

Sistem Pencitraan untuk Menangkap Citra Polarisasi

Mohammad Iqbal^{1,2}, Sarifuddin Madenda¹, Djati Kerami¹

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

² Université de Bourgogne, Laboratoire Le2i - UMR CNRS 5158, IUT Le Creusot, Perancis

Abstrak

Dalam bidang visi computer, untuk mempersiapkan sistem pencitraan (*imaging system*) yang baik, dimulai dari mempersiapkan instalasi yang spesifik. Hal ini akan sangat tergantung pada tujuan citra seperti apa yang diinginkan. Pada umumnya sistem penangkap citra akan mengambil informasi intensitas dan warna dari suatu citra sebaik mungkin agar nantinya akan lebih memudahkan dalam proses pengolahan citra selanjutnya. Namun, ada suatu fenomena optik di alam yang dikenal dengan polarisasi cahaya, yang dapat memberikan informasi lebih banyak dari sekedar intensitas dan warna. Informasi tambahan ini (yaitu derajat polarisasi, sudut polarisasi dan variasi intensitas cahaya), tentu saja dapat ditangkap dan dapat dimanfaatkan untuk memahami lebih lanjut suatu obyek yang diobservasi. Paper ini merupakan telaah terhadap berbagai metode yang telah dilakukan oleh para peneliti dalam melakukan instalasi alat penangkap citra untuk menangkap citra dengan cahaya terpolarisasi.

Kata kunci: Optik, Polarisasi Cahaya, Sistem Penangkap citra

1. Pendahuluan

Polarisasi adalah fenomena optik yang sering terjadi di bumi yang disebabkan oleh 3 keadaan, yaitu disebabkan oleh proses *scattering* (hamburan) cahaya matahari dengan atmosfer bumi, atau disebabkan oleh proses scattering cahaya matahari pada air (terjadi pada dunia bawah laut) dan yang ketiga adalah polarisasi cahaya yang disebabkan oleh refleksi (pantulan) dari permukaan yang mengkilap (seperti permukaan air atau beberapa jenis bahan yang dapat memantulkan cahaya lainnya), atau pantulan dari permukaan dielektrik seperti tanah, bebatuan maupun tumbuh-tumbuhan. Cahaya yang datang dari sumbernya (pada alam terbuka adalah matahari) dalam keadaan tidak terpolarisasi akan menjadi terpolarisasi ketika mengalami keadaan-keadaan di atas dan mengandung banyak informasi yang bisa dimanfaatkan untuk mengenali obyek yang diamati. Informasi polarisasi tersebut meliputi variasi intensitas cahaya yang dihasilkan dari polarisasi, derajat polarisasi dan sudut polarisasi. Bagian pertama dari paper ini membahas tentang fundamental visi komputer, kemudian menelaah berbagai metode pengambilan informasi polarisasi yang meliputi berbagai metode instalasi serta strategi penangkapan citra secara detail. Di bagian akhir adalah kategorisasi dan kesimpulan yang didapat dari pembahasan sebelumnya.

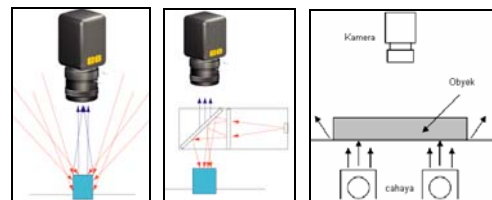
2. Fundamental Visi Komputer

Suatu sistem pencitraan (*imaging system*) biasanya terdiri atas 3 bagian utama, yaitu pencahayaan, lensa dan kamera. Kombinasi yang tepat pada bagian ini,

akan memaksimalkan kualitas citra yang kita observasi.

2.1. Pencahayaan

Pencahayaan merupakan salah satu langkah yang kritis untuk mendapatkan kualitas citra yang diinginkan. Pemanfaatan pencahayaan pada umumnya didasarkan pada jenis sumber cahayanya, misalnya sumber cahaya menyebar seperti matahari, lilin atau lampu-lampu seperti fluorescent, halogen, LED dan lain-lain, atau sumber cahaya terarah seperti laser pointer. Selain untuk memenuhi kebutuhan cahaya, pencahayaan juga digunakan untuk mengamati interaksi antara cahaya dengan obyek seperti pemantulan, penyerapan dan transmisi cahaya.



