

Analisis Pola Rotasi Tanam Padi Menggunakan Model Fusi Spasial Temporal ESTARFM Pada Citra Landsat 8 Dan MODIS

Raden Ibnu Rosyadi^{1*}, Ananda Shabrina Putri Gunawan¹, Bayu Kurniawan¹, Dan
Gilang Cahya Nusantara¹

¹Program Studi Kartografi dan Penginderaan Jauh, Departemen Sains Informasi Geografi,
Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

*E-mail: rosyadi@ugm.ac.id

Received: 18 07 2025 / Accepted: 23 12 2025 / Published online: 21 01 2026

ABSTRAK

Luas dan rotasi tanam merupakan variabel kunci dalam estimasi produksi padi yang dapat dianalisis melalui penginderaan jauh dengan pendekatan temporal. Meskipun demikian, penginderaan jauh menghadapi kendala biaya ketika dibutuhkan citra dengan resolusi temporal yang tinggi sekaligus resolusi spasial yang memadai. Oleh karena itu diperlukan metode yang dapat meningkatkan aspek resolusi temporal citra penginderaan jauh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan algoritma *Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model* (ESTARFM) dalam menghasilkan informasi temporal tambahan untuk mengenali pola rotasi tanam padi. Metode yang digunakan adalah pemodelan ESTARFM pada citra Landsat 8 dan citra MODIS untuk menghasilkan citra fusi dengan resolusi spasial setara Landsat 8 dan resolusi temporal yang ditingkatkan dari MODIS. Uji akurasi nilai indeks NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) pada citra fusi hasil ESTARFM dilakukan dengan menghitung RMSE dari perbandingan nilai NDVI antara citra fusi tersebut dan citra Landsat 8 pada waktu citra yang sama. Dihasilkan nilai RMSE 0,017165 (baik). Analisis pola rotasi tanam padi melalui grafik nilai *mean* indeks NDVI dengan penambahan citra fusi hasil ESTARFM menghasilkan pendetailan fase pertumbuhan tanaman padi. Kesimpulan penelitian ini adalah pemodelan ESTARFM mampu menghasilkan citra fusi spasial temporal dengan akurasi yang memadai serta mendukung identifikasi fase pertumbuhan tanaman padi secara detail, sehingga berpotensi memperkuat penyediaan informasi produksi padi berbasis penginderaan jauh.

Kata Kunci: Pola Tanam Padi, ESTARFM, Fusi Spasial Temporal

ABSTRACT

Crop area and crop rotation are pivotal variables in estimating rice production. These values can be estimated through remote sensing, utilizing a temporal approach. However, acquiring images with both high temporal and adequate spatial resolution is costly. A methodology is required to enhance the temporal resolution of remote sensing images. This study analyzes the ability of the *Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model* (ESTARFM) algorithm to generate additional temporal information for recognizing rice crop rotation patterns. The method used is ESTARFM modeling on Landsat 8 and MODIS images to create fused images that have Landsat 8 spatial resolution and improved MODIS temporal resolution. The accuracy of the NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) value in the ESTARFM fusion image was assessed by calculating the RMSE by comparing the NDVI values between the fusion image and the Landsat 8 image at the same time. The RMSE value was determined to be 0.017165, a satisfactory level of accuracy. The analysis of rice crop rotation patterns through graphs of mean NDVI index values with the addition of ESTARFM fusion images, resulted in detailed information on the growth phases of rice plants. ESTARFM modeling produces spatio-temporal fusion images with adequate accuracy and supports the detailed identification of rice growth phases. This method can thus strengthen rice production information provision through remote sensing.

Keywords: Rice Planting Patterns, ESTARFM, Spatio-temporal Fusion

PENDAHULUAN

Informasi ketersediaan bahan pangan, khususnya komoditas beras, sangat diperlukan oleh pemerintah dalam menentukan impor bahan pangan sebagai tambahan pada stok pangan nasional. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa impor beras memiliki hubungan yang berlawanan arah dengan produksi domestik, ketika produksi dalam negeri mengalami penurunan, pemerintah cenderung meningkatkan impor untuk memastikan kecukupan pasokan. Sebaliknya dengan peningkatan produksi domestik maka akan menekan impor beras. Pola ini konsisten dengan temuan berbagai studi yang menegaskan adanya mekanisme substitusi antara produksi nasional dan impor dalam menjaga ketahanan pangan nasional (Khasanah & Gunanto, 2024; Safii et al., 2019; Ilham Ramadhan et al., 2025; Shobur et al., 2025). Namun demikian dalam pemenuhan ketersediaan pangan bagi rakyat, pemerintah mengutamakan hasil produksi sendiri (Bapanas, 2023).

