

ANALISIS PERBANDINGAN METODE DEMOSAICING PADA CITRA HASIL KOREKSI RADIOMETRI

(COMPARATIVE ANALYSIS OF DEMOSAICING METHODS ON RADIOMETRIC CORRECTED IMAGE)

Sartika Salaswati, Patria Rachman Hakim, dan A. Hadi Syafrudin
Pusat Teknologi Satelit, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)
Pos El : sartika.salas@gmail.com

Abstrak

Satelit Lapan-A2 dan Lapan-A3 memiliki sebuah kamera matriks digital sebagai salah satu muatannya. Kedua kamera tersebut menggunakan filter Bayer sebagai Color Filter Array (CFA). Beberapa metode demosaicing telah tersedia untuk merekonstruksi citra mentah dengan filter Bayer tersebut, yang dapat dikelompokkan dalam metode linear dan metode non linier citra. Pada pengolahan data citra satelit Lapan-A2 dan Lapan-A3, proses demosaicing dilakukan setelah proses koreksi radiometri untuk menghilangkan efek vignetting dan menyeragamkan respon tiap piksel. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja berbagai metode demosaicing yang ada terhadap citra yang dihasilkan setelah proses koreksi radiometri. Analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa pada citra hasil pengamatan integrating sphere atau pada citra pengamatan obyek yang seragam lainnya, metode gradien tidak lebih baik dibandingkan dengan metode linear, sehingga metode linear yang lebih sederhana, cepat dan efisien sebaiknya digunakan. Sementara itu untuk citra pengamatan obyek dengan karakteristik citra yang tidak homogen, terutama citra dengan fitur tepi yang cukup banyak, metode gradien menghasilkan kinerja yang lebih baik. Kedua hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan metode demosaicing sebaiknya disesuaikan dengan jenis citra yang akan diolah, sehingga algoritma pengolah data Lapan-A2 dan Lapan-A3 akan memiliki kinerja yang lebih baik.

Kata kunci: Color Filter Array (CFA), filter Bayer, demosaicing, RGB

Abstract

Lapan-A2 and Lapan-A3 satellite has a matrix digital camera as its payload. These camera use Bayer filter as Color Filter Array (CFA). Various demosaicing methods are available to process satellite raw image based on Bayer filter, which can be categorized as linear and gradient method. In Lapan-A2/A3 satellite image processing, demosaicing process is done right after radiometric correction to minimize vignetting effect and to equalize pixel response. This research analyses performances of various demosaicing methods on image that produced by radiometric correction process. Based on analyses done, demosaicing results on integrating sphere observation image or other uniform image, linear methods produces as good as gradient methods, therefore linear methods, which generally simple, fast and efficient, should be used. Meanwhile for observation image which has non uniform characteristic, especially if the image has a lot of edges, gradient method produces a better result. Those result show that demosaicing method that used in algorithm should be based on image characteristics, so that Lapan-A2 and Lapan-A3 image processing will have a better performance.

Keywords: Color Filter Array (CFA), Bayer filter, demosaicing, RGB

1. PENDAHULUAN

Kamera matrix digital merupakan salah satu muatan yang terdapat pada satelit Lapan-A2 dan Lapan-A3. Dalam aplikasinya, kamera matrix pada satelit Lapan-A2 dan Lapan-A3 akan mengalami distorsi, baik secara radiometri maupun geometri. Oleh karena itu perlu dilakukan beberapa tahapan pengolahan data untuk menghasilkan citra yang berkualitas. Salah satu tahapan yang perlu dilakukan untuk menghasilkan citra berkualitas pada kamera matrix tersebut adalah proses demosaicing. Proses ini perlu dilakukan karena kamera matrix pada satelit Lapan-A2 dan Lapan-A3 menggunakan filter Bayer sebagai *Color Filter Array* (CFA). Dengan menggunakan CFA, setiap piksel pada citra yang dihasilkan hanya terdiri dari sebuah warna saja, dimana untuk filter Bayer memiliki pola 2x2 piksel RRGB [1][2]. Hal tersebut menyebabkan perlu dilakukannya *Color Filter Array Interpolation* atau demosaicing sebagai bagian proses koreksi data citra satelit Lapan-A2 dan Lapan-A3.

