

Pengolahan Data Remote Sensing Menggunakan Wavelet untuk Menghasilkan Citra Bebas Awan

Alviyan Badro Kamali¹, Gibtha Fitri Laxmi^{1*}, Sahid Agustian Hudjimartsu¹, Erwin Hermawan¹, Berlina Wulandari¹, Wawan Hendriawan Nur²

¹Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun, Indonesia

²Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

*E-mail koresponden: gibtha@uika-bogor.ac.id

Diserahkan 31 Januari 2022; Direview 23 Februari 2022; Dipublikasikan 30 Mei 2025

Abstrak

Perekaman citra satelit di wilayah tropis, seperti Indonesia, sering mengalami penurunan kualitas akibat gangguan (noise), salah satunya adalah tutupan awan yang menghalangi objek dan menghilangkan detail informasi penting. Pada citra satelit Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), keterbatasan jumlah band spektral tanpa band thermal menjadi tantangan tersendiri dalam mendeteksi awan dan bayangannya. Penelitian ini mengusulkan penerapan metode cloud masking berbasis Discrete Wavelet Transform (DWT) 2D untuk mengidentifikasi dan menghilangkan awan, diikuti dengan proses image fusion untuk memperoleh citra bebas awan. Transformasi wavelet membagi citra beresolusi tinggi menjadi koefisien frekuensi rendah (LL) dan tinggi (HL, HH, LH), dimana komponen LL digantikan oleh citra multispektral yang telah di-resample. Evaluasi kinerja metode dilakukan menggunakan confusion matrix yang menghasilkan akurasi global mencapai 99% dengan commission error terendah pada kelas bayangan awan (0,001) dan omission error terendah pada kelas darat dan laut (0). Hasil ini menunjukkan bahwa metode DWT-2D mampu mendeteksi awan dan bayangannya secara efektif, sehingga berpotensi meningkatkan kualitas pemanfaatan citra MODIS di wilayah tropis.

Kata kunci: Citra Satelit, Cloud masking, Discrete Wavelets Transform, MODIS, Multispektral

Abstract

Satellite imagery acquisition in tropical regions, such as Indonesia, often suffers from quality degradation due to noise, one of the most common being cloud cover, which obscures objects and removes critical information details. In Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) imagery, the limited number of spectral bands without a thermal band poses a specific challenge for detecting clouds and their shadows. This study applies a 2D Discrete Wavelet Transform (DWT)-based cloud masking method to identify and remove clouds, followed by an image fusion process to obtain cloud-free imagery. The wavelet transformation decomposes the high-resolution image into low-frequency (LL) and high-frequency (HL, HH, LH) components, replacing the LL component with resampled multispectral imagery. The method's performance was evaluated using a confusion matrix, achieving a global accuracy of 99.48%, with the lowest

commission error in the cloud shadow class (0.001) and zero omission error for land and sea classes. These results demonstrate that the 2D-DWT method can effectively detect clouds and their shadows, offering significant potential to improve the quality and usability of MODIS imagery in tropical regions.

Keywords: *Cloud masking, Discrete Wavelet Transform, MODIS, Multispectral, Satellite Imagery*

PENDAHULUAN

Perekaman satelit penginderaan jarak jauh di negara tropis salah satunya di Indonesia kualitasnya sering menjadi tidak baik dikarenakan banyaknya gangguan (*noise*). Gangguan (*noise*) menyebabkan sebuah nilai intensitas piksel tidak mencerminkan nilai intensitas piksel yang sebenarnya. Berdasarkan bentuk dan karakteristiknya, *noise* pada citra dibedakan menjadi beberapa macam yaitu *Gaussian*, *Speckle*, dan *Salt & Pepper*. Intensitas *noise* yang tinggi maupun rendah bisa menurunkan kualitas citra dan menyebabkan hilangnya beberapa detail informasi citra.[1]

Awan merupakan salah satu gangguan atau *noise* yang sangat umum bagi citra satelit MODIS. Intensitas awan dapat menutupi objek dan berbagai informasi penting sehingga menyebabkan turunya kualitas citra dan hilangnya detail informasi citra yang terhalang awan. Solusi efektif untuk menghilangkan awan pada citra MODIS merupakan hal yang sangat penting untuk mendapatkan citra MODIS bebas awan.

Salah satu metode untuk menghilangkan awan adalah *cloud masking*. Awan dapat dihilangkan apabila hasil-hasil dari citra *cloud masking* tersebut dimosaik vertikal. Permasalahan *cloud masking* pada data MODIS ini adalah keterbatasan jumlah band spektral hanya mempunyai 5 band (*blue*, *green*, *red*, *SWIR* dan *NIR*). Band *thermal* yang sering digunakan untuk deteksi awan tidak terdapat pada data MODIS.