Informasi ketersediaan bahan pangan nasional dibutuhkan secara kontinu, dalam waktu cepat dan akurat. Terdapat perbedaan cara menghitung stok beras oleh Badan Usaha Logistik (Bulog) dan Kementerian Pertanian (Kementan) yang dapat berdampak pada kebijakan pemerintah dalam mengimpor beras dan akan mempunyai efek samping pada harga gabah pada tingkat petani. Bulog menghitung stok beras berdasarkan padi hasil panen dari sawah (setelah padi menjadi beras) sementara Kementan berdasarkan pada padi saat masih di sawah (luas panen) (*The Conversation*, 2023).

Kementan menghitung produksi padi dengan rumus perkalian luas panen padi dan produktivitas lahan per hektar (Khasanah & Gunanto, 2024). Luas panen dihitung dari luas lahan yang dipanen pada area yang ditanami pada periode waktu tertentu yaitu satu musim pertanian atau

satu tahun dengan mempertimbangkan rotasi tanam. BPS mulai tahun 2018 melakukan survei luas panen menggunakan metode *sampling* kerangka sampel area (KSA) yang lebih objektif menggantikan metode *eye estimate* (Kementan, 2020).

Pengukuran luas panen yang dilakukan melalui survei menggunakan metode KSA masih membutuhkan pengamatan langsung pada area sampel sehingga masih membutuhkan surveyor dan waktu yang relatif lama. Untuk itu diperlukan metode pengukuran luas panen yang cepat pada cakupan yang luas. Penginderaan jauh mempunyai peluang untuk dimanfaatkan pada pemetaan luas panen. Penginderaan jauh dapat merekam permukaan bumi, di antaranya area pertanian, dengan cakupan yang luas dalam waktu yang singkat.

Pengukuran rotasi tanam pada daur hidup singkat seperti tanaman padi dan palawija memerlukan informasi temporal yang tinggi. Saat ini citra penginderaan jauh dengan resolusi temporal yang baik, sebagian besar mempunyai resolusi spasial yang jelek. Sedangkan untuk pengukuran rotasi tanam pada tanaman padi selain membutuhkan resolusi temporal yang tinggi juga memerlukan resolusi spasial menengah hingga tinggi. Citra WorldView-3 merupakan contoh citra yang mempunyai resolusi spasial tinggi (1,6 meter) dan resolusi temporal yang tinggi (< 1 hari), namun mempunyai harga yang tinggi juga (Rizkika, 2018).

Untuk itu diperlukan model fusi spasial temporal dimana dapat menggabungkan dua citra dengan mengambil keunggulan resolusi spasial dan temporal. Citra Landsat yang mempunyai resolusi spasial 30 m dapat diintegrasikan dengan citra MODIS dengan resolusi temporal satu atau dua hari akan menghasilkan data penginderaan jauh dengan resolusi spasial dan temporal yang tinggi (Li et al., 2021).

Terdapat beberapa algoritma yang dapat dimanfaatkan untuk melakukan fusi spasial temporal citra diantaranya algoritma ESTARFM yang merupakan pengembangan dari algoritma STARFM (Zhu et al., 2010). Algoritma fusi spasial temporal citra telah banyak diuji coba pada beberapa kasus. Pada kasus tutupan lahan campuran (plot vegetasi yang dikelilingi oleh plot tutupan lahan campuran) diperoleh hasil interpolasi spasial dengan bias yang besar, yaitu -15% hingga -30% (Kong et al., 2021). Pada kasus yang lain fusi *spatio-temporal* dapat digunakan untuk memantau dinamika irigasi pada area sawah (Xiao et al., 2022). Sisheber et al. (2022) menggunakan algoritma ESTARFM untuk pemantauan pertumbuhan tanaman dalam sistem pertanian yang dinamis dan terfragmentasi di Ethiopia.

Terdapat beberapa penelitian fusi spasial temporal maupun pola tanam tanaman padi di Indonesia. Rizkika (2018) melakukan penelitian fusi spasial temporal menggunakan algoritma STARFM untuk pemetaan penutup lahan. Fatikhunnada et al. (2020) melakukan penelitian tentang klasifikasi pola tanam tanaman padi di pulau Jawa. Metode yang digunakan adalah rekonstruksi temporal, *noise reduction*, dan klasifikasi k-means.

