

Metodologi Penyelesaian Masalah Awan Pada Citra Optik Inderaja

Aniati Murni, Dina Chahyati dan Farah Rohima Rohmah

Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia
e-mail: aniati@cs.ui.ac.id

Abstrak - Makalah ini menyajikan suatu metodologi penyelesaian masalah awan pada citra optik inderaja, dengan pendekatan citra optik multitemporal dan pendekatan citra multisensor (yaitu citra optik dan citra radar). Masalah utama dari penggunaan citra optik adalah adanya gangguan awan, termasuk adanya awan permanen dan daerah awan tipis atau berkabut. Kebutuhan restorasi daerah tutupan awan pada bagian citra, tidak hanya diperlukan pada tingkat tinggi (tingkat citra tematik) tetapi juga pada tingkat rendah (tingkat citra mentah). Metodologi yang diajukan memuat beberapa skema penyelesaian masalah awan pada tingkat citra mentah maupun tingkat citra tematik, kondisi awan permanen ataupun daerah tutupan awan tipis. Pendekatan yang digunakan terdiri dari penggunaan teknik mosaik, fusi data, dan sintesa data. Citra bebas awan sebagai hasil restorasi mempunyai karakter tampak asli (khusus untuk pendekatan sintesa), distribusi tingkat keabuan yang konsisten, serta ketelitian klasifikasi yang optimal.

Kata kunci : penginderaan jarak jauh (inderaja), multitemporal, multisensor, citra tematik, registrasi, restorasi, klasifikasi, mosaik, fusi, sintesa, matriks kookuren

Makalah diterima [10 April 2001]. Revisi akhir [28 April 2001]

1. PENDAHULUAN

Teknologi penginderaan jarak jauh (inderaja) telah digunakan di Indonesia untuk tujuan pengelolaan sumber daya alam sejak program ERTS-1 diorbitkan pada tahun 1972. Citra sensor optik relatif mudah diinterpretasi dan sistem pengolahan standarnya telah banyak dijumpai di pasaran [1,2]. Masalah utama dari

penggunaan citra optik adalah adanya gangguan tutupan awan [3]. Suatu laporan menyebutkan bahwa dari hasil perekaman data antara tahun 1974 sampai dengan 1984, jumlah data dengan tutupan awan yang kurang dari 10% adalah sangat minimal [4]. Kebutuhan restorasi tutupan awan pada bagian citra, tidak hanya diperlukan pada tingkat tinggi setelah proses klasifikasi citra (tingkat citra tematik), tetapi juga pada tingkat rendah hasil rekaman sensor sistem inderaja (tingkat citra mentah).

Penyelesaian masalah awan dengan pendekatan konvensional, dilakukan dengan menggunakan citra optik multitemporal (waktu ganda) dengan letak awan yang komplemen [5,6]. Pendekatan tersebut menggunakan teknik mosaik (*cut and paste*) untuk mendapatkan citra mosaik bebas awan, baik pada tingkat citra mentah maupun tingkat citra tematik. Masalah utama dengan pendekatan ini adalah (i) adanya kemungkinan terjadi awan yang permanen (terutama di sekitar daerah ekuator dengan penutup lahan hutan tropis) dan (ii) adanya kesulitan dalam mengenali obyek penutup lahan yang tertutup awan tipis (berkabut atau *haze*). Suatu metode untuk mengenali obyek bersih kabut dan obyek tertutup kabut telah diajukan oleh [7] dengan pendekatan klasifikasi berdasarkan tekstur. Masalah yang masih tertinggal adalah adanya letak awan yang permanen.

Citra radar adalah citra bebas awan dan penggunaan teknik mosaik dengan pendekatan multisensor (sensor ganda) dapat digunakan untuk mengatasi masalah awan permanen.

Karena adanya perbedaan karakteristik antara citra optik dan citra radar, maka pendekatan multisensor dengan teknik mosaik tidak dapat dilakukan pada tingkat citra mentah, melainkan hanya dapat dilakukan pada tingkat citra tematik. Metodologi penyelesaian awan yang diajukan, mengusulkan penggunaan teknik sintesa dengan penggetaran (*dithering*) untuk mengatasi masalah awan permanen pada tingkat citra mentah.

Organisasi penulisan makalah ini adalah sebagai berikut: Bagian 1 merupakan pendahuluan dan Bagian 2 menyajikan kerangka kerja (*framework*) yang diusulkan untuk menyelesaikan masalah awan. Bagian 3 membahas teknik mosaik pada tingkat citra mentah, Bagian 4 menyajikan teknik mosaik pada tingkat citra tematik, Bagian 5 membahas teknik fusi data, dan Bagian 6 menyajikan teknik sintesa. Makalah ini ditutup dengan kesimpulan pada Bagian 7.

2. KERANGKA KERJA PENYELESAIAN MASALAH AWAN

Kerangka kerja ini dirancang dalam konteks penyelesaian masalah awan berdasarkan citra optik multitemporal dan citra multisensor optik dan radar seperti digambarkan pada Gambar 1. Skema ini diturunkan dari kerangka klasifikasi dan fusi data citra optik dan citra radar yang dirancang untuk menyelesaikan masalah awan pada proses klasifikasi penutup lahan. Pada lingkup masalah tersebut, telah diupayakan penggunaan citra radar untuk mendapatkan informasi penutup lahan dari bagian citra optik yang tertutup awan [6].