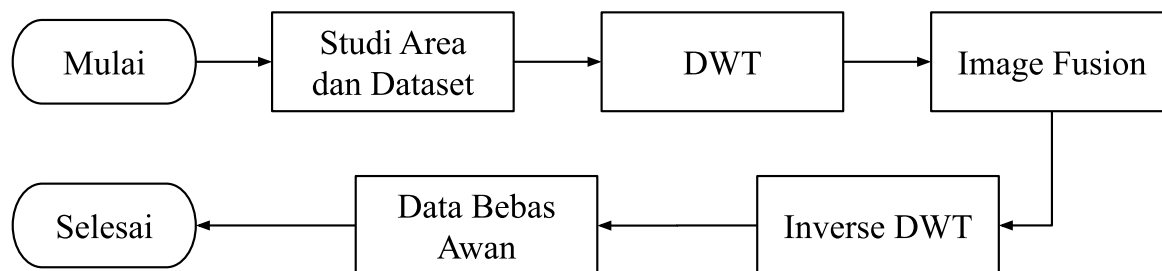
Hingga saat ini banyak sekali penelitian *cloud masking* antara lain, *cloud masking* data spot-6 dengan pendekatan nilai reflektansi dan geometri [2], *cloud masking* menggunakan metode algoritma *Automated Cloud-Cover Assessment (ACCA)* [3], *cloud masking* menggunakan metode *Scale Invariant Feature Transform (SIFT)* [4], *cloud masking* dengan memanfaatkan data *multi-temporal* [5]. Dan masih banyak algoritma untuk mendeteksi awan dan bayangannya seperti konsep *thresholding*, *neural networks*, *fuzzy* dan lain-lain. Banyak teknik untuk mengatasi masalah ini seperti teknik *histogram*, *image fusion* (*substitusi*, *penyaringan*, *wavelet*) Kunci dari teknik ini adalah untuk menemukan area tertutup awan pada citra dan diganti dengan citra yang lebih jelas.

Metode yang paling umum untuk melakukan fusi citra adalah *Principal Component Analysis (PCA)*, *Simple Average*, *Maximum*, *Intensity-Hue-Saturation (IHS)*, dan *Transformasi Brovey* [6]. Penggunaan 2D-DWT dalam fusi citra membuktikan keunggulannya dibandingkan metode fusi lain yang disebutkan. Penelitian ini akan menggunakan metode fusi citra berdasarkan 2D-DWT. Konsep *Discrete Wavelet Transformation (DWT)* berdasarkan transformasi pada citra yang memiliki resolusi tinggi menggunakan *wavelet* menjadi empat bagian yang dinamakan koefisien *wavelet* ada yang memiliki frekuensi tinggi (*HighLow-HL*, *HighHigh-HH*) dan yang satunya memiliki frekuensi rendah (*LowLow-LL*, *LowHigh-LH*). Frekuensi rendah dari citra beresolusi tinggi digantikan oleh citra multispektral *resampled*. Setelah itu dilakukan proses *inverse wavelet transform* untuk digabungkan menjadi satu citra sesuai dengan hasil yang diinginkan seperti menghapus awan dan bayangannya pada citra satelit.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji reliabilitas metode *cloud masking* dengan menggunakan *wavelet*, dilakukan evaluasi hasil dengan menggunakan *confusion matrix* untuk mendapatkan tingkat akurasi, *commission error* dan *omission error*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang dirancang secara sistematis untuk mencapai tujuan penelitian, yaitu mengidentifikasi dan menghilangkan tutupan awan pada citra satelit MODIS menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) 2D. Alur lengkap metode penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Tahapan metode penelitian

Awan adalah data yang tidak diinginkan di dalam sebuah citra satelit. Dua citra satelit yang sama tetapi diperoleh pada tanggal berbeda dengan rentan waktu 8 hari sebelumnya atau setelahnya akan digabungkan dengan menggunakan teknik fusion. Awan akan menjadi target data yang akan dihapus dari citra asli yang masih memiliki awan dan diganti dengan data citra sebelum atau sesudahnya dengan metode *wavelet image fusion*. Pemilihan data dengan rentan waktu 8 hari digunakan karena untuk mengatasi masalah perubahan lingkungan antara dua data tersebut, dan data yang berbeda 8 hari tidak akan mengalami perubahan signifikan.