Meskipun penelitian mengenai fusi spasial temporal menggunakan algoritma ESTARFM telah banyak dilakukan, namun sebagian studi berfokus pada terapan untuk identifikasi penutup lahan. Sedangkan terapan untuk pemantauan tanaman pertanian padi belum banyak dilakukan di wilayah Indonesia, dimana pola tanam padi pada masing-masing wilayah/ negara dapat berbeda-beda mengikuti kondisi iklim dan geomorfologi. Kondisi ini menunjukkan adanya *gap* penelitian yang perlu dijawab melalui penelitian pola tanam padi di Indonesia yang memanfaatkan penginderaan jauh dengan fusi spasial temporal berbasis

algoritma ESTARFM dan indeks NDVI. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kemampuan algoritma ESTARFM dalam menghasilkan informasi temporal tambahan pada pola rotasi tanam padi.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

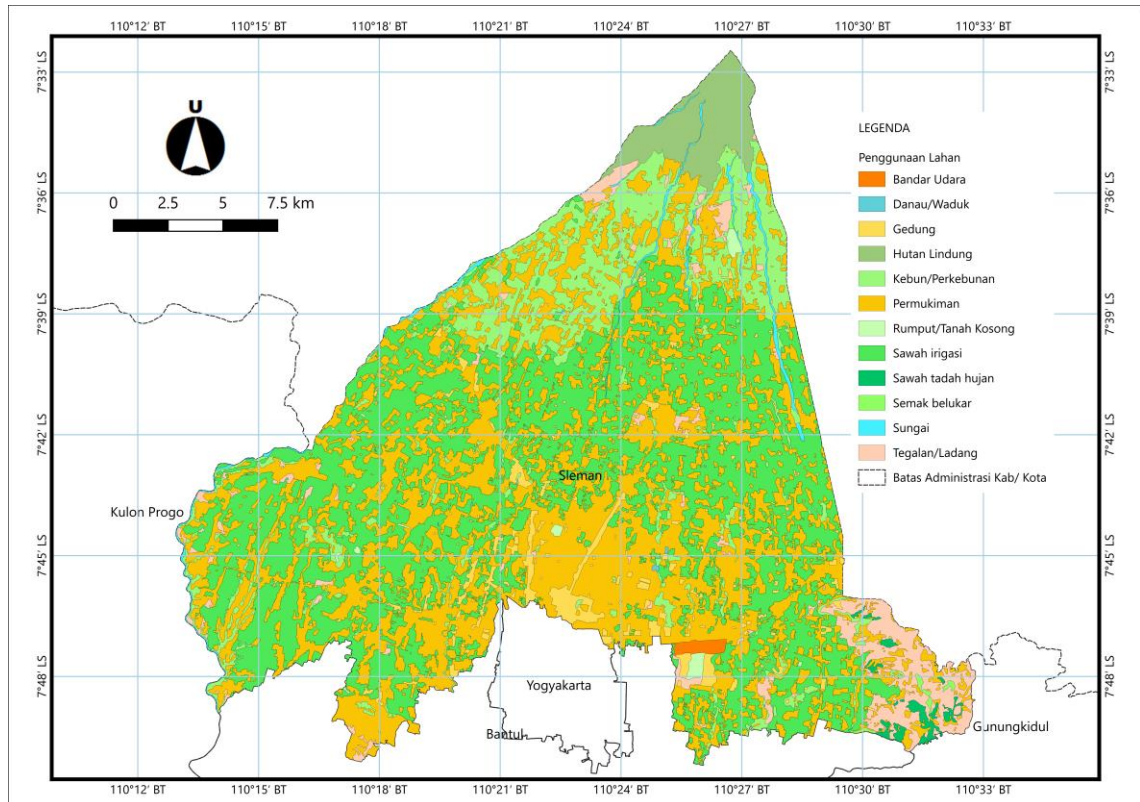
Penelitian ini dilakukan di wilayah Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan menggunakan data sekunder pada tahun 2019 dan bulan Januari - Februari tahun 2020 sebagai satu siklus pola rotasi tanam padi satu tahun penuh. Dipilih tahun 2019 karena ketersediaan data pembandingan berupa data survei pola tanam tahun 2019.

Kabupaten Sleman terletak di 10° 33' 00" BT dan 110° 13' 00" BT, 7° 34' 51" LS dan 7° 47' 30" LS. Topografi Sleman dari utara ke selatan berupa puncak Gunung Merapi, lereng gunung, dan dataran rendah. Dengan kondisi topografi dan gunung api yang masih aktif menjadikan sisi tengah dan selatan Kabupaten Sleman berupa lahan sawah yang subur dengan irigasi dan tadah hujan. Sebagai gambaran distribusi penggunaan lahan di Kabupaten Sleman dapat dilihat pada Gambar 1.