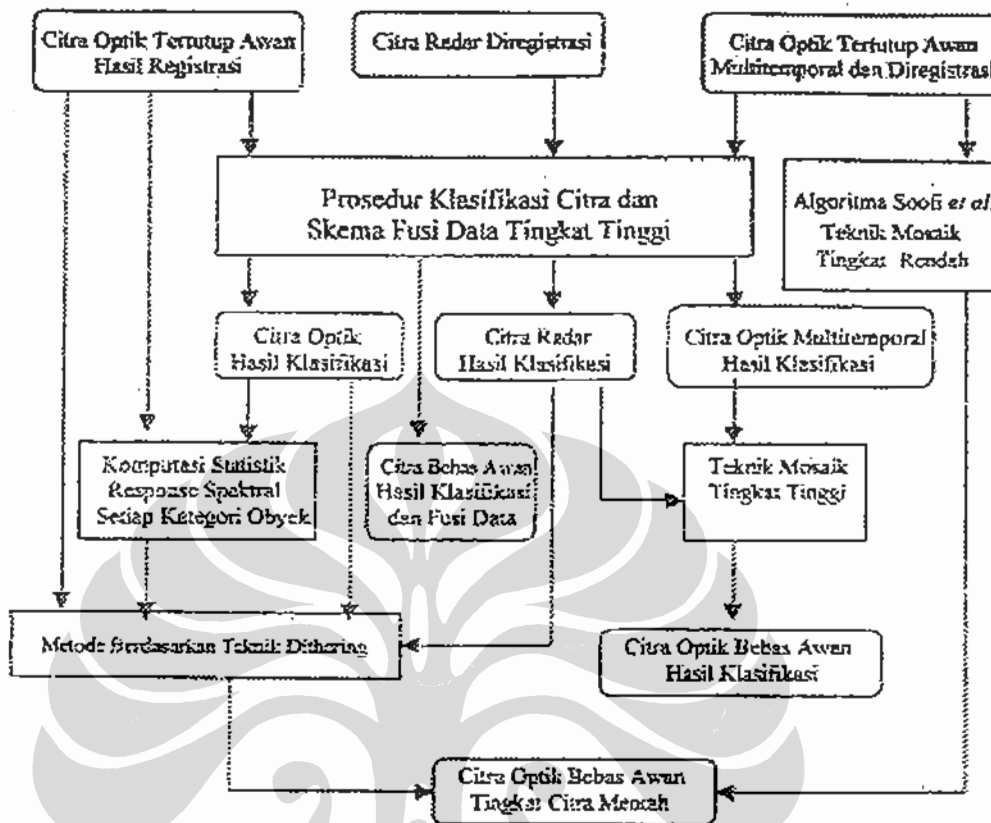
Dari kerangka tersebut dapat diturunkan empat skema penyelesaian masalah awan, yaitu: (i) penggunaan teknik mosaik pada tingkat citra mentah dengan menggunakan citra optik multitemporal; (ii) penggunaan teknik mosaik pada tingkat citra tematik menggunakan citra optik multitemporal atau

citra multisensor; (iii) penggunaan teknik fusi data pada tingkat klasifikasi (tingkat citra tematik) menggunakan citra optik multitemporal atau citra multisensor; (iv) penggunaan teknik sintesa pada tingkat citra mentah menggunakan citra sensor tunggal (optik) atau multisensor. Penggunaan citra multisensor ataupun multitemporal, memerlukan persyaratan awal dimana kedua citra masukan harus sudah diregistrasi satu terhadap lainnya.

3. TEKNIK MOSAIK PADA TINGKAT CITRA MENTAH

Algoritma Soofi dkk. [5] pada prinsipnya merupakan suatu teknik mosaik yang menyatukan bagian-bagian yang tidak tertutup awan dari dua citra optik sensor tunggal yang direkam pada waktu berbeda (multitemporal) menjadi satu citra optik bebas awan. Citra optik yang bebas awan ini baru dapat diperoleh bila letak awan pada kedua citra masukan tidak sama (komplementer) seperti digambarkan pada Gambar 2. Proses tingkat awal yang diperlukan biasanya sangat minimal dan sering tidak dilakukan. Proses tersebut merupakan proses penambahan atau pengurangan suatu konstanta terhadap nilai intensitas piksel-piksel salah satu citra. Proses ini dimaksudkan untuk menyamakan tingkat keabuan pada kedua citra.

Hasil proses ini merupakan citra mentah (biasanya mempunyai tingkat keabuan antara 0-255). Kendala terhadap hasil dari penggunaan algoritma ini adalah bila terdapat letak awan yang permanen (tidak komplementer) sepanjang waktu. Tutupan awan akan ada di tempat yang sama walaupun citra sudah direkam dalam waktu yang berbeda, sehingga hasil yang diperoleh tetap masih mengandung obyek awan. Teknik sintesa dapat digunakan untuk mengatasi letak awan yang permanen ini dan dibahas pada Bagian 6.



Gambar 1. Kerangka kerja penyelesaian masalah awan berdasarkan citra multitemporal dan multisensor.