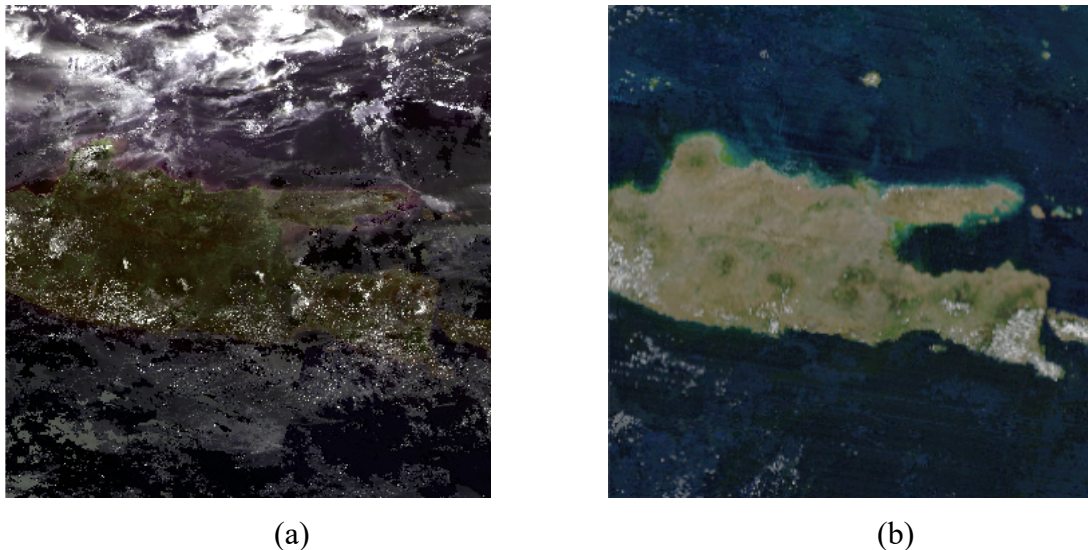
Data

Studi area dalam penelitian ini adalah daerah Jawa Timur yang merupakan salah satu provinsi yang terdapat di negara Republik Indonesia. Data citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah data berjenis *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) selama satu tahun yaitu pada tahun 2015, dengan jumlah data MODIS sebanyak 46 data. Band yang digunakan pada data MODIS ini adalah semua band Multispektral (*Red, Green, Blue, NIR, SWIR*). Gambar 2 merupakan sampel data yang digunakan dalam penelitian.

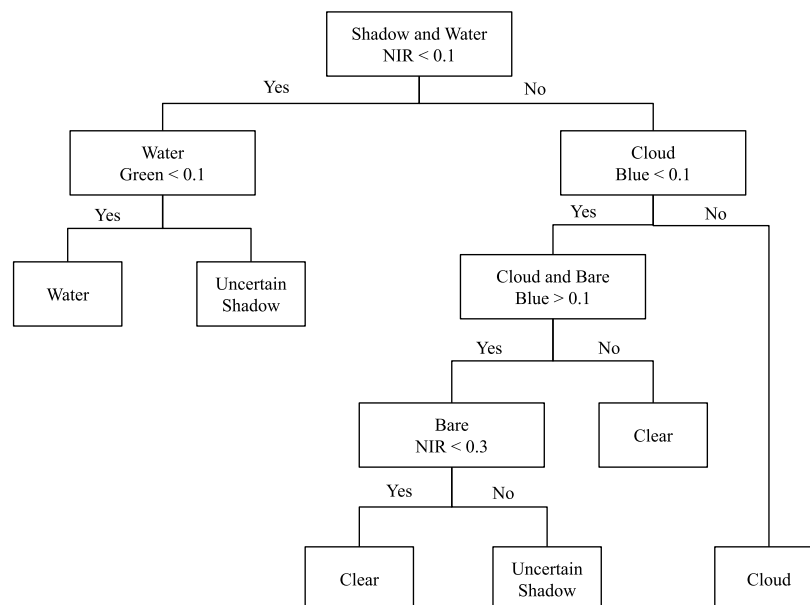
Preprocessing Data

Pada tahap ini proses yang dilakukan adalah penghapusan awan dan bayangan awan karena merupakan data yang tidak diinginkan atau *noise*. Namun, tidak dilengkapinya data MODIS yang memiliki *band thermal infrared* merupakan sebuah kesulitan karena biasanya *thermal infrared* digunakan untuk mendeteksi awan, maka dari itu digunakan metode pendekatan reflektansi (Gambar 3) untuk mendapatkan *threshold* awan, dan bayangan awan [2].