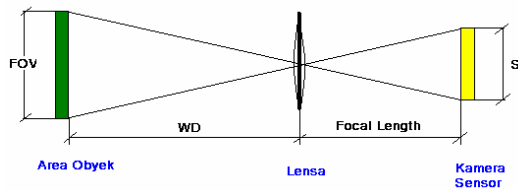
Gambar 1. Pencahayaan frontal (kiri), pencahayaan axial (tengah) dan pencahayaan latar (kanan)

Implementasi pencahayaan dalam sistem pencitraan (*imaging system*) umumnya terdiri atas pencahayaan frontal, pencahayaan axial dan pencahayaan latar (*back light*). Pada pencahayaan frontal, cahaya akan secara langsung menyinari obyek dan akan terjadi interaksi langsung kepada kamera sensor. Sedangkan

pencahayaan axial, Interaksi pencahayaan dapat diatur dengan suatu alat optik tertentu dan pencahayaan latar dilakukan untuk keperluan identifikasi kontur atau bentuk.

2.2. Lensa dan filter

Ada 3 parameter utama dalam lensa, yaitu *focal length* (jarak antara kamera sensor dengan lensa, dalam satuan milimeter), *focus* (berkaitan dengan jarak, satuannya meter) dan *aperture* (besaran lensa dalam membuka dan menutup yang berhubungan dengan berapa banyak cahaya yang masuk ke sensor kamera). Selain itu juga, ada parameter besaran sensor (*S*) yang sangat mempengaruhi besarnya area obyek yang bisa ditangkap (*FOV=Field Of View*) serta ada pula parameter yang berhubungan dengan focus yaitu area kerja (*WD=Working distance*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Parameter utama pemilihan lensa

Untuk penggunaan lensa, berlaku ketentuan $FOV / WD = S / \text{Focal Length}$ (cambridgeincolour.com, 2008). Aturan ini digunakan dalam area yang luas dalam fotografi yang berkaitan dengan pemilihan lensa. Sedangkan filter digunakan untuk memberikan efek tertentu kepada informasi intensitas yang akan ditangkap oleh suatu imaging system. Dalam area polarization imaging, filter yang digunakan adalah polarizer, yang akan menambahkan informasi polarisasi pada citra yang ditangkap.

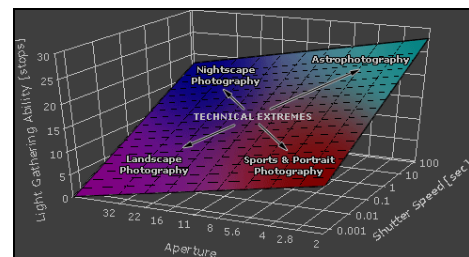
2.3. Kamera

Kamera akan mentransformasi obyek pada alam nyata pada suatu bentuk citra tertentu. Analog kamera akan mentransfer ke plastik film dan digital camera akan mentransfer ke dalam scene piksel. Aktifitas ini akan sangat tergantung pada elemen utama dari kamera yaitu sensor. Jika dilihat dari jenis sensornya, maka kamera terbagi atas sensor CCD (charge couple device) dan sensor CMOS. CCD akan membentuk matriks piksel dari citra dengan shift register sedangkan CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) juga melakukan hal sama namun dilengkapi decode baris dan kolom matrik yang membuat setiap piksel di dalamnya lebih terstruktur dan efisien dalam metode penyimpanannya.