Alat dan Bahan

Objek penelitian ini berupa lahan sawah dengan pola tanam satu kali, dua kali, dan tiga kali tanam dalam satu tahun. Penelitian ini menggunakan data peta Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LP2B) wilayah Kabupaten Sleman dan data survei pola tanam pada tahun 2019.

Citra satelit yang digunakan adalah citra Landsat 8 dan citra MODIS dengan waktu perekaman Februari 2019 sampai Februari 2020. Alat yang digunakan adalah komputer dengan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis, pengolah citra satelit, dan perangkat lunak pemrograman Python.



Gambar 1: Peta Penggunaan Lahan Kabupaten Sleman Tahun 2022
(Sumber: Geoportal Kabupaten Sleman)

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah eksperimen terhadap model fusi spasial temporal menggunakan algoritma ESTARFM pada citra Landsat 8 dan MODIS.

Metode Pengumpulan, Pengolahan, Dan Analisis Data

Data pembanding diperoleh dari pengisian atribut lahan sawah pada peta LP2B yang ditambah informasi hasil survei pola tanam (1 kali, 2 kali, dan 3 kali tanam padi). Informasi pola tanam yang tersedia adalah hasil survei tahun 2019 maka digunakan citra dengan waktu perekaman yang mendekati waktu survei. Namun demikian karena pada bulan Januari 2019 di wilayah Kabupaten Sleman banyak tertutup awan maka waktu perekaman dipilih dari bulan Februari 2019 sampai Februari 2020.

Algoritma yang digunakan untuk fusi spasial temporal adalah *Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model* (ESTARFM). Konsep algoritma ESTARFM didasari pada asumsi bahwa citra penginderaan jauh dari berbagai sensor satelit yang direkam pada wilayah dan tanggal yang sama dapat saling dibandingkan dan menunjukkan keterkaitan setelah melalui proses kalibrasi radiometrik, koreksi geometrik, serta koreksi atmosfer. Meski demikian, perbedaan karakteristik sistem sensor—seperti parameter orbit, bandwidth, waktu perekaman, dan respons spektral—dapat menimbulkan bias sistematis pada nilai reflektansi permukaan antar citra. Prinsip utama ESTARFM adalah memanfaatkan korelasi tersebut untuk mengintegrasikan data dari berbagai sumber sekaligus mengurangi bias yang muncul akibat perbedaan sistem (Zhu et al., 2010).

Langkah yang dilakukan untuk menjalankan algoritma ESTARFM diawali dengan pemilihan citra sebagai berikut: (1) menyiapkan citra Landsat yang dalam kasus ini sebagai citra beresolusi spasial halus dan MODIS sebagai citra beresolusi spasial kasar, (2) memilih 2 citra Landsat awal dan akhir, (3) memilih 2 citra MODIS yang sama waktunya dengan citra Landsat pada langkah ke-2, (4) menyiapkan 1 citra MODIS pada waktu perekaman di antara waktu awal dan akhir untuk diproses pada algoritma ESTARFM, dimana hasil yang akan diperoleh adalah citra dengan resolusi spasial mengikuti citra Landsat dengan waktu perekaman mengikuti citra MODIS ini.

Selanjutnya dilakukan langkah *data preprocessing* yaitu (1) koreksi radiometrik pada citra Landsat dan MODIS, (2) koreksi geometrik citra Landsat, (3) *resample* citra MODIS menjadi sama seperti resolusi spasial citra Landsat, (4) georektifikasi citra MODIS mengacu citra Landsat, (5) potong citra MODIS mengacu pada citra Landsat dengan memastikan ukurannya sama persis.

Hasil dari *data preprocessing* digunakan sebagai data untuk menjalankan algoritma ESTARFM dengan kode program Python. Algoritma ESTARFM menjalankan urutan langkah sebagai berikut: (1) pemilihan piksel tetangga yang serupa antara citra resolusi spasial halus dan piksel pusat citra resolusi spasial kasar pada jendela lokal, (2) perhitungan bobot pada piksel-serupa, (3) perhitungan koefisien konversi pada piksel-serupa dengan regresi linier, (4) perhitungan prediksi reflektansi citra resolusi spasial halus dari citra resolusi spasial kasar pada tanggal prediksi yang diinginkan berdasarkan nilai bobot dan koefisien konversi (Zhu et al., 2010).

Pemrosesan pada ESTARFM dilakukan terhadap band hijau, merah dan

inframerah. Hasil dari proses ini adalah citra fusi spasial temporal, yang selanjutnya dibuat indeks NDVI. Untuk mengetahui tingkat akurasi nilai indeks NDVI dari citra hasil ESTARFM maka dilakukan perhitungan RMSE yang membandingkan nilai indeks NDVI dari citra hasil ESTARFM dan nilai indeks NDVI dari citra Landsat 8 pada waktu citra yang sama.