Pada metode ini digunakan *band* tertentu yaitu NIR, Green dan Blue. Pemilihan band tersebut didasarkan pada perbedaan respon spektral terhadap awan, daratan, vegetasi, dan badan air, sehingga mampu memaksimalkan kontras antara objek yang ingin dideteksi (awan dan bayangannya) dengan objek lain. Selain itu, ditentukan pula nilai *threshold* yang berfungsi untuk memisahkan awan dari objek lain, termasuk daratan dan lautan. Tahap awal menggunakan band NIR untuk memisahkan daratan dan lautan, karena band ini memiliki informasi vegetasi serta perbedaan karakteristik reflektansi yang jelas antara unsur air dan unsur tanah, sehingga garis pantai dapat teridentifikasi dengan baik (Gambar 2b).



Gambar 2 Data yang terdapat banyak awan (a) Data yang terdapat awan sedikit (b)



Gambar 3 Metode *cloud masking* dengan pendekatan reflektansi.

Deteksi *noise* berupa awan dan bayangan awan dilakukan melalui beberapa tahapan. Pertama, objek awan dipisahkan menggunakan band NIR yang mampu membedakan reflektansi vegetasi, daratan, dan badan air. Namun, pada tahap ini masih terdapat objek awan yang belum sepenuhnya terpisah dari lahan terbuka, serta objek non-awan yang masih mengandung elemen lain seperti air dan bayangan awan. Kedua, hasil pemisahan awal kemudian diproses lebih lanjut dengan memanfaatkan band Blue. Pada tahap ini, objek *certain-cloud* dipisahkan dari objek lainnya, sedangkan objek *certain-clear* dipisahkan dari awan dan lahan terbuka menggunakan threshold yang telah ditentukan. Ketiga, objek *certain-open land* dipisahkan kembali menggunakan band NIR untuk mempertegas batas antara lahan terbuka dengan kelas lainnya. Keempat, objek bayangan awan dipisahkan dengan memanfaatkan kombinasi band Green dan band NIR.

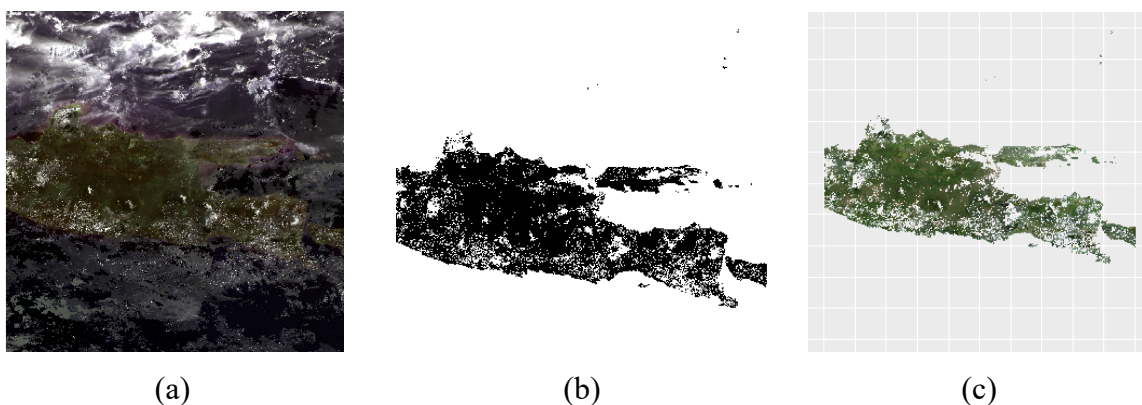
Setelah proses penghapusan awan dan bayangannya selesai, langkah selanjutnya adalah membangun binary layer dari hasil pemisahan sebelumnya. Pada tahap ini, piksel yang

diklasifikasikan sebagai awan maupun non-awan diberi nilai 0, sedangkan piksel lain diberi nilai 1. Proses akhir dilakukan dengan menggabungkan data asli dan binari *layer* melalui operasi perkalian matriks, sehingga piksel awan dapat dieliminasi sementara piksel non-awan tetap dipertahankan (Gambar 4).

Discrete Wavelet Transform

Transformasi *wavelet* adalah sebuah prinsip matematika yang awalnya dikembangkan di dalam bidang pemrosesan sinyal [12]. Akan tetapi transformasi *wavelet* juga dapat diterapkan untuk menggabungkan data citra mengikuti konsep analisis multi-resolusi (MRA) [13]. Transformasi *wavelet* memberikan sebuah kerangka kerja dimana sinyal didekomposisi [14]. *Discrete wavelet transform* (DWT) 2D dapat merubah citra dari domain spasial ke domain frekuensi.

$$f(n) = \begin{bmatrix} 12 & 10 & 13 \\ 9 & 18 & 10 \\ 13 & 12 & 5 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 10 & 0 \\ 9 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & 5 \end{bmatrix}$$



Gambar 4 Data asli (a), Data biner (b), Data asli \times data biner (c)

Discrete Wavelet Transform (DWT), yang menerapkan *band filter* dua saluran (*down sampling*) secara iteratif ke *band low pass*. Representasi itu terdiri dari *band low-pass* pada resolusi terendah dan *band high-pass* pada resolusi tinggi [7].