Ada banyak parameter untuk dapat mengoptimalkan kinerja sensor kamera yaitu *exposure* (kombinasi

otomatis *shutter speed* dan *aperture*), *gain* (mengatur output kontras), *brightness* (mengatur graylevel/offset citra), *sharpness* (memperjelas citra yang mengalami *blur*), *gamma* (mengatur middle graylevel), *saturation* (mengatur saturasi warna), *hue* (mengatur pergeseran nilai warna) dan *white balance* (mengatur variasi warna merah dan biru dalam citra yang ditangkap). Namun, dalam kaitannya dengan penangkapan citra terpolarisasi yang tidak membutuhkan citra berwarna, maka parameter yang digunakan adalah *shutter*, *gain*, *brightness*. Filter warna seperti bayer serta pengaturan sensor yang menghasilkan citra warna RGB tidak dibutuhkan sehingga parameter seperti *gamma*, *saturation*, *hue* dan *white balance* pun tidak perlu diatur.

Parameter *exposure* yang mengatur cahaya dan obyek yang ditangkap sensor dalam penangkapan citra tunggal perlu diatur sesuai dengan keadaan lingkungan. Kombinasi antara shutter (kecepatan sensor menangkap cahaya) dan aperture (besar lensa membuka dan menutup) ini, sangat tergantung pada keadaan pencahayaan lingkungan. Kombinasi terbaik yang pengaturan parameter ini dapat ditemukan pada artikel di *Imagingsource.com* (2008), dan terangkum dalam gambar di bawah ini.



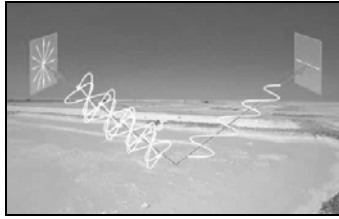
Gambar 3. Kombinasi Aperture dan shutter speed untuk menangkap citra dalam situasi lingkungan cahaya yang berbeda (Imagingsource.com, 2008)

2.2. Teori Polarisasi Citra

Polarisasi cahaya secara umum diakibatkan oleh pantulan dan hamburan cahaya. Di bawah ini akan dipaparkan penjelasan singkat polarisasi yang diakibatkan oleh dua unsur tersebut dan cara umum mengekstrak informasi polarisasi.

2.2.1. Polarisasi akibat Pantulan Cahaya

Polarisasi cahaya akibat pantulan cahaya dapat dijelaskan dalam gambar 4. Cahaya unpolarized dari matahari (panel kiri) akan menjadi terpolarisasi secara linier ketika terpantul oleh permukaan air. Cahaya yang terpantul adalah terpolarisasi secara horizontal (panel kanan). Maksimum polarisasi akan mencapai tergantung dengan

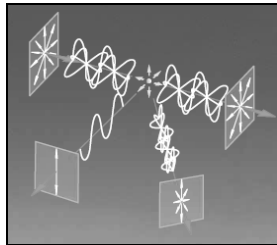


Gambar 4. Polarisasi oleh pantulan cahaya dari permukaan air (Wehner, 2001)

Hukum Fresnel digunakan sebagai dasar untuk menghitung status polarisasi akibat pantulan. Hukum ini terkait pula dengan hukum Maxwell yang menyebut bahwa gelombang cahaya adalah gelombang elektromagnet. Hukum ini menyatakan bahwa untuk permukaan yang tidak menghamburkan cahaya sudut pantul selalu sama dengan sudut datang. Hal ini ini dapat digunakan untuk menghitung intensitas pantulan. Selanjutnya, dengan menambahkan karakteristik polarizer kita bisa mendapatkan status polarisasi.

2.2.2. Polarisasi akibat Hamburan (scattering)

Salah satu contoh polarisasi akibat *scattering* adalah fenomena yang terjadi pada langit biru. Warna di langit diciptakan oleh cahaya yang terhambur (*scattering*), yaitu istilah teknis untuk cahaya yang yang "dipantul-pantulkan" ke segala arah dengan acak oleh sesuatu. Prosesnya dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Polarisasi oleh hamburan cahaya pada atmosfer di langit (Wehner, 2001)

Cahaya matahari yang 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).

2.2.3. Menghitung Status Polarisasi Cahaya

Polarisasi cahaya parsial linier dapat diukur pada level piksel dengan mentransmisikan radiasi cahaya melalui filter polarisasi. Radiasi cahaya ini akan bervariasi secara sinusoidal sesuai dengan orientasi

filter. Hal ini sesuai dengan riset yang telah dikerjakan oleh *Wolf (1997)* yang dapat dilihat dalam persamaan di bawah ini.

