekitar matahari. Kontur ini merupakan representasi intensitas dari cahaya terpolarisasi akibat kejadian hamburan di langit yang berasal dari citra sumber pada gambar 11.



Gambar 12. Citra Sumber ketika matahari tenggelam (István et all, 2001)

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan citra sumber untuk mendapatkan derajat polarisasi

dan sudut polarisasi. Kegiatan ini adalah dengan cara *full-sky imaging polarimetry* yang dilakukan oleh (István et all, 2001), yaitu :

1. Mengukur matrik Mueller dari lensa dan filter polarisasi yang digunakan
2. Mengukur gangguan-gangguan yang mungkin terjadi pada lensa, termasuk mengurangi intensitas cahaya citra agar mendapatkan tampilan citra yang dapat menunjukkan secara tegas batas-batas antar pola yang terbentuk di dalamnya.

Pada paper ini penulis hanya membahas penggunaan matrik Mueller yang merupakan bagian utama dari mendapatkan dua informasi polarisasi tersebut. Sedangkan gangguan pada lensa tentu akan sangat tergantung dari lensa yang digunakan seperti yang sudah dibahas pada bab ketiga, dan pada paper ini diabaikan.

4.2.1. Matrik Mueller dan Parameter Stokes

Matrik mueller merupakan elemen dari kalkulus Mueller yang digunakan untuk menghitung model akibat kejadian polarisasi. Cahaya datang direpresentasikan dalam vektor 4 dimensi, yang disebut dengan Stokes vector. Obyek yang mengubah status polarisasi dari cahaya datang direpresentasikan dalam 4x4 matrik yang disebut matrik Mueller. Pada penangkapan citra langit, filter polarisasi yang digunakan adalah linier polarizer yang dirotasikan dalam sudut θ , maka matrik Mueller yang digunakan adalah (Goldstein, 2003) :

$$\frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & \cos 2\theta & \sin 2\theta & 0 \\ \cos 2\theta & \cos^2 2\theta & \sin 2\theta \cos 2\theta & 0 \\ \sin 2\theta & \sin 2\theta \cos 2\theta & \sin^2 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Maka, untuk tiga sudut (0° , 45° , 90°) polarizer yang diambil, berlaku sebagai berikut :

$$\theta = 0^\circ, \text{ maka } \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Pada sudut 0° Matrik Mueller rotator polarizer menunjukkan polarisasi linier secara horisontal.

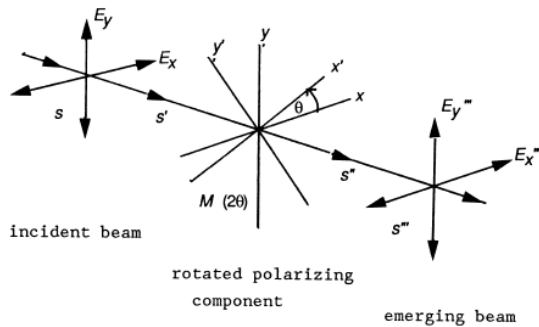
$$\theta = 45^\circ, \text{ maka } \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Pada sudut 45° Matrik Mueller rotator polarizer menunjukkan polarisasi linier secara diagonal garis diantara kuadran.

$$\theta = 90^\circ, \text{ maka } \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Pada sudut 90° Matrik Mueller rotator polarizer menunjukkan polarisasi linier secara vertikal.

Pengukuran ini berlaku pada situasi cahaya datang (*incident beam*) diubah sudut θ dengan polarizer rotator seperti ilustrasi di bawah ini.