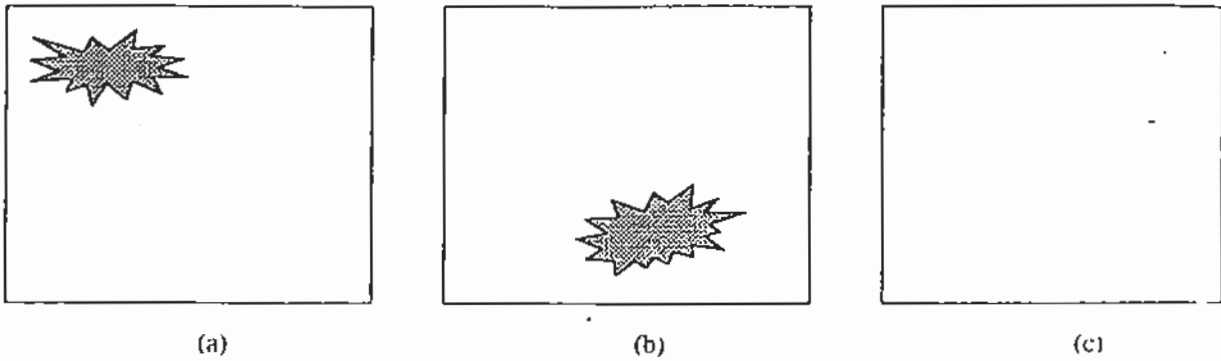
Langkah-langkah pada algoritma Soofi dkk. dapat digambarkan sebagai berikut:

Langkah 1: Tentukan nilai minimum (ll) dan nilai maksimum (hh) dari intensitas keabuan kedua citra masukan. Pada citra optik, piksel dengan intensitas ll kemungkinannya adalah air atau bayangan awan, sedangkan piksel dengan intensitas hh kemungkinannya adalah awan. Harga limit ini dapat diambil untuk setiap citra, atau dapat pula diambil untuk kedua pasangan citra masukan (misal: $ll1$ dan $ll2$ atau hanya ll).
Langkah 2: Lakukan untuk setiap piksel pada citra :

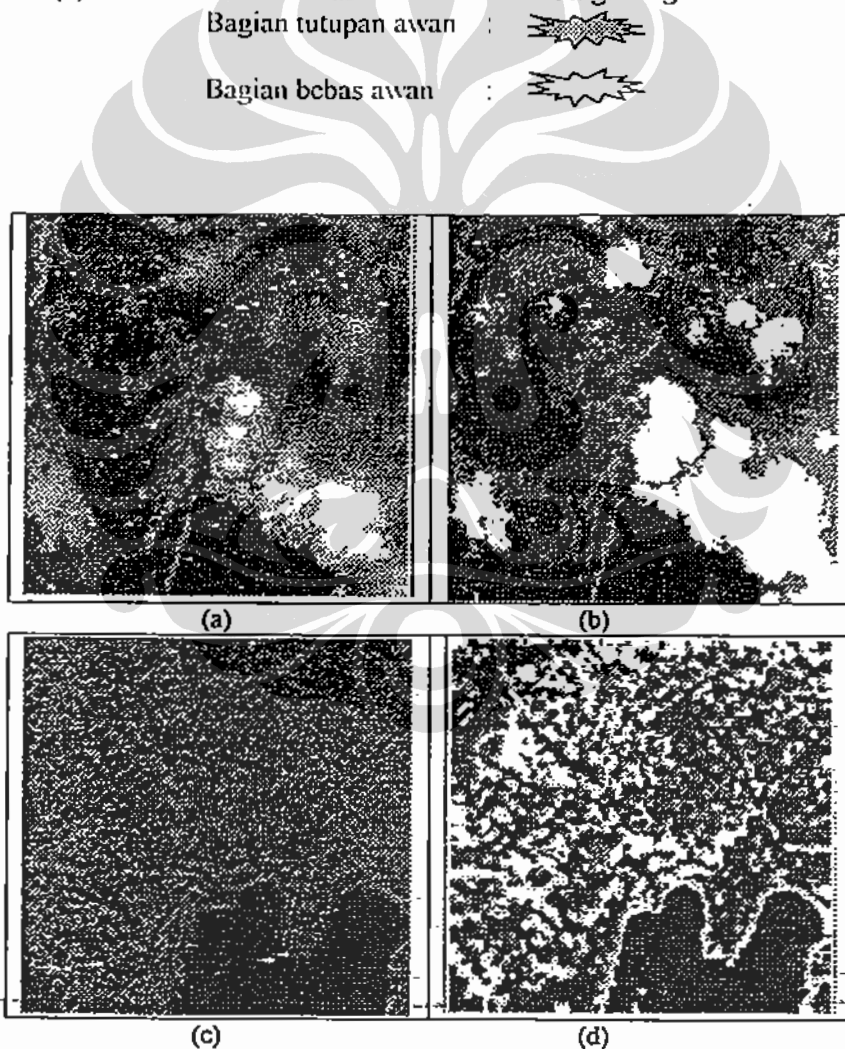
1. Tentukan nilai intensitas yang lebih rendah dari piksel kedua citra (misalkan $ld1 < ld2$);
2. Bandingkan $ld1$ dengan $ll1$ (atau ll kalau tidak ditentukan per citra);
3. Kalau $ld1 > ll1$, pilih nilai $ld1$ untuk nilai piksel baru (menghindari kemungkinan bayangan awan); bila tidak pilih $ld2$;
4. Misalkan nilai piksel baru menjadi ld ;
5. Kalau $ld < hh$, pilih nilai ld sebagai nilai akhir dari piksel baru (menghindari kemungkinan awan); bila tidak beri tanda bahwa piksel ini adalah piksel awan pada kedua citra.

Akhir proses setiap piksel.