Ekstraksi pola rotasi tanam padi dilakukan dengan memanfaatkan data indeks NDVI citra hasil ESTARFM ditumpang susun dengan data sampel pola tanam 1, 2, dan 3 kali tanam padi. Nilai rata-rata (*mean*) indeks NDVI diplotkan pada grafik setiap waktu citra. Dari grafik tersebut akan diperoleh kurva yang mengindikasikan pola rotasi tanam padi dimana terdapat fase vegetatif dan generatif. Langkah-langkah tersebut di atas diilustrasikan pada diagram alir penelitian yang disajikan pada Gambar 2.

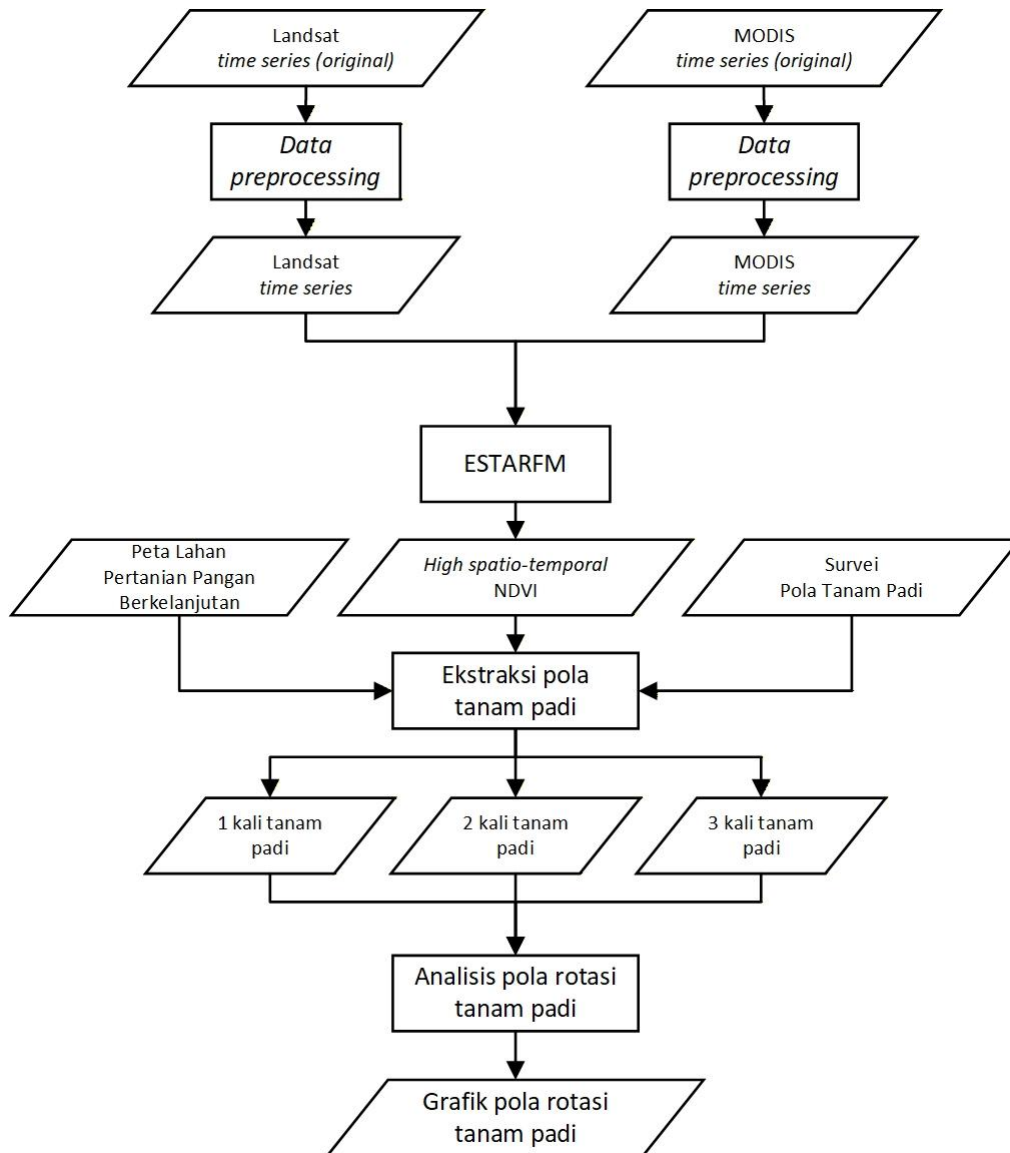
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Visual Citra dan Akurasi