Dekomposisi dan rekonstruksi *wavelet* secara historis digunakan dalam fusi citra dan aplikasi kompresi citra satelit [8]. Dengan transformasi *wavelet*, citra satelit dapat didekomposisi menjadi bingkai multi-resolusi dimana setiap bagian memiliki frekuensi dan spasial yang berbeda. Koefisien ini memberikan kemudahan untuk analisis, klasifikasi, dan pengenalan citra [9]. Pada tahap ini, data yang sudah melalui tahap masking akan didekomposisi menjadi koefisien *wavelet* yang terdiri dari frekuensi tinggi (HL, HH) dan frekuensi rendah (LL, LH).

Penggabungan Citra Menggunakan Wavelet Fused

Proses penggabungan citra (*image fusion*) menggunakan metode transformasi *wavelet* yang mengubah citra menjadi koefisien tertentu lalu digabungkan dengan metode *Inverse Wavelet Transform* (IWT). Dalam proses penggabungan citra (*Image Fusion*) menggunakan DWT, data citra yang ingin digabungkan pertama-tama diuraikan fitur citra atau biasa disebut dengan koefisien citra, setelah itu koefisien antar citra akan digabungkan menggunakan aturan fusi yang sesuai seperti aturan *max min*, rata-rata dsb. Dengan ini, maka piksel citra digabungkan menjadi satu format yang mewakili [10]. Diagram blok proses penggabungan citra menggunakan transformasi *wavelet* dan aturan fusi diilustrasikan pada Gambar 5.

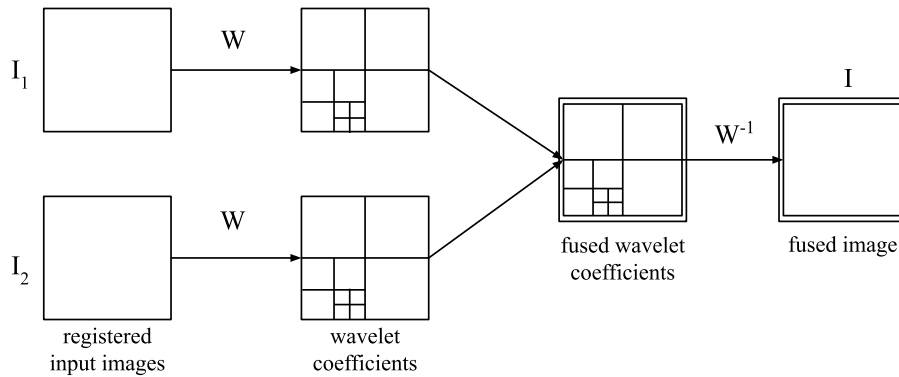
Teknik *fused* citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik *simple average* dengan Persamaan 1.

$$X = s/n \quad (1)$$

X = Nilai Rata – rata

s = Jumlah Nilai

n = Banyak data



Gambar 5 Wavelet Fusion

Algoritma yang digunakan merupakan algoritma sederhana untuk menghasilkan citra hasil *fusion*. Proses ini dilakukan dengan menumpuk seluruh koefisien citra yang akan digabungkan, kemudian menghitung nilai piksel pada setiap koefisien melalui penjumlahan seluruh nilai piksel, dan membaginya dengan jumlah data untuk memperoleh nilai rata-rata per piksel.