Fase Polarisasi :

$$\theta = 0.5 * \arctan ((I_0 + I_{90} - 2I_{45}) / I_{90} - I_0) \quad (1)$$

$$\text{Jika } I_{90} < I_0 \text{ [if } (I_{45} < I_0) \theta = \theta + 90 \text{ selain itu } \theta = \theta + 90] \text{ Intensitas } I = I_0 + I_{45} \quad (2)$$

Polarisasi parsial atau derajat polarisasi :

$$P = (I_{90} - I_0) / (I_{90} + I_0) \cos 2\theta \quad (3)$$

Dimana I_0 , I_{45} dan I_{90} adalah representasi pengukuran citra intensitas yang diambil pada sudut 0 , 45 dan 90 di lensa polarizer.

Polarisasi cahaya pun dapat dihitung dengan memanfaatkan stokes parameter. Ini dilakukan berdasarkan riset yang dilakukan oleh *Morel (2007)*. Metode ini akan meningkatkan detail informasi polarisasi yang bisa ditangkap. Mereka memanfaatkan metode *least mean square* terhadap rangkaian citra intensitas dengan sudut α lensa polarizer yang berbeda. Persamaan di bawah ini yang digunakan untuk menghitung status polarisasi dengan metode ini.

$$I_p(\alpha) = \frac{1}{2}(S_0 + S_1 \cos 2\alpha + S_2 \sin 2\alpha) \quad (4)$$

Dengan mengetahui S_0 , S_1 dan S_2 kita bisa menghitung status polarisasi dengan persamaan di bawah ini.

$$\left\{ \begin{array}{l} I = S_0 \\ \rho = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{S_0} \\ \varphi = \arctan \frac{S_2}{S_1} \end{array} \right. \quad (5)$$

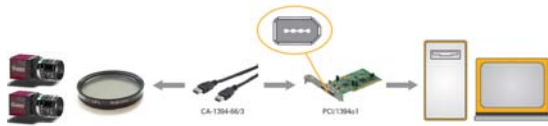
3. Sistem Pencitraan untuk menangkap Citra Terpolarisasi

Elemen utama sistem pencitraan untuk aplikasi penangkap polarisasi meliputi kamera, lensa polarizer dan antarmuka komputer (biasanya menggunakan port USB atau port firewire IEEE 1394).

3.1. Akuisisi Optik-mekanik dan Optik-elektronik

Skenario pengambilan citra terpolarisasi umumnya dilakukan dengan mengambil citra minimal tiga kali (*Wolff, 1995*) atau lebih, dengan filter polarisasi diset pada sudut yang berbeda-beda orientasinya. Jika hanya mengambil tiga citra, biasanya orientasi polarizer diset pada 0° , 45° dan 90° . Namun jika lebih dari dari itu, polarizer stepnya diatur dengan perbedaan mulai 5° , 10° dan seterusnya sesuai dengan keperluan.

Namun, perputaran mekanis filter optik di depan kamera yang rentan terhadap pergeseran geometris proyeksi citra pada bidang fokus dan dapat menimbulkan variasi intensitas pada cahaya, membuat para peneliti mengembangkan filter polarizer yang berotasi secara otomatis dengan memanfaatkan perangkat elektronik (Wolff & Andreou, 1995) dan (Miyazaki, et al. 2005).