Gambar 13. Pengukuran pada rotator polarizer linier (Goldstein, 2003)

Sedangkan untuk cahaya datang (*incident beam*), diwakili oleh stokes parameter. Berikut ini beberapa ketentuan untuk Stokes Vector (Goldstein, 2003) :

$$\begin{pmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix} \begin{matrix} S_0: \text{Total intensitas} \\ S_1: 0^\circ \text{ linear polarized light} \\ S_2: 45^\circ \text{ linear polarized light} \\ S_3: \text{Right circular polarized light} \end{matrix}$$

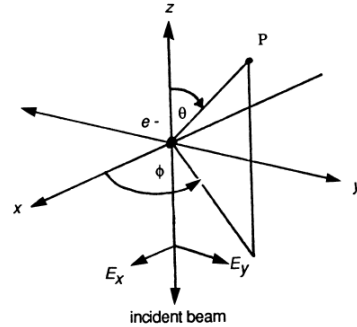
Untuk menghitung status polarisasi cahaya yang memantul dari suatu benda, maka berlaku ketentuan umum (Goldstein, 2003) :

$$[\text{output light}] = [\text{Muller matrix}] [\text{input light}]$$

$$\begin{pmatrix} S_0' \\ S_1' \\ S_2' \\ S_3' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix} \quad (8)$$

4.2.2. Matrik Mueller untuk Cahaya terhambur oleh atmosfer

Penjabaran di atas adalah untuk cahaya datang dalam keadaan ideal. Sedangkan pada kejadian sesungguhnya, cahaya terkena proses hamburan cahaya oleh electron-electron pada molekul yang ada di atmosfer.



Gambar 14. Proses Hamburan oleh elektron bebas pada atmosfer (Goldstein, 2003)

Cahaya datang akan terhambur dalam sudut θ dan ϕ karena dipengaruhi oleh massa elektron mengikuti persamaan (Goldstein, 2003) :

$$E_\theta = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2 R} [E_{0,x} e^{i\delta x} e^{i\omega t}] \cos\theta \quad (9)$$

$$E_\phi = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2 R} [E_{0,y} e^{i\delta y} e^{i\omega t}] \quad (10)$$

Maka, stokes vektor untuk cahaya datang (*incident light*) yang terhambur di atas menjadi (Goldstein, 2003) :

$$S' = \frac{1}{2} \left(\frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2 R} \right)^2 \begin{pmatrix} S_0(1 + \cos^2\theta) + S_1 \sin^2\theta \\ S_0 \sin^2\theta + S_1(1 + \cos^2\theta) \\ 2S_2 \cos\theta \\ 2S_3 \cos\theta \end{pmatrix} \quad (11)$$

Dan setelah mengalami penjabaran cukup panjang, matrik Mueller rotator polarizer menjadi (Goldstein, 2003):

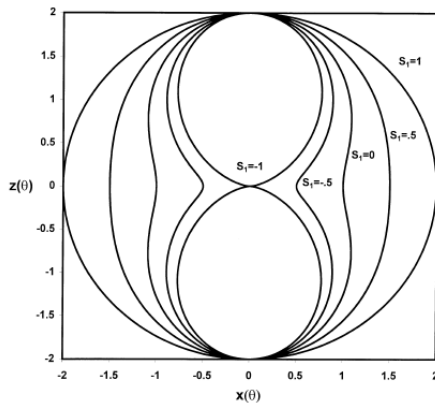
$$M = \frac{1}{2} \left(\frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2 R} \right)^2 \begin{pmatrix} 1 + \cos^2\theta & \sin^2\theta & 0 & 0 \\ \sin^2\theta & 1 + \cos^2\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2\cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\cos\theta \end{pmatrix} \quad (12)$$

Dimana $-e^2 / (4\pi\epsilon_0 mc^2)$ adalah sifat elektron pada radius R. Maka, intensitas yang terbentuk proporsional pada area elektron-elektron tersebut. Secara umum, intensitas dari cahaya yang terkena

proses hamburan oleh elektron menjadi (Goldstein, 2003):

$$I(\theta) = \frac{1}{2} [S_0 (1 + \cos^2 \theta) + S_1 \sin^2 \theta] \quad (13)$$

Kontur yang terbentuk dari intensitas dengan mengatur kombinasi cahaya datang sebagai cahaya yang terpolarisasi secara linier ($S_1=-1$ atau $S_1=1$) dan cahaya tidak terpolarisasi ($S_1=0$) dari persamaan (13) di atas dapat dilihat pada gambar 15 di bawah ini.