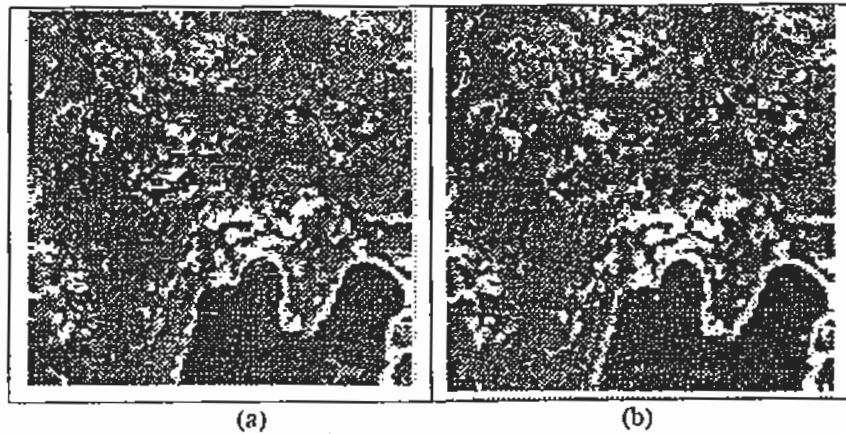
Langkah 3: Selesai.



Gambar 2. Skema ini menggambarkan contoh kondisi awan yang komplementer pada (a) Citra optik yang direkam pada waktu t_1 ; (b) Citra optik yang direkam pada waktu t_2 ; dan (c) Citra bebas awan hasil teknik mosaik dengan algoritma Soofi dkk.



Gambar 3. Citra multisensor daerah Teluk Belantung, Sumatera Selatan: (a) Citra sensor optik; (b) Citra tematik optik; (c) Citra sensor *synthetic aperture radar* (SAR); dan (d) Citra tematik SAR.



Gambar 4. (a) Hasil teknik mosaik tingkat citra tematik; dan (b) Citra tematik hasil fusi data; keduanya menggunakan masukan citra multisensor.

4. TEKNIK MOSAIK PADA TINGKAT CITRA TEMATIK

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa skema citra optik multitemporal juga dapat digunakan untuk penyelesaian awan pada tingkat citra tematik. Dalam hal ini masing-masing citra diklasifikasi lebih dahulu menjadi wilayah-wilayah kelas obyek penutup lahan (disebut juga sebagai citra tematik). Dengan teknik mosaik, bagian-bagian awan pada citra yang satu diganti dengan bagian bukan awan yang diambil dari citra yang lainnya. Skema operasinya sama dengan Gambar 2, hanya ketiga citra tersebut sudah merupakan citra tematik dimana setiap pikselnya mempunyai nilai antara 1 – N . Dalam hal ini, N merupakan jumlah kategori obyek penutup lahan yang ada pada citra tersebut.

Teknik mosaik pada tingkat citra tematik ini dapat juga dilakukan pada konteks multisensor, dimana masukannya adalah citra optik tematik dan citra radar tematik. Pendekatan ini dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah awan permanen. Penggunaan teknik mosaik dengan citra multisensor pada tingkat citra mentah akan menghasilkan citra mosaik dengan karakteristik yang diskontinyu, karena itu tidak dapat dilakukan. Gambar 3 menunjukkan citra

masukan multisensor dengan masing-masing citra tematiknya, dan Gambar 4(a) menunjukkan hasil teknik mosaik tingkat citra tematik yang diperoleh dari citra multisensor. Dapat dilihat bahwa bayangan awan di sudut kiri bawah yang diinterpretasi sebagai air (karena mempunyai tingkat keabuan yang sama dengan tingkat keabuan air) tidak dapat direstorasi. Kelemahan ini ternyata dapat diatasi dengan pendekatan teknik fusi data yang dibahas di Bagian 5.

5. TEKNIK FUSI DATA

Pada proses fusi data, masukan citra yang digunakan dapat berupa citra optik multitemporal atau citra multisensor. Masing-masing citra masukan diklasifikasi, dan penentuan kategori obyek final dari setiap piksel yang diamati dilakukan berdasarkan hasil keputusan konsensus antara hasil proses klasifikasi piksel masing-masing citra masukan.

Berikut adalah contoh penggunaan aturan keputusan berdasarkan probabilitas posterior $p(\omega_i | x)$ dan fungsi kerapatan probabilitas $p(x | \omega_i)$ pada proses klasifikasi masing-masing citra masukan. $p(x | \omega_i)$ menyatakan probabilitas sample atau pola x termasuk dalam

kategori kelas obyek ke i (ω_i). Harga probabilitas posterior $p(\omega_i | x)$ untuk setiap piksel dapat dihitung berdasarkan model fungsi kerapatan probabilitas (*probability density function*) yang dipilih, dengan estimator yang ditentukan berdasarkan himpunan sample pembelajaran (*training sample set*).

Untuk citra optik biasanya digunakan model Gaussian berdasarkan estimator rata-rata dan varian (*mean* dan *variance*) yang dapat dinyatakan dengan persamaan (1), dimana \bar{x} adalah vector ciri data piksel, d adalah dimensi ciri, dan ω_i adalah kategori obyek ke i ; sedangkan $\bar{\mu}_i$ dan Σ_i adalah vektor rata-rata dan matriks kovarian obyek ke i yang digunakan sebagai dasar acuan untuk menentukan kelas obyek suatu piksel. Aturan keputusan *maximum-likelihood* menyatakan bahwa suatu piksel adalah termasuk kelas obyek ω_i bila dipenuhi kondisi pada persamaan

(2) dengan $\hat{\mu}_i$ dan $\hat{\Sigma}_i$ masing-masing adalah harga rata-rata dan harga matriks kovarian yang diperkirakan untuk obyek kelas ke i .