Hasil pemrosesan dengan algoritma ESTARFM diperoleh citra baru yang mengisi kedetailan temporal citra Landsat. Citra baru tersebut mempunyai resolusi spasial mengikuti citra Landsat. Hasil perbandingan tampilan visual citra dapat dilihat seperti pada Gambar 3. Untuk membandingkan dan meningkatkan kontras vegetasi maka citra disusun pada komposit 543 (band infra merah, merah, dan hijau) menggunakan waktu yang sama. Secara visual dapat dilihat bahwa hasil ESTARFM tampil lebih gelap dan memiliki kontras yang lebih tinggi dibandingkan dengan citra asli Landsat 8. Kondisi ini sejalan dengan temuan Emelyanova et al. (2013) yang menyatakan bahwa akurasi dan karakter visual hasil ESTARFM sangat dipengaruhi oleh kualitas serta kesesuaian citra dasar terhadap dinamika spasial temporal wilayah studi. Selain itu, Jarihani et al.

(2014) juga menyatakan bahwa proses *blending* dapat menghasilkan perbedaan distribusi nilai reflektansi, sehingga

tampilan citra fusi dapat mengalami perubahan kecerahan maupun kontras meskipun secara statistik tetap akurat.



Gambar 2: Diagram Alir Penelitian

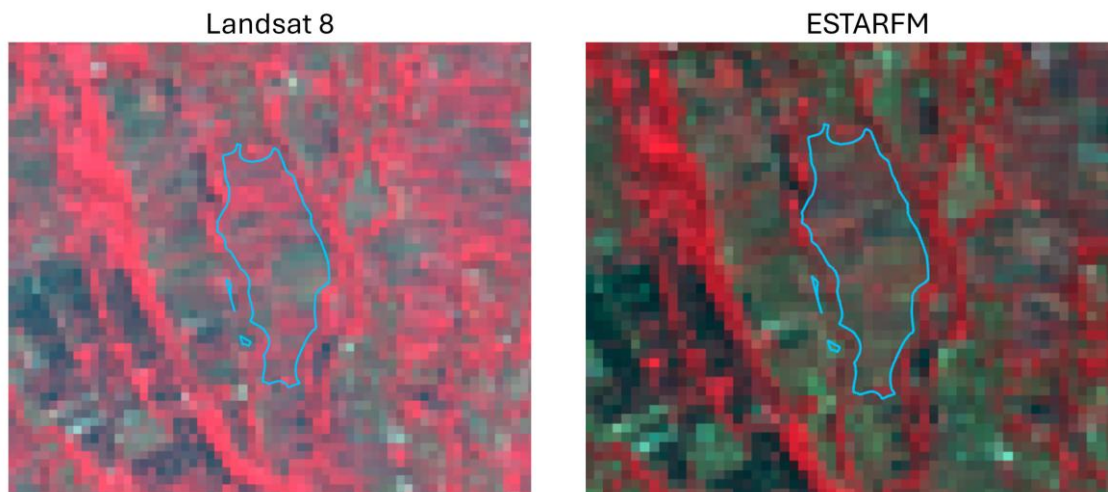
Tingkat akurasi nilai piksel citra NDVI hasil ESTARFM dihitung dengan membandingkan terhadap citra NDVI dari citra Landsat 8 pada waktu citra yang sama. Hasil RMSE diperoleh 0,017165 yang menandakan akurasi cukup baik.

Perbandingan Fase Tumbuh Tanaman Padi

Fase pertumbuhan tanaman padi terdiri dari fase vegetatif dan fase generatif. Salah satu indeks vegetasi citra yang dapat dipakai untuk membandingkan fase tersebut adalah NDVI, dimana dapat mengukur tingkat kehijauan atau aktivitas

fotosintesis vegetasi. Pada fase vegetatif dimulai pada saat padi ditanam dimana tingkat kehijauan yang rendah maka nilai indeks NDVI juga rendah. Seiring makin tumbuh tingginya tanaman padi yang menghijau maka nilai indeks NDVI makin

tinggi. Pada saat tanaman padi mulai menguning dan masuk fase generatif maka nilai indeks NDVI akan turun. Sehingga pola nilai indeks NDVI untuk fase tumbuh tanaman padi akan membentuk grafik seperti lonceng.