Gambar 6. Konfigurasi dasar Akuisisi citra dengan komputer

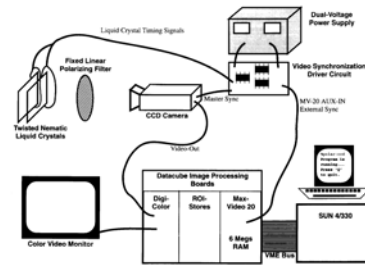
Oleh karena itu, jika melihat dari bagaimana konfigurasi optik dilakukan, kita dapat membagi teknik ini menjadi dua bagian, yaitu teknik akuisisi citra optik-mekanik dan akuisisi citra optik-elektronik. Pada akuisisi citra optik-mekanik, para peneliti menggunakan kamera dengan menambahkan komponen filter polarisasi linier yang dapat dirotasikan secara mekanis di depan lensa kamera tersebut. Desain kamera seperti ini kemudian digunakan untuk menangkap beberapa jenis citra obyek yang sama dengan orientasi polarisasi yang berbeda, dengan cara mengubah orientasi filternya. Perhitungan polarisasi dengan cara ini paling tidak membutuhkan 3 jenis komponen citra terpolarisasi yang berbeda, biasanya dengan sudut 0° , 45° dan 90° . Namun, jika tidak dilakukan dengan teliti, cara rotasi mekanis ini dapat menyebabkan terjadinya pergeseran geometrik penampilan proyeksi citra pada kamera, yang menghasilkan kesalahan yang signifikan dalam pengukuran parameter polarisasi (Wolff, 1995).



Gambar 7 Akuisisi Optik-mekanik menggunakan Polarizer rotator

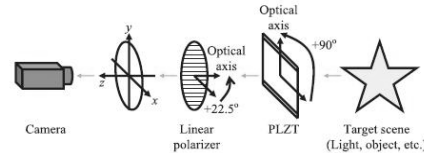
Sedangkan pada akuisisi citra optik-elektronik, kamera yang digunakan dilengkapi dengan sensor yang mengatur orientasi polarisasi secara elektronik. Pada desain awal teknik ini, peneliti menggunakan liquid crystal (Wolff & Andreou, 1995), yaitu dengan memanfaatkan dua twisted nematic (TN) liquid crystal yang diletakkan di depan CCD kamera. TN adalah suatu alat elektro-optik yang akan mengendalikan komponen cahaya parsial linear polarisasi yang bergerak melaluinya. Komponen polarisasi dari citra akan segera diketahui secara seri

tanpa perlu melakukan rotasi secara mekanis filter polarisasi.



Gambar 8. Akuisisi serial menggunakan liquid crystal [] (Wolff & Andreou, 1995).

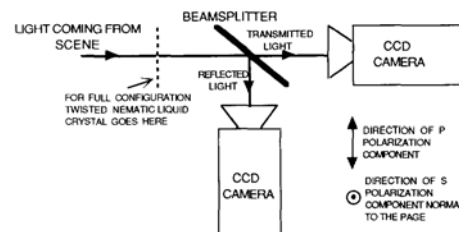
Kemudian teknik ini selanjutnya berkembang dengan mengkombinasikan kamera dengan kristal buatan yaitu PLZT yang dikenalkan pada riset []. PLZT adalah merupakan kristal buatan elektro-optik yang transparan dengan material keramik dan memiliki sifat-sifat *birefringence* (cahaya yang memiliki resolusi) yang membuat PLZT dapat berfungsi sebagai retarder dengan mengubah medan listrik.



Gambar 9. Kamera PLZT dikombinasikan dengan polarizer (Miyazaki, et al. 2005).

3.1. Akuisisi Stereo

Kebutuhan akuisisi polarisasi citra yang menuntut untuk menghasilkan sistem yang lebih baik dalam ketelitian mengarahkan perkembangan teknik pencitraan polarisasi ke sistem akuisisi stereo. Sistem stereo akan memberikan perluasan pandangan dari suatu obyek, yang memungkinkan mendapatkan informasi tidak hanya secara dua dimensi tetapi juga mendapatkan kedalaman dari suatu obyek. Hal ini sangat penting untuk aplikasi-aplikasi rekonstruksi 3D dan juga segmentasi area.



Gambar 10. Akuisisi paralel menggunakan stereo kamera dan beam splitter (Wolff & Andreou, 1995).