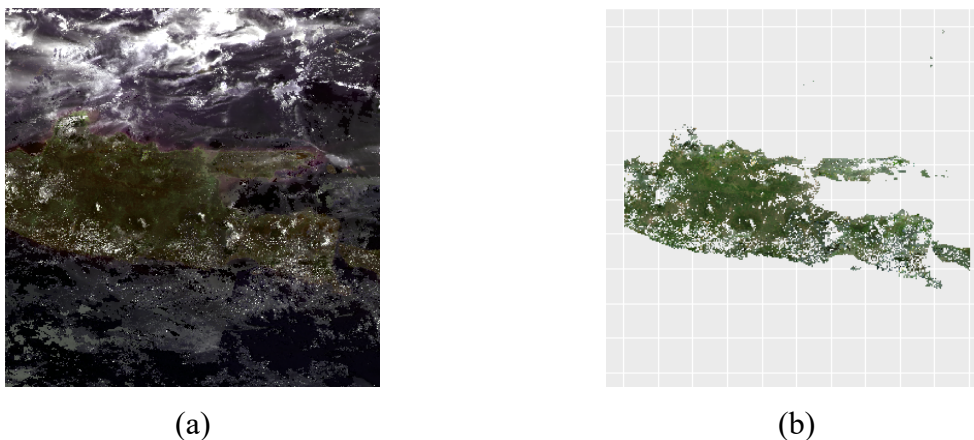
$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} 12 & 11 & 13 \\ 9 & 18 & 10 \\ 13 & 12 & 5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 10 & 11 & 21 \\ 19 & 7 & 9 \\ 10 & 12 & 12 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 22 & 22 & 34 \\ 28 & 25 & 19 \\ 23 & 24 & 17 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 22/2 & 22/2 & 34/2 \\ 28/2 & 25/2 & 19/2 \\ 23/2 & 24/2 & 17/2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11 & 11 & 17 \\ 14 & 12,5 & 9,5 \\ 11,5 & 12 & 8,5 \end{bmatrix} \\ \text{(a)} & & \text{(b)} \end{aligned}$$

Gambar 6 Penjumlahan seluruh data asli (a), nilai *average* dari seluruh data asli (b)

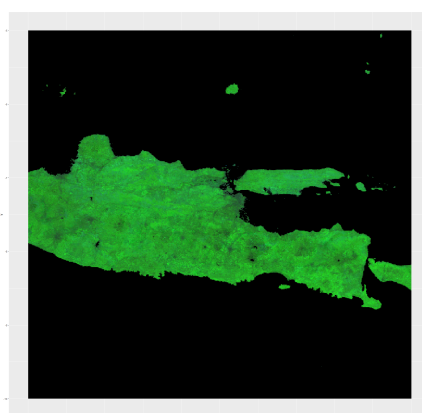
Gambar 6 memperlihatkan tahapan penjumlahan seluruh data asli (a) dan hasil perhitungan nilai rata-rata (*average*) dari data asli tersebut (b). Setelah proses *image fusion* selesai, diperoleh satu set data koefisien *wavelet*. Untuk mengembalikan data ke bentuk citra semula, dilakukan proses rekonstruksi koefisien *wavelet* menggunakan *Inverse Wavelet Transform* (IWT), yang prinsipnya sama dengan *Discrete Wavelet Transform* (DWT) namun dengan arah proses yang dibalik. Tahap ini bertujuan untuk menggabungkan kembali sinyal menjadi citra utuh [11]. Gambar 7a menunjukkan citra satelit MODIS di wilayah Provinsi Jawa Timur yang masih terkontaminasi oleh awan tipis dan awan tebal. Sementara itu, Gambar 7b memperlihatkan hasil penghapusan awan tebal, awan tipis, bayangan awan, dan lautan menggunakan pendekatan reflektansi. Selanjutnya, Gambar 8 menampilkan hasil penggabungan beberapa data yang telah melalui proses masking menggunakan metode transformasi *wavelet*, menghasilkan citra yang bersih dari awan dan bayangannya. Dengan demikian, wilayah yang sebelumnya tertutupi oleh awan dapat terlihat jelas dan bebas dari gangguan visual.

Evaluasi hasil *cloud masking* dilakukan menggunakan *confusion matrix* [15] sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. *Confusion matrix* merupakan teknik evaluasi yang banyak digunakan dalam penginderaan jauh untuk menilai keakuratan pemrosesan data spasial [16]. *Confusion*

matrix ini disusun berdasarkan data acuan (validasi) yang disajikan dalam bentuk kolom, dan kelas hasil dalam bentuk baris. Setiap sel pada matriks merepresentasikan nilai klasifikasi, yaitu *true positive*, *false positive*, *true negative*, dan *false negative*, yang menjadi dasar dalam perhitungan berbagai indeks evaluasi [17]. Salah satu indeks utama yang diperoleh dari *confusion matrix* adalah akurasi keseluruhan, yang penting untuk menilai kinerja metode klasifikasi yang digunakan [18]. Proses penyusunan *confusion matrix* diawali dengan pembuatan data latih dan data validasi dalam format *shapefile* menggunakan aplikasi QGIS.



Gambar 7 Data yang terdapat banyak awan (a) Data yang sudah melewati proses *cloud masking* (b)



Gambar 8 *Cloud masking* menggunakan metode *Wavelet*

Training data digunakan untuk mengambil sampel piksel dari lima kelas identitas, sedangkan *validation data* berisi sampel piksel dari lima kelas yang telah tereliminasi dalam proses *cloud masking*. Data validasi ini kemudian dibandingkan dengan training data untuk mengukur tingkat ketepatan proses *cloud masking*.