Citra optik mempunyai karakteristik intensitas piksel yang lebih homogen dibandingkan dengan citra radar, dan citra radar diasumsikan sebagai citra dengan karakteristik bertekstur [1]. Model tekstur yang secara luas digunakan pada banyak aplikasi

adalah matriks ko-okuren [8]. Lohmann [9] telah mengusulkan aturan keputusan *maximum-likelihood* berdasarkan probabilitas dengan model multinomial pada estimator matriks kookuren (*co-occurrence matrix*). Suatu piksel dinyatakan sebagai anggota kelas obyek ω_i bila dipenuhi kondisi pada persamaan (3) [6];

dimana X_{uv} adalah jumlah pasangan nilai keabuan u dan v yang merupakan elemen dari matriks kookuren citra, k adalah jumlah orientasi matriks kookuren ($k = 4$ apabila digunakan orientasi sudut $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$, dan 135°), sedangkan p'_{uv} adalah nilai estimasi kookuren matriks kelas obyek ke i (ω_i).

Untuk setiap piksel dari setiap citra akan diperoleh N aturan keputusan, dimana N adalah jumlah obyek yang ada pada citra tersebut. Bila $p(\omega_i | x_1)$ dan $p(\omega_i | x_2)$ adalah masing-masing nilai probabilitas posterior piksel citra sensor optik dan sensor radar, maka fusi data diterapkan dengan aturan keputusan konsensus berupa probabilitas gabungan (*joint probability*) $F_i(x)$ yang dapat dinyatakan sebagai persamaan 4 [10].

$$p(\bar{x} | \omega_i, \bar{\mu}_i, \Sigma_i) = \frac{1}{(2\pi)^{d/2} |\Sigma_i|^{1/2}} \exp(-0.5((\bar{x} - \bar{\mu}_i)^T \Sigma_i^{-1} (\bar{x} - \bar{\mu}_i))) \quad (1)$$

$$p(\bar{x} | \omega_i, \hat{\mu}_i, \hat{\Sigma}_i) \geq p(\bar{x} | \omega_j, \hat{\mu}_j, \hat{\Sigma}_j) \quad \forall j \quad (2)$$

$$\prod_k \prod_{u,v} \left(\hat{p}_{uv}^i \right)^{x_{uv}} \geq \prod_k \prod_{u,v} \left(\hat{p}_{uv}^j \right)^{x_{uv}} \quad \forall j \quad (3)$$

$$F_i(x) = p(\omega_i) \prod_{s=1}^n \left(\frac{p(\omega_i | x_s)}{p(\omega_i)} \right)^{r_s} \quad (4)$$

γ_s adalah faktor kehandalan sensor yang mempunyai nilai $0 \leq \gamma_s \leq 1$ dan n menyatakan jumlah sensor ($n = 2$, bila digunakan sensor optik dan sensor radar), sedangkan $p(\omega_i)$ merupakan pengetahuan tentang probabilitas suatu piksel merupakan anggota kelas obyek ω_i . Bila nilai γ_s adalah 0, maka tidak ada kontribusi sensor s pada proses keputusan. Sebaliknya bila γ_s mempunyai nilai 1, maka kontribusi sensor s adalah maksimum. Akhirnya piksel bersangkutan dimasukkan ke kelas obyek ke i (ω_i) dimana $p(\omega_i | x_1, x_2)$ lebih besar atau sama dengan $p(\omega_j | x_1, x_2)$ untuk semua nilai j . Probabilitas gabungan dengan perkalian hanya merupakan salah satu metode untuk fusi data dengan asumsi bahwa pengukuran data dengan sensor pertama dan sensor kedua dianggap tidak saling bergantung (*independent*). Masih banyak metode fusi data lainnya yang dapat dipergunakan, seperti metode *high rank* atau *Borda count* [11], dan metode penjumlahan, minimum, serta maksimum [12].

Penyelesaian masalah awan dengan teknik fusi data dilakukan dengan cara berikut ini. Bila nilai maksimum probabilitas posterior berdasarkan pengukuran salah satu sensor menyatakan bahwa piksel yang diamati adalah dari kelas obyek awan, maka keputusan kelas piksel diserahkan sepenuhnya kepada nilai maksimum probabilitas posterior berdasarkan pengukuran sensor lainnya. Bila kelas piksel dari kedua sensor bukan dari kelas obyek awan, maka keputusan kelas piksel diserahkan sepenuhnya kepada nilai maksimum probabilitas posterior gabungan. Contoh hasil fusi data multisensor dapat dilihat pada Gambar 4(b) yang lebih baik daripada Gambar 4(a), dimana restorasi juga terjadi pada daerah bayangan awan (di bagian sudut kiri bawah dari gambar) yang tidak berhasil diatasi pada penggunaan teknik mosaik.

6. SINTESA CITRA DENGAN TEKNIK DITHERING

Teknik *dithering* digunakan dalam proses sintesa bagian citra yang merupakan wilayah tutupan awan tebal maupun kabut. Pada wilayah tutupan awan tebal, obyek penutup lahan dibawahnya sudah tidak kelihatan. Sedangkan pada wilayah berkabut, penutup lahan dibawahnya secara visual masih dapat dikenali hanya biasanya mempunyai intensitas keabuan yang sedikit lebih tinggi daripada kalau wilayah tersebut bersih dari kabut. Citra sensor optik mempunyai gangguan yang bersifat additif [1]. Dengan asumsi tersebut, bagian citra disintesa dengan *white noise dithering* atau *blue noise dithering* yang juga mempunyai model gangguan additif [13].