Gambar 14. Kontur intensitas untuk cahaya terhambur oleh elektron polarisasi linier (Goldstein, 2003)

Kemudian derajat polarisasi kita dapatkan dengan menghitung parameter stokes cahaya terpolarisasi (*emerging beam* - hasil dari perkalian stokes vektor cahaya datang terhambur dengan matrik Mueller) dengan rumus (Goldstein, 2003) :

$$\rho = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0} \quad (14)$$

Sedangkan sudut polarisasi di dapat dari persamaan

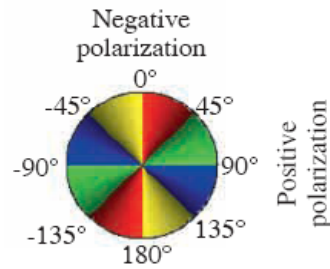
$$\varphi = \frac{1}{2} \arccos \frac{S_1}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}} \quad (15)$$

4.2.3. Interpretasi Citra dengan ekstrak informasi Polarisasi

Langkah selanjutnya adalah interpretasi citra dengan menerapkan hasil ekstraksi informasi polarisasi, kepada citra sumber. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan segmentasi intensitas ke peta warna sehingga dapat diidentifikasi dengan mudah.

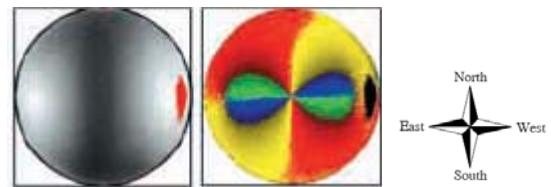
Warna yang timbul dari pendeteksian derajat dan sudut polarisasi mengacu pada daftar

warna yang terkait dengan panjang gelombang cahaya yang dapat tertangkap oleh kamera RGB. Semakin panjang gelombang, semakin tinggi derajat polarisasi pada langit, artinya spektrum warna akan semakin gelap atau meredup. Hal ini tentu sejalan dengan hukum Rayleigh yang menyatakan semakin pendek panjang gelombang, proses hamburan akan terjadi berulang kali (hamburan cahaya berulang kali akan membuat cahaya berpijar dan semakin terang). Gambar berikut ini adalah acuan spektrum warna untuk sudut polarisasi yang diukur dari meridian lokal.



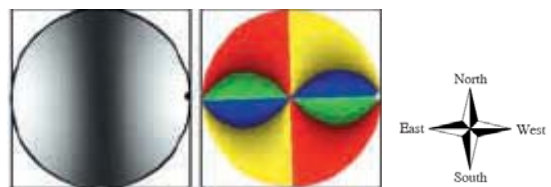
Gambar 15. Spektrum warna untuk sudut polarisasi (István et all, 2001)

Hasil ekstraksi polarisasi pada bab sebelumnya pada citra sumber dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 16. Derajat polarisasi (kiri) dan sudut polarisasi (kanan) Langit cerah (István et all, 2001)

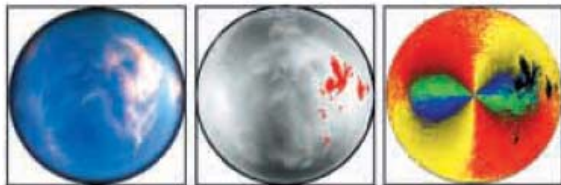
Sebagai perbandingan, jika derajat dan sudut polarisasi ini diterapkan pada citra hasil perhitungan *teori hamburan Rayleigh*, kita mendapatkan tampilan citra seperti gambar di bawah ini.



Gambar 17. Derajat polarisasi (kiri) dan sudut polarisasi (kanan) menggunakan perhitungan teori langit model rayleigh (István et all, 2001)

Dalam kaitannya dengan kompas cahaya, fakta bahwa matahari akan berjalan dipanjang poros yang membelah langit utara dan selatan dengan arah bergerak dari timur dan barat, bisa dijadikan sebagai garis acuan arah. Lebih jauh lagi, titik zenit yang berada tepat di tengah jalur poros tersebut, akan menentukan posisi matahari. Dengan menganalisis citra langit seperti yang kita lakukan pada bab sebelumnya, sudut polarisasi menunjukkan dengan jelas bahwa poros yang dilalui matahari akan membentuk warna gelap (biru atau hijau).