Tabel 1 *Confusion Matrix*.

		ACUAN (Data Validasi)					
		Awan tebal	Awan tipis	Bayangan awan	Darat	Laut	Total
HASIL	Awal tebal	197.4	1.0	0.2	0	0	198.6
	Awan tipis	2.6	113.4	0.8	0	0	116.8
	Bayangan awan	0	0.2	199	0	0	199.2
	Darat	0	0	0	200	0	200
	Laut	0	0	0	0	200	200
	Total	200	114.6	200	200	200	914,6

Dari Tabel 1 terlihat bahwa 197,4 piksel awan tebal berhasil diklasifikasikan dengan benar

sebagai awan tebal. Namun, terdapat 2,6 piksel awan tebal yang tidak terdeteksi sebagai awan tebal dan salah diklasifikasikan sebagai awan tipis (*omission error*), serta 1 piksel awan tipis yang justru diklasifikasikan sebagai awan tebal. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa akurasi global metode *cloud masking* ini mencapai 99,48%, diperoleh dari perhitungan:

$$\frac{197,4 + 113,4 + 199 + 200 + 200}{914,6} = 0,9948 \times 100\% = 99,48\%$$

Selain mendapatkan nilai akurasi, *confusion matrix* juga digunakan untuk mendapatkan nilai *commission error* dan *omission error* pada masing-masing kelas, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2. *Commission error* mengacu pada kesalahan klasifikasi yang terjadi ketika suatu fitur yang sebenarnya tidak ada justru dimasukkan ke dalam hasil pemetaan [19]. Dalam konteks verifikasi lapangan, kesalahan ini muncul ketika suatu piksel diklasifikasikan sebagai jenis penutup lahan tertentu, padahal sebenarnya termasuk jenis lain. Sebaliknya, *omission error* merepresentasikan kegagalan untuk mengidentifikasi atau mengklasifikasikan fitur yang sebenarnya ada [19]. *Omission error* terjadi ketika piksel yang diketahui termasuk ke dalam jenis penutup lahan tertentu justru salah diklasifikasikan sebagai jenis penutup lahan yang berbeda [20]. Hasil ini menunjukkan tingkat kesalahan klasifikasi yang sangat rendah, mengindikasikan bahwa metode yang digunakan efektif dalam mendeteksi dan menghilangkan awan serta bayangannya pada citra MODIS.

Tabel 2 Hasil *commission error* dan *omission error*

	<i>Commision</i>	<i>Ommision</i>
Awan tebal	$(1.0+0.2+0+0)/198.6 = 0.006$	$(2.6+0+0+0+0)/200 = 0.013$
Awan tipis	$(2.6+0.8+0+0)/116.8 = 0.029$	$(1+0.2+0+0)/114.6 = 0.010$
Bayangan Awan	$(0+0.2+0+0)/199.2 = 0.001$	$(0.2+0.8+0+0)/200 = 0.005$
Darat	$(0+0+0+0)/200 = 0$	$(0+0+0+0)/200 = 0$
Laut	$(0+0+0+0)/200 = 0$	$(0+0+0+0)/200 = 0$

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa penghapusan awan dan bayangannya pada citra MODIS dapat dilakukan secara efektif menggunakan pendekatan reflektansi yang dikombinasikan dengan fusi berbasis *wavelet*. Metode ini mampu memulihkan area yang tertutup awan dengan mengganti piksel kosong menggunakan data bebas awan, sehingga menghasilkan citra yang bersih dan utuh. Hasil evaluasi menunjukkan tingkat akurasi mencapai 99% dengan nilai *omission error* dan *commission error* yang sangat rendah, menegaskan keandalan metode dalam meningkatkan kualitas citra satelit. Penerapan metode ini memberikan manfaat signifikan dalam meningkatkan ketersediaan data citra satelit bebas awan yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti pemantauan lingkungan, analisis perubahan tutupan lahan, perencanaan wilayah pesisir, dan kajian oseanografi. Ke depan, metode ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengintegrasikan data dari sensor yang memiliki *band thermal infrared*, memanfaatkan algoritma pembelajaran mesin untuk otomatisasi proses *cloud masking*, serta menguji kinerjanya pada citra dengan resolusi spasial dan temporal berbeda maupun dalam berbagai musim di wilayah tropis untuk memastikan konsistensi dan keandalannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. C. E. Bire. and Bambang Cahyono., “Denoising Pada Citra Menggunakan Transformasi Wavelet,” *Semantik*, vol. 2, no. 1, pp. 487–493, 2012.
2. D. S. Candra and H. Ismaya. Cloud masking data SPOT-6 dengan menggunakan