Prosedur sintesa ini menggunakan pendekatan multisensor dengan citra masukan terdiri dari: data mentah citra optik dan citra optik tematik, serta citra radar tematik. Data mentah citra optik memberikan informasi distribusi tingkat keabuan setiap obyek penutup lahan. Citra optik tematik memberikan informasi letak daerah tutupan awan dan kabut. Sedangkan citra radar tematik menyediakan informasi kategori obyek penutup lahan dari daerah citra optik yang tertutup awan dan kabut. Pada citra optik dengan gangguan kabut, klasifikasi citra juga dapat dilakukan dengan kategori tambahan; seperti misalnya tidak hanya ada kategori hutan tapi juga ada kategori hutan berkabut. Wilayah hutan berkabut ini kemudian dapat direstorasi berdasarkan informasi wilayah hutan tanpa kabut. Pada masalah awan permanen atau awan tebal, kategori obyek dibawah awan dapat diketahui dari klasifikasi citra radar. Selanjutnya, wilayah awan dapat direstorasi berdasarkan karakteristik obyek terkait pada citra optik. Prosedur ini akan menghasilkan hasil sintesa bagian citra yang tertutup awan permanen, awan tebal maupun berkabut.

Metode yang diusulkan merupakan modifikasi dari *white noise dithering* dan *blue*

noise dithering pada aplikasi pencetakan citra multi tingkat keabuan ke alat pencetak hitam putih [13,14]. Modifikasi dilakukan dengan mengganti nilai intensitas minimum (hitam) dan nilai intensitas maksimum (putih) pada penerapan penerapan teknik *dithering* [13], dengan nilai intensitas minimum dan maksimum dari obyek penutup lahan terkait untuk keperluan sintesa dengan teknik *dithering*. Parameter masukan terdiri dari nilai intensitas rata-rata, varian, minimum dan maksimum distribusi tingkat keabuan obyek penutup lahan yang terkait [14]. *White noise*

dithering dapat dilakukan dengan membuat suatu distribusi dengan nilai rata-rata dan varian keabuan yang merupakan parameter masukan. Nilai intensitas piksel sebagai hasil sintesa dipilih secara acak dari distribusi tingkat keabuan tersebut.

Berikut ini adalah filter *blue noise stochastic*, teknik terbaik dari berbagai modifikasi *blue noise dithering* untuk aplikasi ini. Komposisi faktor pembobotan yang digunakan pada suatu piksel dan piksel tetangganya merupakan suatu matriks yang direkomendasi oleh [13] sebagai berikut ini:



Algoritme dasar dari teknik *dithering* adalah sebagai berikut:

Langkah 1: Untuk semua x dan y tentukan $S(x,y) = \text{MEAN}$.

Untuk semua piksel lakukan Langkah 2 sampai dengan Langkah 7

Langkah 2: Tentukan $S(x,y) = \text{Color1}$; dan $\text{Threshold} = \text{MEAN}$.

Langkah 3: Bila $\text{Color1} > \text{Threshold}$ maka $\text{Error} = \text{MAX} - \text{Color1}$;
 $S(x,y) = \text{MAX}$.
 bila tidak $\text{Error} = \text{Color1} - \text{MIN}$;
 $S(x,y) = \text{MIN}$.

Langkah 4: Ciptakan Gaussian acak; $\text{Noise1} = \text{Gaussian}(\text{range-of-gray-level})$; dan
 $\text{Noise2} = \text{Gaussian}(\text{range-of-gray-level})$.

Langkah 5: Bila $\text{Noise1} > 5/16$ maka $\text{Noise1} = 5/16$.
 Bila $\text{Noise2} > 1/16$ maka $\text{Noise2} = 1/16$.

Langkah 6: $\text{Color2} += \text{Error} * (0.5 * \text{Noise1} + 7/16)$;
 $\text{Color3} += \text{Error} * (0.5 * \text{Noise2} + 3/16)$;
 $\text{Color4} += \text{Error} * (0.5 * \text{Noise1} - 5/16)$;
 $\text{Color5} += \text{Error} * (0.5 * \text{Noise2} - 1/16)$.

Langkah 7: $S(x+1,y) = \text{Color2}$;
 $S(x-1,y+1) = \text{Color3}$;
 $S(x,y+1) = \text{Color4}$;
 $S(x+1,y+1) = \text{Color5}$.

Selesai.

dengan:

- P1 adalah posisi piksel yang diamati. P2, P3, P4, P5 adalah piksel-piksel tetangga yang masing-masing mempunyai faktor pembobotan *dithering* 7, 3, 5 dan 1;
- *Color1, Color2, Color3, Color4* dan *Color5* masing-masing adalah intensitas piksel-piksel P1, P2, P3, P4 dan P5;
- MEAN, VARIANCE, MIN, dan MAX adalah rata-rata, varian, minimum dan maksimum dari distribusi tingkat keabuan kelas obyek terkait;
- x dan y adalah koordinat piksel yang diamati (P1); $S(x,y)$ adalah nilai baru intensitas piksel citra hasil *dithering*; dan *Threshold* adalah suatu nilai ambang;
- *range-of-gray-level* biasanya sama dengan 255 (yaitu lebar tingkat keabuan dari 0 sampai dengan 255);
- *Gaussian* adalah bilangan acak Gaussian antara MIN dan MAX dengan varian VARIANCE.