Fakta menarik yang ditemukan selanjutnya adalah bahwa pada langit yang berawan pun, kita masih dapat menangkap informasi polarisasi dengan jelas. Artinya, bahwa cahaya matahari yang mengalami hamburan tetap sampai ke permukaan bumi, walau pun ada penurunan intensitas.



Gambar 18. Citra sumber (kiri), derajat polarisasi (tengah) dan sudut polarisasi (kanan) Langit berawan (István et all, 2001)

4. KESIMPULAN

Perkembangan riset *polarization imaging* untuk mengembangkan teknik navigasi berdasarkan cahaya di langit masih terus berkembang sampai saat ini. Pada umumnya, terdapat dua langkah terstruktur yang diambil oleh para peneliti dalam memanfaatkan citra terpolarisasi, yaitu (i) strategi pengambilan informasi polarisasi, dan (ii) pemilihan metode analisis polarisasi dan interpretasi citra polarisasi.

Strategi pengambilan informasi polarisasi dari suatu obyek yang diobservasi, selain suatu kamera CCD biasa atau sensor khusus polarisasi, membutuhkan peralatan optik tambahan yang dipasang di depan lensa kamera. Khusus untuk kompas cahaya ini dapat memanfaatkan lensa khusus, seperti lensa *fisheye* dan *lensa catadioptric* yang kemudian dikombinasikan dengan sebuah filter polarisasi linier yang bisa dirotasikan secara mekanis.

Pemilihan metode analisis polarisasi pada umumnya terkait dengan efisiensi algoritma yang dipilih. Sampai saat ini, masih membutuhkan penelitian yang lebih dalam algoritma mana yang paling efektif dalam ekstraksi informasi polarisasi tersebut. Parameter Stokes dan matrik Mueller merupakan salah satu cara yang paling populer

karena termasuk praktis dan memiliki cakupan aplikasi yang luas. Selain itu juga dapat membuat model yang cukup lengkap dari cahaya yang dianalisa polarisasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Suhai and G. Horvarth (2004), How well does the Rayleigh model describe the E-vector distribution of skylight in clear and cloudy conditions? A full-sky polarimetric study, Vol. 21, No. 9/September 2004 /J. Opt. Soc. Am. A
- [2] Coulson, K.L. (1988), Polarization and Intensity of Light in the Atmosphere, Hampton, VA:A. Deepak Publishing
- [3] Dimitrios Lambrinos (2000), A mobile robot employing insect strategies for Navigation, Robotics and Autonomous System, 30:39-64, Elsevier
- [4] Gijeong Jang et all (2005), Single Camera Catadioptric Stereo System, Workshop omnidirectional vision, Camera Network and non classical camera 2005
- [5] Goldstein, Dennis (2003), Polarized Light, Second Edition, CRC Press, ISBN-13: 9780824740535
- [6] Hovarth, Gabor (1990). Reflection Polarization Patterns at Flat Water Surfaces and their Relevance for Insect Polarization Vision, *J. theor. Biol.* (1995) 175, 27-37
- [7] István Pomozi1 (2001) et all, How the clear-sky angle of polarization pattern continues underneath clouds: full-sky measurements and implications for animal orientation , *The Journal of Experimental Biology* 204, p2933–2942, JEB3412.
- [8] Jeffrey R. Charles (1988) , PORTABLE ALL-SKY REFLECTOR WITH "INVISIBLE" AXIAL CAMERA SUPPORT, RTMC Proceedings.
- [9] Jessi Stumpfel, Direct HDR Capture of the Sun and Sky, Proceeding.
- [10] John Tyndall, On the blue color of the sky, the polarization of sky light, and on the polarization by cloudy matter in general, *Proc. Roy. Soc. (London)*, 17, p. 223, 1869.
- [11] Lawrence B. Wolff, Andreas Andreou (1995), Polarization Camera Sensor, *Image & Vision Computing*, Vol 13, sevier Science, 497-510
- [12] Usher, Kane et all (2001), A Camera as a Polarized Light Compass : Preliminary Experiment, *Proceeding Australian Conference on Robotics and Automation*.
- [13] Wehner, Rudiger. (2001), Polarization Vision – A Uniform Sensory Capacity ?, *The Journal of Experimental Biology* 204, 2589–2596