- pendekatan nilai reflektansi dan geometri. Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014, pp 189-197, 2014.
3. M. Luisier, "Quantum Transport Beyond the Effective Mass Approximation," Thesis, vol. 72, no. 17016, pp. 1179–1188, 2007.
 4. L. Gu, R. Ren, and S. Zhang, "Automatic cloud detection and removal algorithm for MODIS remote sensing imagery," *J. Softw.*, vol. 6, no. 7, pp. 1289–1296, 2011.
 5. D. S. Candra, S. Phinn, and P. Scarth, "Cloud and cloud shadow masking using multi-temporal cloud masking algorithm in tropical environmental," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 41, no. July, pp. 95–100, 2016.
 6. J. Vadher, "Implementation of discrete wavelet transform based image fusion," *IOSR J. Electron. Commun. Eng.*, vol. 9, no. 2, pp. 107–109, 2014.
 7. H. Hasani, A. Asghar, P. Zeaiean, and F. Abadi. Using Discrete Wavelet Transform to increase the Accuracy of Hyper Spectral and High Resolution Images Fusion. *Journal Of Radar and Optical Remote Sensing*. Vol. 1, pp. 22–30, 2019.
 8. A. Abd-Elrahman, I. F. Shaker, A. K. Abdel-Gawad, and A. Abdel-Wahab, "Enhancement of Cloud-Associated Shadow Areas in Satellite Images Using Wavelet Image Fusion," *World Appl. Sci. J.*, vol. 4, no. 3, pp. 363–370, 2008.
 9. Y. Du, B. Guindon, and J. Cihlar, "Haze detection and removal in high resolution satellite image with wavelet analysis," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 40, no. 1, pp. 210–216, 2002.
 10. A. Dogra, B. Goyal, and S. Agrawal, "Medical Image Fusion: A Brief Introduction," *Biomed. Pharmacol. J.*, vol. 11, no. 3, pp. 1209–1214, 2018.
 11. Suma'inna Suma'inna, Dipo Alam. "Kompresi Citra Berwarna Menggunakan Tranformasi Wavelet". *Jurnal Matematika Integratif*. Vol. 10, No. 1, pp. 55–62, 2014. <https://doi.org/10.24198/jmi.v10.n1.10185.55-62>
 12. G. K. Rajput, M. R, and R. K. Tyagi, "Wavelet Transformation Algorithm for Low Energy Data Aggregation," pp. 1–7, Jan. 2024, doi: 10.1109/icocwc60930.2024.10470622.
 13. M. M. Patel and A. R. Yadav, "Multispectral Image Fusion Using Wavelet Transform," : *A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology*, vol. 14, no. 01, pp. 93–102, Mar. 2022, doi: 10.18090/samriddhi.v14i01.15.
 14. H. K. K., "Multi-modal image fusion using contourlet and wavelet transforms: a multi-resolution approach," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 28, no. 2, p. 762, Nov. 2022, doi: 10.11591/ijeecs.v28.i2.pp762-768.
 15. Eosina, P., Laxmi, G. F., & Fatimah, F. (2018). Klasifikasi-PNN pada Citra Ikan Air Tawar dengan Sobel Edge Detection. *Krea-TIF: Jurnal Teknik Informatika*, 6(2), 66–74. <https://doi.org/10.32832/kreatif.v6i2.2178>
 16. K. Narayanan and A. Manimaran, "Using Decision Risk and Decision Accuracy Metrics for Decision Making for Remote Sensing and GIS Applications," *Springer Nature*, 2024, pp. 125–136. doi: 10.1007/978-981-99-6229-7_11.
 17. L. Yi and G. Zhang, "Object-oriented remote sensing imagery classification accuracy assessment based on confusion matrix," *International Conference on Geoinformatics*, pp. 1–8, Jun. 2012, doi: 10.1109/GEOINFORMATICS.2012.6270271.

18. J. L. García-Balboa, M. V. Alba-Fernández, F. J. Ariza-López, and J. Rodríguez-Avi, "Analysis of Thematic Similarity Using Confusion Matrices," *ISPRS international journal of geo-information*, vol. 7, no. 6, p. 233, Jun. 2018, doi: 10.3390/IJGI7060233.
19. A. Cherrill and C. J. McClean, "Omission and Commission Errors in the Field Mapping of Linear Boundary Features: Implications for the Interpretation of Maps and Organization of Surveys," *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 44, no. 3, pp. 331–343, Jun. 2001, doi: 10.1080/09640560120046098.
20. D. S. Linden and J. Szajgin, "Verification of land cover maps from LANDSAT data," Sep. 1981, [Online]. Available: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19820014694/downloads/19820014694.pdf>