Gambar 3: Perbandingan Citra Komposit 543 dari Hasil Fusi Spasial Temporal ESTARFM dengan Citra Landsat 8

Tanaman padi di sawah sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air yang dapat berasal dari curah hujan langsung maupun dari irigasi teknis. Untuk membantu analisis fase tanaman padi maka perlu memperhatikan informasi curah hujan pada waktu yang sama dengan bulan survei dan perekaman citra seperti terlihat pada Tabel 1.

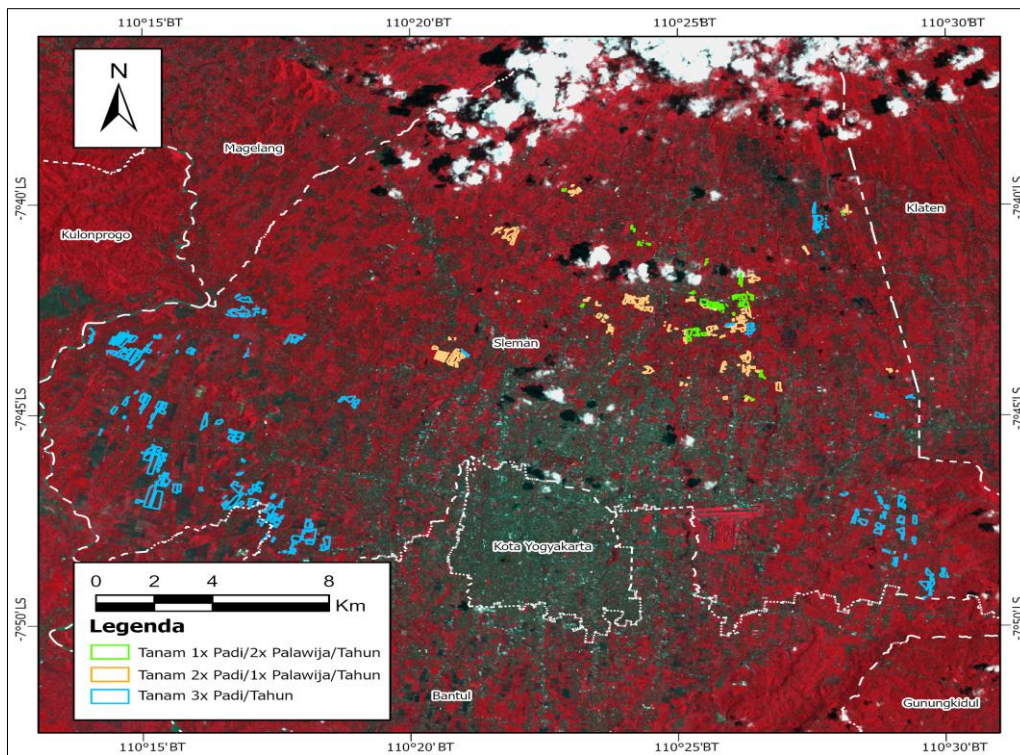
Analisis pola rotasi tanam tanaman padi dibuat dengan menggunakan nilai *mean* indeks NDVI pada setiap waktu citra. Untuk mendapatkan pola rotasi tanam tanaman padi (1 kali, 2 kali, dan 3 kali tanam padi dalam satu tahun) maka dibuat kelompok sampel berdasarkan pola tersebut. Sebaran sampel dapat dilihat pada Gambar 4. Pada gambar terlihat sebaran lokasi sawah dengan pola tanam 3 kali tanam padi banyak berada pada wilayah barat daya dan tenggara dimana merupakan wilayah pertanian dengan irigasi teknis yang baik. Sedangkan lokasi sawah dengan pola tanam 1 kali dan 2 kali

tanam padi berada di bagian tengah. Dari peta survei lokasi pola tanam, yang merupakan informasi tambahan dari peta LP2B, dipilih lokasi yang tidak tertutup awan.

Tabel 1. Curah Hujan per Bulan (mm) Kabupaten Sleman

Bulan	Tahun 2019	Tahun 2020
Januari	457	327
Februari	337	317
Maret	560	812
April	413	374
Mei	22	254
Juni	0	77
Juli	1	1
Agustus	1	26
September	0	44
Oktober	0	238
November	164	342
Desember	390	460