Riset ini pada awalnya dilakukan oleh Wolff (1995) yaitu menggunakan pasangan stereo kamera dan pemisah berkas cahaya (*beam splitter*). Pada sistem ini, setelah cahaya datang akan dipecah kedua arah dengan komponen polarisasi yang berbeda satu sama

lain ke dua CCD kamera oleh beam splitter. Satu jenis membawa informasi pantulan cahaya 45° dan satu lagi membawa informasi transmisi cahaya. Dengan 2 informasi ini, maka didapatkan 2 jenis komponen polarisasi yaitu P (komponen polarisasi paralel dengan arah cahaya datang) dan S (komponen polarisasi tegak lurus dengan arah cahaya datang).

Selain itu dalam kaitannya pemanfaatan akuisisi stereo untuk segmentasi area, Dua kamera diset dengan polarizer dilensanya digunakan untuk mendeteksi air. Teknik ini dapat ditemukan pada penelitian Pandian (2008).



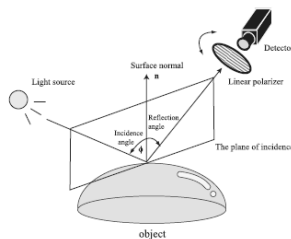
Gambar 11. Sistem Pencitraan Stereo untuk segmentasi area permukaan air

3.3. Akuisisi Citra berdasarkan Status Cahaya

Seperti yang telah dinyatakan di awal paper ini, polarisasi dapat diakibatkan oleh pantulan dan hamburan. Berdasarkan dua keadaan penyebab fenomena optik ini, para peneliti melakukan berbagai manipulasi lingkungan cahaya datang dengan mengatur sistem pencahayaan pada saat akuisisi citra.

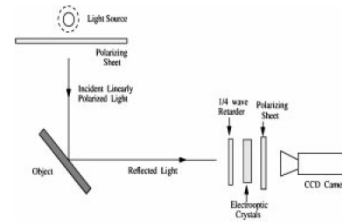
3.1.1. Akuisisi Citra terpolarisasi dari Pantulan

Metode pertama mengakuisisi citra terpolarisasi akibat pantulan dari satu sumber cahaya. Riset yang dilakukan oleh Binxie (2007) dan Megumi (1999) ini, bertujuan untuk mengestimasi bentuk dari obyek yang diobservasi. Obyek dengan informasi polarisasi kemudian dianalisis dengan menggunakan formula pantulan fresnel. Oleh karena itu, proses instalasi dilakukan dengan meletakkan sumber cahaya pada posisi yang berlawanan dengan kamera yang diberi polarizer linier di depan lensanya, Sudut cahaya datang dan sudut cahaya pantul dari obyek sama.



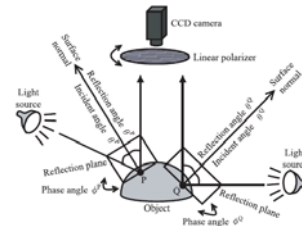
Gambar 12. Instalasi kamera polarisasi deteksi obyek transparan (Megumi,1999)

Metode ini juga diterapkan oleh Hua Chen & Wolff (1998), namun dengan menerapkan banyak filter baik dari sumber cahaya maupun dari depan kamera pengamat (gambar).



Gambar 13. Instalasi kamera polarisasi deteksi obyek transparan (Hua Chen & Wolff, 1998)

Metode selanjutnya memanfaatkan pantulan dari multi sumber cahaya. Metode ini mengambil informasi polarisasi dengan sudut pantul yang berbeda dari metode pertama. Kekurangan pencahayaan pada metode pertama diatasi dengan memberikan dua sumber cahaya dari dua titik yang berbeda, namun memiliki sudut pantul dengan arah yang sama menuju kamera dengan polarizer linier di depannya.



Gambar 14. Instalasi kamera polarisasi deteksi obyek transparan (Miyazaki, 2002)

Miyazaki (2002) dalam riset selanjutnya menambahkan sumber cahaya menjadi lebih banyak untuk untuk mendapatkan informasi yang cukup dari pantulan cahaya, untuk menganalisis obyek transparan dari dua sisi pantulannya.

3.1.1. Akuisisi Citra terpolarisasi dari Hamburan

Teknik pencitraan dari hamburan cahaya dilakukan oleh Usher et al (2001) untuk mendapatkan informasi polarisasi dari langit biru. Langkah pertama yang 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°).