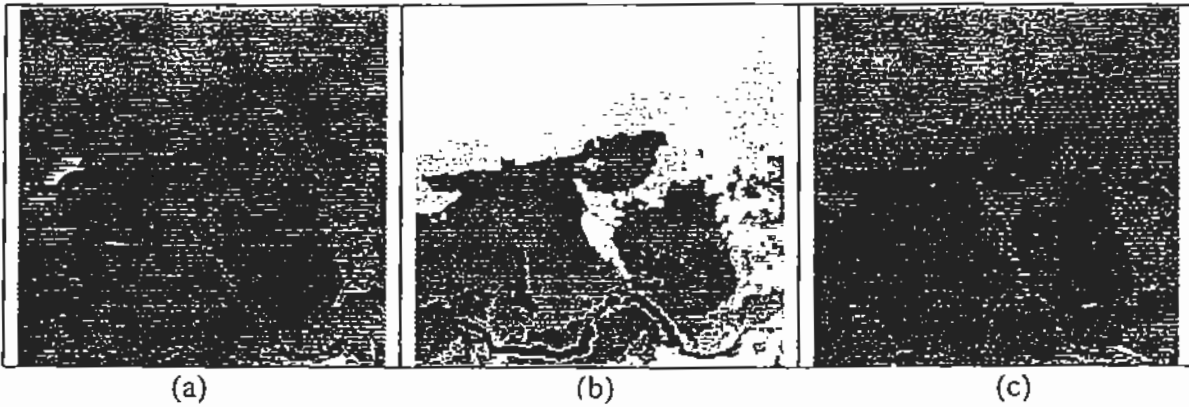
Tiga indikator kinerja digunakan untuk evaluasi bagian citra yang disintesa. Indikator tersebut terdiri dari (i) statistik rata-rata dan varian dari distribusi tingkat keabuan bagian citra yang disintesa; (ii) ketelitian klasifikasi citra hasil sintesa dibandingkan dengan citra aslinya; dan (iii) justifikasi kualitas citra secara visual. Hasil eksperimen dengan menggunakan data yang terbatas perolehannya, menunjukkan kualitas indikator kinerja yang baik, yaitu (i) distribusi tingkat keabuan yang konsisten dengan citra asli (lihat perbedaan statistik pada Tabel 1 untuk *white noise dithering* dan pada Tabel 2 untuk *blue noise stochastic filter dithering*), dengan (ii) ketelitian akurasi yang tidak berbeda (96.5% sebelum restorasi dan 96.8% setelah restorasi) [15], dan (iii) kenampakan visual yang konsisten (lihat Gambar 5 untuk restorasi awan tipis dan Gambar 6 untuk restorasi awan tebal). Wilayah berkabut diperbaiki dengan bantuan informasi wilayah bersih kabut dari kelas obyek penutup lahan yang sama (Gambar 5). Daerah wilayah awan diperbaiki dengan bantuan informasi kelas obyek penutup lahan yang diperoleh dari citra radar tematik terkait (Gambar 6).

Tabel 1. Statistik distribusi tingkat keabuan citra asli dan citra yang disintesa dengan *white noise dithering*.

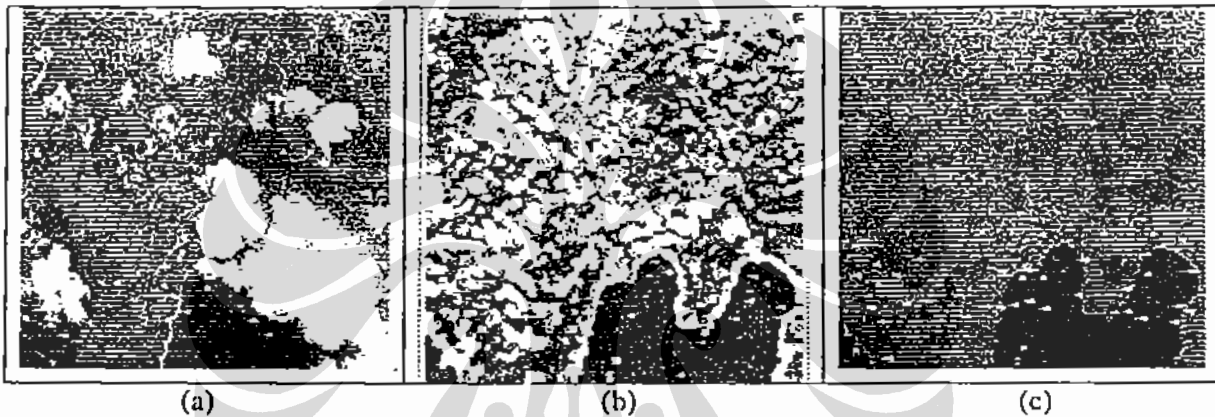
Kelas Obyek	Citra Asli				Citra <i>White Noise Dithered</i>			
	Rataan	Maks	Min	Varian	Rataan	Maks	Min	Varian
Penutup Lahan	46.98	90	15	11.59	46.98	90	15	11.59
Badan Air	46.98	90	15	11.59	46.98	90	15	11.59
Hutan	56.16	90	20	7.44	56.16	90	20	7.44
Hutan Berkabut	65.12	84	50	5.30	55.67	87	25	5.30
Perkebunan	74.15	117	24	11.73	74.15	117	24	11.73
Kebun Berkabut	85.90	119	60	9.06	73.60	118	26	9.06
Awan	116.01	132	96	6.05	116.01	132	96	6.05

Tabel 2. Statistik distribusi tingkat keabuan citra asli dan citra yang disintesa dengan *blue noise stochastic filter dithering*.