Color Filter Array Interpolation atau demosaicing merupakan salah satu bentuk pengolahan citra digital yang digunakan untuk menghasilkan *full color image* dari *incomplete color image* yang dihasilkan oleh kamera dengan CFA dengan cara mengestimasi nilai warna yang hilang untuk setiap piksel berdasarkan nilai piksel di sekitarnya [1][2][10]. Tujuan utama proses demosaicing adalah menghasilkan citra RGB dengan kualitas warna yang baik, resolusi spasial yang tinggi, kualitas fitur tepi yang tajam, dan dengan memperhatikan kompleksitas algoritma demosaicing [3].

Terdapat beberapa metode demosaicing yang dapat digunakan untuk merekonstruksi citra yang dihasilkan oleh filter Bayer, dimana metode-metode tersebut dapat dibedakan berdasarkan linearitas dan keterkaitan antar kanal citra. Berdasarkan keterkaitan antar kanal, metode demosaicing terdiri dari metode independen yang tidak melibatkan kanal lain dalam perhitungan sebuah kanal dan metode dependen yang melibatkan kanal lain dalam perhitungan sebuah kanal tertentu. Metode dependen umumnya menghasilkan kualitas hasil demosaicing yang lebih baik karena memanfaatkan informasi dari ketiga kanal yang ada [4][5]. Sementara itu berdasarkan linearitasnya, metode demosaicing terdiri dari metode linear yang relatif sederhana dan metode nonlinear (gradien) yang memperhitungkan fitur tepi pada citra. Masing-masing metode demosaicing tersebut memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing, walaupun metode dengan algoritma yang lebih kompleks umumnya memberikan hasil yang lebih baik.

Remi Jean, dalam penelitiannya secara tersirat menunjukkan bahwa metode bilinear interpolation menghasilkan hasil yang lebih baik untuk citra yang memiliki sedikit fitur tepi sementara pada citra yang memiliki banyak fitur tepi metode high quality linear interpolation akan menghasilkan citra yang lebih baik [6]. Sementara itu, Rami Cohen menyarankan penggunaan metode gradient bilinear karena memiliki tingkat kompleksitas yang cukup rendah, walaupun kualitas citra yang dihasilkan tidak sebaik beberapa metode lainnya [7]. Kedua hal tersebut menunjukkan bahwa untuk citra dengan karakteristik tertentu, metode yang lebih kompleks tidak menjamin menghasilkan citra yang lebih baik, sehingga metode yang lebih sederhana dapat digunakan untuk mengurangi beban komputasi dalam pengolahan citra tersebut.

Citra kamera yang dihasilkan oleh satelit khususnya pada satelit Lapan-A2 dan Lapan-A3 nantinya akan menghasilkan *view* gambar yang berbeda, seperti citra wilayah perkotaan (urban) maupun wilayah alam. Akan tetapi pada pembahasan ini gambar citra akan dibedakan menjadi citra *uniform* dan citra *non uniform* khususnya citra dengan fitur tepi yang cukup banyak. Berdasarkan hipotesis, hasil demosaicing kedua citra dengan metode yang sama akan menghasilkan kualitas yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui metode demosaicing yang tepat untuk gambar citra dengan karakteristik tertentu. Dengan diketahui metode demosaicing yang tepat untuk gambar citra tertentu diharapkan akan dicapai efisiensi kinerja dalam proses koreksi radiometri pada citra kamera satelit Lapan-A2 dan Lapan A3.

Pada dasarnya penelitian mengenai demosaicing telah banyak dilakukan, akan tetapi penelitian ini lebih menekankan pada analisis metode demosaicing yang nantinya akan digunakan untuk mengolah citra kamera matrix satelit Lapan-A2 dan Lapan-A3. Selain itu penelitian ini juga berfokus pada dua jenis karakteristik citra, yaitu citra *uniform* dan citra dengan banyak fitur tepi. Hasil dari penelitian ini nantinya diharapkan dapat digunakan sebagai acuan proses pengolahan gambar citra kamera matrix satelit Lapan A2 dan Lapan A3.