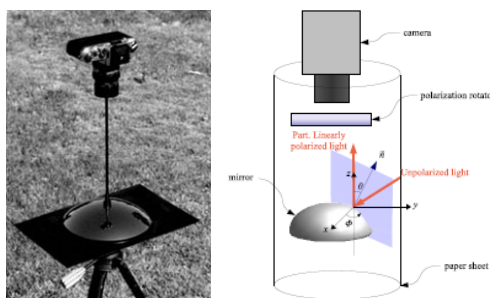
Selanjutnya, dalam penelitian yang dilakukan oleh *István Pomozi (2001)*, pengambilan citra langit dilakukan dengan menggunakan Lensa Fisheye. Pengambilan citra langit menggunakan lensa *fish-eye* ini lebih mudah dibandingkan dengan menggunakan kamera CCD biasa, karena lensa ini akan memungkinkan kita mendapatkan sudut penglihatan 180° terhadap langit. Pada kamera juga dipasang filter polarisasi linier dalam bentuk cakram yang memiliki 3 sudut polarisasi yang berbeda (0° , 45° , 90°) yang skalanya dapat diukur dengan mudah.



Gambar 15. Lensa Fisheye (kiri) cakram rotator linier polarizer (tengah) dan instalasi kamera (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 *fish-eye* vertikal dan *view-finder* kamera menghadap utara.

Kemudian, dalam penelitian yang dilakukan oleh *Dimitrios Lambrinos (2000)*, yaitu perancangan navigasi robot dengan sensor polarisasi, digunakan lensa catadioptric. Lensa ini dapat memberikan sudut penglihatan yang lebih luas dari lensa biasa bahkan dari lensa *fish-eye*. Menggunakan lensa ini untuk deteksi area langit akan memberikan area citra langit lebih dari 180° .



Gambar 16. instalasi kamera pada hamburan (*Jeffrey R. Charles, 1997*) (kiri) dan pada pantulan (kanan)

Pengambilan citra langit dilakukan dengan memasang filter polarisasi yang sama dengan yang dilakukan pada kamera lensa *fish-eye* 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. Pemanfaatan sistem catadioptric dalam sistem pencitraan untuk menangkap citra

terpolarisasi juga dapat ditemukan dalam penelitian oleh *Morel et al (2007)* dalam penelitiannya yaitu auto kalibrasi untuk sistem catadioptric, memanfaatkan pantulan cahaya.

4. Kesimpulan dan Saran

Paper ini memberikan detail tinjauan perkembangan teknik sistem pencitraan untuk menangkap citra terpolarisasi. Ringkasannya dapat dilihat pada tabel 1 pada lampiran. Kumpulan teknik sistem pencitraan untuk menangkap citra terpolarisasi ini dapat dikategorikan dalam lima bagian, yaitu teknik berdasarkan :

- Status cahaya datang (terdiri dari pantulan atau hamburan cahaya),
- set filter (mekanik dan elektronik),
- kuantitas kamera yang digunakan (kamera tunggal, kamera stereo),
- jenis lensa yang digunakan (lensa biasa, lensa fish eye, dan sistem Catadioptric),
- metode ekstraksi informasi polarisasi (menghitung tiga citra intensitas dengan orientasi berbeda dan menghitung stokes vektor).

Kumpulan teknik ini adalah penelitian awal penulis dalam mengembangkan polarimetri dengan menggunakan sistem stereo dan diharapkan dapat membantu peneliti lainnya di bidang visi komputer pada area optik ini. Kami percaya, bahwa peningkatan kemampuan memilih konfigurasi sistem pencitraan akan menghasilkan potensi besar dalam menghasilkan citra sesuai dengan yang diinginkan.

Daftar Pustaka

Anonym, "Camera parameters Maximizing the image quality", White book, <http://www.Imagingsource.com>, 2008.

Anonym, "Common Obstacles In Night Photography", Picture <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/night-photography.htm>, January, 2008.