Kelas Obyek	Citra Asli				Citra <i>Blue Noise Dithered</i>			
	Rataan	Maks	Min	Varian	Rataan	Maks	Min	Varian
Penutup Lahan	46.98	90	15	11.59	46.98	90	15	11.59
Badan Air	46.98	90	15	11.59	46.98	90	15	11.59
Hutan	56.16	90	20	7.44	56.16	90	20	7.44
Hutan Berkabut	65.12	84	50	5.30	53.09	86	23	5.30
Perkebunan	74.15	117	24	11.73	74.15	117	24	11.73
Kebun Berkabut	85.90	119	60	9.06	74.77	116	33	9.06
Awan	116.01	132	96	6.05	116.01	132	96	6.05



Gambar 5. Restorasi wilayah haze: (a) Citra optik dengan wilayah haze; (b) Hasil klasifikasi citra optik; (c) Hasil restorasi dengan filter *blue noise stochastic*.



Gambar 6. Restorasi awan permanen: (a) Citra optik berawan; (b) Hasil klasifikasi citra radar; (c) Hasil restorasi: citra optik tanpa awan.

7. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan dapat diringkas sebagai berikut:

1. Metodologi yang diusulkan dibangun berdasarkan skema konvensional yang menggunakan teknik mosaik dan skema baru yang menggunakan teknik fusi data dan sintesa dengan penggunaan citra optik multitemporal dan citra multisensor optik dan SAR (*Synthetic Aperture Radar*).
2. Perbaikan citra optik dari gangguan awan dapat dilakukan pada tingkat data mentah maupun citra tematik.
3. Pada kondisi dimana posisi awan tebal berpindah-pindah, informasi permukaan bumi masih dapat diperoleh dengan menggunakan citra optik multitemporal.
4. Pada kondisi dimana terjadi gangguan awan tipis, data dapat disintesa dengan bantuan informasi dari daerah yang bersih dari gangguan awan tipis untuk obyek penutup lahan yang sama. Perbaikan dilakukan pada tingkat data mentah.
5. Pada kondisi dimana terjadi gangguan awan tebal dan permanen, data dapat disintesa dengan bantuan informasi dari citra radar tematik pada tingkat citra tematik.

data mentah atau dengan teknik mosaik pada tingkat citra tematik.

6. Evaluasi dengan tiga indikator kinerja:
 - (i) distribusi tingkat keabuan, (ii) ketelitian klasifikasi, dan (iii) penilaian kualitas citra secara visual, menunjukkan hasil yang baik.

Penerapan teknik sintesa yang telah digunakan disini didasarkan pada model gangguan yang bersifat additif. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan terhadap penggunaan teknik sintesa yang didasarkan pada model tekstur *random-field* [16] atau model tekstur matriks kookuren [9] sebagai model alternatif untuk proses sintesa.

REFERENSI

- [1] S.A.W. Gerstl, "Physics concepts of optical and radar reflectance signatures: A summary review", *International Journal on Remote Sensing*, 11(7):1109-1117, 1990.
- [2] T.E. Bell, "Remote Sensing", *IEEE Spectrum*, pp. 24-31, March 1995.
- [3] Samihardjo & B. Marsudi, The Application of Remote Sensing for Strategic Purposes: *In International Conference on ERSI-Landsat-SPOT*, Jakarta, 1993.
- [4] J. Rais, "Remote Sensing in Indonesia", *Report to the XIth UNRCC*, 1991.
- [5] K.A. Soofi, R.S.U. Smith, and R. Siregar, "A Planimetrically Accurate SPOT Image Mosaic of Buton Island, Sulawesi, Indonesia", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(9):1217-1220, September 1991.
- [6] A Murni, A.K. Jain and J. Rais, "A Framework for Multidate Multisensor Image Interpretation", *In Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 1851-1854, 1996.
- [7] C.R. Dyer, J.S. Wieszka and A. Rosenfeld, "Detection of Hazy Anomalies in Landsat Imagery by Texture Analysis", *TR-429, ENG-74-22006, University of Maryland*, December 1975.
- [8] J.R. Carr and F.P. de Miranda, "The semivariogram in Comparison to the Co-occurrence Matrix for Classification of Image Texture", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vo. 36, No. 6, November, 1998.
- [9] G. Lohmann, "Co-occurrence-based Analysis and Synthesis of Textures", *Proc. 12th Int. Conference on Pattern Recognition*, Jerusalem, pp.449-453, October 1994.
- [10] J.A. Benediktsson, P.H. Swain, and O.K. Ersoy, "Neural Network Approaches Versus Statistical Methods in Classification of Multisource Remote Sensing Data", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28(4):540-551, July 1990.
- [11] T.K. Ho, J.J. Hull, and S.N. Srihari, "Decision Combination in Multiple Classifier Systems", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16(1):66-75, 1994.
- [12] R. Huber and L.V. Dutra, "Classifier Combination and Feature Selection for Land-Cover Mapping from High-Resolution Airborne Dual-Band SAR Data", *Proceedings of World Multiconference in Systemics, Cybernetics and Informatics, Volume 1: Image, Acoustics, Speech and Signaling Processing: Part I*, July 2000, Orlando, Florida, USA, pp. 370-375.
- [13] R.A. Ulichney, "Dithering with Blue Noise", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 76, No. 1, January, 1988.
- [14] A. Murni, F.R. Rohmah, and D. Chahyati, "A Framework for Cloud Cover Removal using Dithering Technique", *The 4th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI'2000)*, Orlando USA, July 23-26, 2000, pp. 229-231.
- [15] F.R. Rohmah, "Penyelesaian Masalah Awan pada Citra Optik Inderaja dengan Teknik Dithering", Laporan Tugas Akhir Sarjana Ilmu Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia, Januari 2000.
- [16] R.T. Frankot and R. Chellappa, Lognormal random-field model and their application to radar image synthesis, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-25(2):195-206, 1987.