2. METODOLOGI

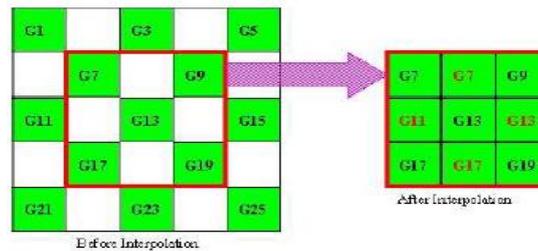
Metode demosaic yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua kelompok yaitu metode linier dan metode non linier. Metode demosaic linier yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode nearest-neighbour interpolation dan bilinear interpolation. Sementara metode demosaic non linier yang digunakan yaitu metode gradient based interpolation. Disamping itu, juga digunakan fungsi demosaic yang sudah tersedia dalam software MATLAB. Proses demosaic dilakukan dengan menggunakan software MATLAB dengan dua jenis input gambar citra, citra *uniform* dan *non uniform* (citra dengan banyak fitur tepi). Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, citra yang digunakan memiliki pola Bayer dengan konfigurasi RGGB seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2-1 berikut.

R11	G12	R13	G14	R15	G16
G21	B22	G23	B24	G25	B26
R31	G32	R33	G34	R35	G36
G41	B42	G43	B44	G45	B46
R51	G52	R53	G54	R55	G56
G61	B62	G63	B64	G65	B66

Gambar 2-1 Konfigurasi Pola Bayer RGGGB

2.1. Nearest-neighbour interpolation

Nearest-neighbour interpolation adalah metode demosaic yang menggunakan nilai pixel terdekat untuk mengisi nilai yang kosong pada suatu pixel [7]. Metode ini merupakan metode demosaic yang paling sederhana dan dapat diimplementasikan dengan sangat cepat, tetapi secara umum tidak memberikan hasil yang terbaik.



Gambar 2-2 Interpolasi nearest neighbour [9]

2.2. Bilinier interpolation

Bilinear interpolation adalah metode demosaic yang menggunakan nilai rata-rata empat kanal terdekat dari pixel untuk mengisi nilai yang kosong pada suatu pixel [6].

Pixel R33 :

$$\begin{aligned} \text{Red} &= R33 \\ \text{Green} &= \frac{(G23+G34+G32+G43)}{4} \\ \text{Blue} &= \frac{(B22+B24+B42+B44)}{4} \end{aligned}$$

Pixel B44 :

$$\begin{aligned} \text{Blue} &= B44 \\ \text{Green} &= \frac{(G34+G43+G45+G54)}{4} \\ \text{Red} &= \frac{(R33+R35+R53+R55)}{4} \end{aligned}$$

Pixel G43 :

$$\begin{aligned} \text{Green} &= G43 \\ \text{Red} &= \frac{(R33+R53)}{2} \\ \text{Blue} &= \frac{(B42+B44)}{2} \end{aligned}$$

Pixel G34 :

$$\begin{aligned} \text{Green} &= G34 \\ \text{Red} &= \frac{(R33+R35)}{2} \\ \text{Blue} &= \frac{(B24+B44)}{2} \end{aligned}$$

Selain metode bilinear, terdapat beberapa metode lain yang sejenis yang juga berfungsi sebagai filter smoothing, diantaranya adalah metode demosaic bicubic interpolation dan metode dengan orde yang lebih tinggi lagi. Tetapi karena beberapa metode tersebut memiliki konsep yang sama, pada penelitian ini hanya digunakan metode bilinear saja.

2.3. Gradient based interpolation

Terdapat tiga tahapan dalam metode ini yaitu menentukan nilai *luminance* di setiap pixel, kemudian pada tahapan kedua dan ketiga dilakukan tahapan interpolasi. Nilai *luminance* yang diperoleh merupakan nilai kanal green di setiap pixelnya, sehingga pada kanal red dan blue perlu dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk menentukan nilai *luminancenya*. Untuk menentukan *luminance* pada kanal red dan blue perlu diketahui *vertical edge* (α) dan *horizontal edge* (β) [6].