Miyazaki, Daisuke et al., *Polarization-based shape estimation of Transparent Objects by using Raytracing and PLZT Camera*, SPIE's International Symposium on Optics and Photonics, Vol. 5888, pp. 1-14, Aug. 2005.

Miyazaki, Daisuke et al., Masataka Kagesawa, Katsushi Ikeuchi. "Determining Shapes of Transparent Objects from Two Polarization Images," in Proceedings of IAPR Workshop on Machine Vision Applications, pp.26-31, 2002.

Dimitrios Lambrino, A mobile robot employing insect strategies for Navigation, Robotics and Autonomous System, 30:39-64, Elsevier, 2000

H. Pan B. Xie, Z. Xiang and J. Liu. *Polarization-based water hazard detection for autonomous off-*

road navigation. In Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Diego, CA, USA, Nov 2007.

Hua Chen and L.B.Wolff, *Polarization Phase-Based Method For Material Classification In Computer Vision*, International Journal of Computer Vision 28(1), 73-83, 1998.

István Pomozi1 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, 2001.

Jeffrey R. Charles, *Portable All-sky Reflector with Invisible Axial Camera Support*, RTMC Proceedings, 1988

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, 1969.

Konnen, G. P.. *Polarized Light in Nature*, Cambridge:Cambridge University Press, 1985.

L.B.Wolff and T.A. Mancini. *Liquid crystal polarization camera*. In Proc. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pages 120-127. IEEE Computer society press, 1992.

L.B.Wolff, Andreas Andreou, *Polarization Camera Sensor*, Image & Vision Computing, Vol 13, sevier Science, 497-510, 1995

L.B.Wolff, “*Applications of Polarization Camera Tecnology*”, IEEE Expert 0885-9000/95, 1995

L.B.Wolff, “*Polarization Vision : a new sensory approach to Image Understanding*”, Image and Vision Computing Elsevier Journal, Vol 15, 1997.

Megumi, Saito., *Measurement of Surface Orientations of Transparent Objects Using Polarization in Highlight*, IEEE, 1999.

Morel, O.Fofi, D., *Calibration of Catadioptric Sensors by Polarization Imaging*, Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference, 2007

P. Terrier, *A Self Calibrated Image Acquisition System for Polarization Estimation*, PSIP Journal, 2001.

Pandian, Arun Kumar. *Robot navigation using stereo vision and Polarization imaging*. VIBOT Master thesis, 2008.

Usher, Kane et all, *A Camera as a Polarized Light Compass : Preliminary Experiment*, Proceeding Australian Conference on Robotics and Automation, 2001.

Wehner, Rudiger, *Polarization Vision – A Uniform Sensory Capacity ?*, The Journal of Experimental Biology 204, 2001

Lampiran

Sumber	Pantulan	A											
	Hamburan	B											
Set Filter	Mekanik	C											
	Elektronik	D											
Kuantitas Kamera	Kamera tunggal	E											
	Kamera Stereo	F											
Metode Status Polarisasi	Intensitas 3 alfa Pol.	G											
	Stokes vektor	H											
Jenis Lensa	Lensa binocular	I											
	Lensa fish eye	J											
	catadioptric	K											

No.	Sistem Pencitraan Polarisasi	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
1.	L.B. Wolff (1992)			X		X		X		X		X
2.	L.B. Wolff, Andreou (1995)			X		X	X		X			X
3.	L.B. Wolff (1997, 1998)			X		X		X	X			X
4.	Megumi (1999)			X		X		X			X	
5.	Miyazaki (2002)			X		X		X				X
6.	Miyazaki (2005)			X		X		X	X			X
7.	Lambrino et all (2000)	X				X		X	X		X	
8.	Pomozi1 et all (2001)		X									
9.	Wehner (2001)			X		X		X				X
10.	Usher et al(2001)			X		X		X	X		X	
11.	Morel et al (2006)	X			X			X		X		X
12.	B. Xie (2007)					X		X		X		X
13.	Pandian (2008)					X	X			X		X

Tabel 1. Perbandingan Sistem Pencitraan untuk Polarisasi cahaya