Pixel B44 :

$$\alpha = \text{abs} [(B42+B46) / 2 - B44]$$

$$\beta = \text{abs} [(B24+B64) / 2 - B44]$$

$$\text{if } \alpha < \beta, G44 = (G43+G45) / 2$$

$$\text{if } \alpha > \beta, G44 = (G34+G54) / 2$$

$$\text{if } \alpha = \beta, G44 = (G43+G45+G34+G54) / 4$$

Pixel R33:

$$\alpha = \text{abs} [(R31+R35) / 2 - R33]$$

$$\beta = \text{abs} [(R13+R53) / 2 - R33]$$

$$\text{if } \alpha < \beta, G33 = (G32+G34) / 2$$

$$\text{if } \alpha > \beta, G33 = (G23+G43) / 2$$

$$\text{if } \alpha = \beta, G33 = (G32+G34+G23+G43) / 4$$

Setelah *luminance* diketahui di setiap pixel kemudian dilakukan perhitungan selisih antara nilai kanal pada suatu pixel dengan nilai *luminancenya*. Dari nilai tersebut dapat ditentukan nilai kanal lainnya.

$$Dxy = Cxy - Lxy \text{ (C: red/blue tergantung pixel yang dihitung, L:luminance)}$$

Red :

$$R34 = G34 + (D33+D35)/2$$

$$R43 = G43 + (D33+D35)/2$$

$$R44 = G44 + (D33+D35+D53+D55)/4$$

Blue :

$$B34 = G34 + (D24+D44)/2$$

$$B43 = G43 + (D42+D44)/2$$

$$B33 = G33 + (D22+D24+D42+D44)/4$$

2.4. Demosaic MATLAB

Fungsi demosaic di dalam software MATLAB sudah tersedia dalam satu fungsi khusus. Fungsi ini dapat digunakan untuk beberapa bayer pattern yaitu ‘gbrg’, ‘grbg’, ‘bggr’, ‘rggb’. Akan tetapi, pada dasarnya fungsi demosaic dalam software MATLAB berdasar pada metode gradient-corrected linear interpolation [8].

Beberapa metode demosaic tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menginterpolasi citra hasil kamera dengan filter Bayer RGGB. Citra yang digunakan terdiri dari beberapa jenis, yaitu citra dummy, citra hasil koreksi radiometri dan citra observasi lapangan. Selanjutnya kinerja seluruh metode tersebut dibandingkan untuk suatu karakteristik citra tertentu. Dalam penelitian ini, hanya digunakan dua tipe citra yaitu citra homogen dan citra heterogen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Data Citra Dummy

Pada pengujian dengan menggunakan data citra dummy, data citra bayer yang akan di-demosaic diperoleh dari sebuah gambar RGB dengan cara mensampling gambar tersebut sesuai dengan pola filter Bayer RGGB. Data citra dummy digunakan untuk mengetahui kualitas metode demosaicing yang digunakan, karena nilai referensi seluruh warna untuk setiap piksel telah diketahui sebelumnya. Dengan demikian, citra demosaic yang dihasilkan dapat dibandingkan dengan data citra yang sebenarnya. Salah satu contoh hasil demosaic untuk sebuah citra dummy dapat dilihat pada Gambar 3-3-1 berikut, sedangkan data nilai error intensitas piksel yang dihasilkan oleh setiap metode untuk beberapa citra yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3-1.



Gambar 3-1 Hasil demosaic data citra dummy

Tabel 3-1 Data kualitas hasil demosaic untuk pengujian citra dummy

Metode	PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)				
	Citra1	Citra2	Citra3	Citra4	Citra5
Nearest Neighbour	30.635	31.589	25.827	25.910	29.220
Bilinear	35.824	37.448	30.496	30.356	37.633
Gradien	36.024	40.606	36.608	33.346	37.308
Demosaic Matlab	41.339	42.811	38.390	37.072	43.032

Secara umum dari seluruh hasil pengujian yang telah dilakukan, metode demosaic Matlab memberikan hasil yang paling baik. Sementara itu metode nearest-neighbour memberikan hasil yang paling buruk. Hal tersebut sangat memungkinkan karena metode demosaic Matlab menggunakan algoritma yang relative lebih kompleks dibandingkan dengan metode lainnya.

3.2. Pengujian Data Uji Terbang Space Cam

Pengujian kedua dilakukan dengan menggunakan data citra observasi sesungguhnya. Data citra tersebut diperoleh dari uji terbang kamera dengan menggunakan pesawat udara dengan ketinggian kurang lebih 1 km. Walaupun karakteristik citra yang dihasilkan tersebut akan berbeda dengan citra yang diperoleh dari satelit, tetapi diasumsikan citra tersebut merepresentasikan citra satelit sesungguhnya yang akan di-demosaic. Dari sekian banyak data citra yang diperoleh saat uji terbang, penelitian ini akan menggunakan beberapa citra yang dapat dikelompokkan dalam beberapa jenis, yaitu wilayah pepohonan (hutan), wilayah perairan (pantai), wilayah perkotaan, dan wilayah persawahan. Hasil demosaic yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah dan data PSNR yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 3-2 berikut.



(a)



(b)

Gambar 3-2 Hasil demosaic data uji terbang; (a) perkotaan, (b) persawahan

Tabel 3-2 Data kualitas hasil demosaic untuk citra uji terbang
PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)

Jenis Citra	Nearest	Bilinear	Gradien	Matlab
Perumahan-1	31.623	37.852	44.311	44.962
Perumahan-2	32.262	38.475	44.653	45.047
Perumahan-3	32.577	38.775	44.824	45.389
Pepohonan-1	34.017	39.159	45.113	46.212
Pepohonan-2	35.133	40.409	45.964	46.105
Pepohonan-3	33.954	39.385	45.403	46.523
Persawahan-1	39.475	44.373	49.232	50.472
Persawahan-2	43.621	47.122	50.987	51.801
Persawahan-3	45.062	48.543	51.496	51.783
Perairan-1	45.319	47.706	51.405	52.894
Perairan-2	45.984	49.000	51.674	53.140
Perairan-3	43.896	47.770	51.037	51.525

Tampak bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan beberapa fenomena yang berbeda. Untuk wilayah perairan dan persawahan, dimana citra bersifat homogen, seluruh metode demosaic memberikan hasil yang cukup baik, dengan error RMS berada di sekitar 1 DN, termasuk metode nearest neighbour. Sementara itu, untuk citra wilayah perumahan dan juga pepohonan yang heterogen, dimana banyak sekali terdapat fitur tepi seperti gedung dan jalan, metode gradient dan demosaic Matlab jauh mengungguli beberapa metode lainnya. Metode bilinear memiliki nilai error yang cukup signifikan yaitu di atas 2 DN dan metode nearest neighbour memberikan hasil yang sangat buruk dengan error sebesar hampir mendekati 5 DN.

3.3. Analisis

Pengujian dengan menggunakan data dummy menunjukkan bahwa kualitas citra hasil demosaic dipengaruhi oleh kompleksitas algoritma yang digunakan. Semakin canggih algoritma yang digunakan, seperti metode Matlab dan metode gradient, maka akan semakin bagus pula kualitas citra yang dihasilkan. Hal tersebut disebabkan karena citra dummy lebih cenderung bersifat non-uniform, sehingga terdapat banyak fitur tepi pada citra tersebut. Beberapa metode linear sederhana, seperti metode nearest neighbour atau metode bilinear, tidak mampu menginterpolasi wilayah tepi tersebut dengan baik, karena pada dasarnya metode linear tersebut lebih bersifat sebagai filter smoothing yang akan mengurangi kekontrasan sebuah obyek. Di lain pihak, metode gradient dapat menerapkan perlakuan khusus untuk piksel-piksel yang berada di sekitar tepi tersebut, dimana dengan informasi fitur tepi yang dimiliki dapat menentukan arah gradient perhitungan untuk piksel tersebut.

Pengujian kedua dengan menggunakan citra hasil uji terbang memberikan gambaran bahwa sebuah metode demosaic saja tidak dapat memberikan kinerja optimal pada seluruh jenis citra. Pada wilayah uniform seperti persawahan, pantai dan wilayah perairan lainnya, seluruh metode memberikan

hasil yang sangat baik. Jadi untuk citra dengan karakteristik tersebut, sebaiknya digunakan metode demosaic yang sederhana karena akan mengurangi beban komputasi. Walaupun demikian, untuk citra wilayah lain seperti wilayah perkotaan dan wilayah heterogen lainnya, metode sederhana tersebut memberikan hasil yang relatif buruk, sehingga diperlukan metode demosaic yang lebih kompleks untuk dapat menghasilkan citra dengan kualitas yang lebih optimal, seperti metode gradien atau metode demosaic Matlab.

Dengan mengetahui perbedaan kinerja setiap metode demosaic terhadap citra dengan karakteristik yang berbeda, maka diharapkan proses demosaic dalam pengolahan data satelit Lapan-A2 dan Lapan-A3 dapat dilakukan dengan lebih optimal, baik dalam hal kualitas citra maupun waktu pengolahan yang dibutuhkan. Satu hal yang perlu diperhatikan adalah penentuan jenis citra yang akan diolah, apakah citra tersebut bersifat uniform atau tidak. Hal tersebut membutuhkan suatu algoritma tersendiri yang tidak dibahas dalam penelitian ini, tetapi perlu diperhatikan bahwa algoritma penentuan tersebut hendaknya tidak memberatkan proses pengolahan citra secara keseluruhan. Karena jika algoritma penentuan jenis citra tersebut cukup kompleks, maka salah satu tujuan utama penelitian ini yaitu melakukan proses demosaic citra dengan efisien menjadi tidak tercapai.

4. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- Citra dengan karakteristik homogen dapat diinterpolasi dengan baik menggunakan metode demosaic yang sederhana seperti metode nearest neighbour dan bilinear
- Proses demosaic untuk citra dengan karakteristik yang heterogen atau memiliki banyak fitur tepi sebaiknya menggunakan metode gradien atau metode nonlinear lainnya
- Citra observasi satelit dapat dibedakan berdasarkan karakteristik homogenitasnya, seperti wilayah perairan, persawahan, perumahan dan pepohonan
- Untuk mengoptimalkan proses pengolahan data, masing-masing jenis karakteristik citra satelit tersebut dapat diolah dengan menggunakan metode demosaic yang berbeda bergantung pada tingkat homogenitas citra tersebut
- Berdasarkan citra hasil uji terbang yang dilakukan, citra wilayah perkotaan bersifat heterogen sehingga metode gradient Matlab memberikan hasil demosaic terbaik
- Hasil demosaic beberapa metode demosaic untuk citra wilayah perairan atau persawahan tidak memberikan perbedaan yang signifikan
- Proses demosaic dalam pengolahan data satelit Lapan-A2 dan Lapan-A3 sebaiknya menggunakan skema adaptif, yaitu penggunaan metode demosaic yang berbeda untuk jenis citra yang berbeda

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Ir. Suhermanto, MT., selaku Kepala Pusat Teknologi Satelit Lapan dan Bapak Wahyudi Hasbi selaku Kepala Bidang Teknologi Muatan Satelit Lapan, atas arahan dan bimbingannya sehingga karya tulis ilmiah ini dapat terselesaikan dengan baik.

PERNYATAAN PENULIS

Keseluruhan isi karya tulis ilmiah ini merupakan tanggung jawab penulis dan merupakan hasil karya penulis, semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah dinyatakan dengan benar.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Gunturk, B.K., Altunbasak, Y., dan Mersereau, R.M., *Color Plane Interpolation Using Alternating Projections*, IEEE Trans. Image Processing, Vol. 11, Hal. 997-1013, 2002.
- 2) Hirakawa, K., dan Parks, T.W., *Adaptive Homogeneity-Directed Demosaicing Algorithm*, IEEE Trans. Image Processing, Vol. 14, Hal. 360-369, 2005.
- 3) Gupta, M.R., dan Chen, T., *Vector Color Filter Array Demosaicing*, Procs. Of SPIE, Sensor and Camera Systems for Scientific, Industrial, and Digital Photography Apps, Vol. II, Hal. 374-382, 2001.

- 4) Chung, K.H., dan Chan, Y.H., *Color Demosaicing Using Variance of Color Differences*, IEEE Trans. Image Processing, Vol. 15, Hal. 2944-2955, 2006.
- 5) Pei, S.C., dan Tam, L.K., *Effective Color Interpolation in CCD Color Filter Array Using Signal Correlation*, Proceedings 2000 Internasional Conference on Image Processing, 2000.
- 6) Remi Jean, *Demosaicing with The Bayer Pattern*, Department of Computer Science, University of North Carolina, 2002.
- 7) Rami Cohen, *Demosaicing Algorithms*, Journal Technion, Israel Institut of Technology, 2010.
- 8) Henrique S. Malvar, Li-wei He, dan Ross Cutler. *High Quality Linear Interpolation for Demosaicing of Bayer Patterned Color Images*, Microsoft Research, 2004.
- 9) Multimedia. *Demosaicing*. Image Processing Laboratory, 2010.
- 10) R. Kimmel, *Demosaicing : Image reconstruction from color CCD samples*, IEEE Trans.on Image Processing, 8(9):1221-8, 1999.