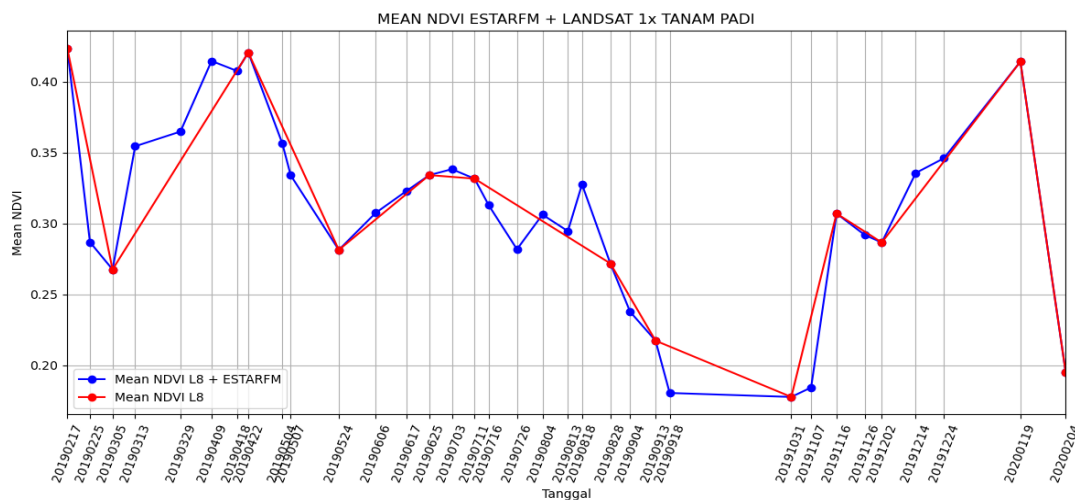
Sumber: BPS DIY



Gambar 4: Peta Sebaran Sampel

Hasil plot nilai *mean* NDVI diperoleh grafik *mean* NDVI untuk masing-masing pola tanam. Berdasarkan grafik nilai *mean* NDVI tersebut dibuat grafik perbandingan pola yang dihasilkan oleh citra Landsat saja dan citra Landsat yang ditambah hasil ESTARFM. Grafik

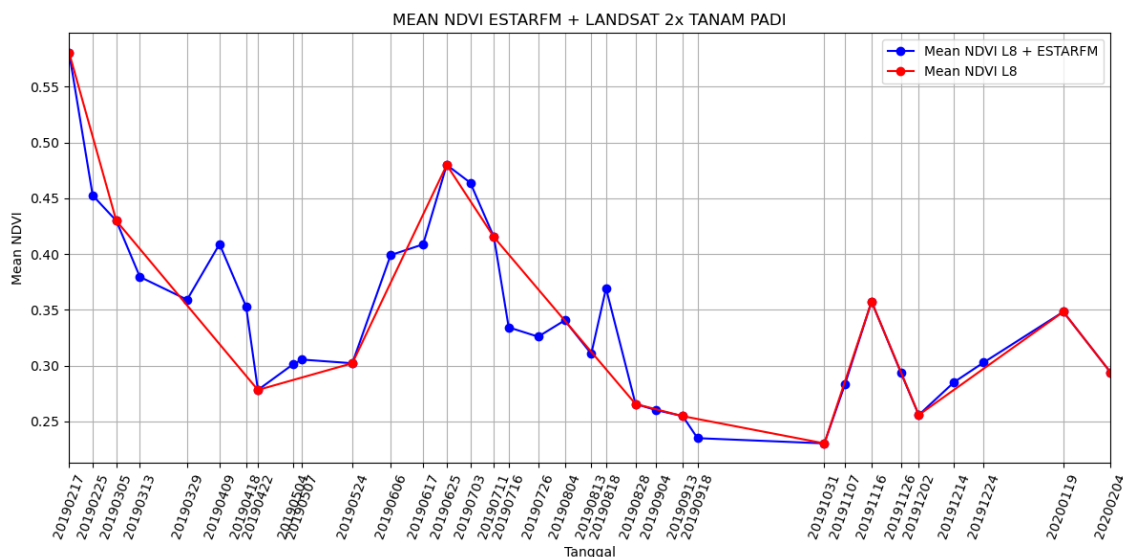
nilai *mean* NDVI untuk sampel 1 kali tanam padi dapat dilihat pada Gambar 5. Grafik pola nilai *mean* NDVI dibandingkan tambahan nilai *mean* NDVI yang berasal dari pengolahan ESTARFM hampir sama tetapi ada penambahan kedetailan pada bulan Maret.



Gambar 5: Grafik Nilai *Mean* NDVI Sampel 1 Kali Tanam Padi pada Citra Landsat dan Citra Hasil Pengolahan ESTARFM

Grafik nilai *mean* NDVI untuk sampel 2 kali tanam padi dapat dilihat pada Gambar 6. Grafik pola nilai *mean* NDVI dibandingkan tambahan nilai *mean* NDVI yang berasal dari pengolahan ESTARFM

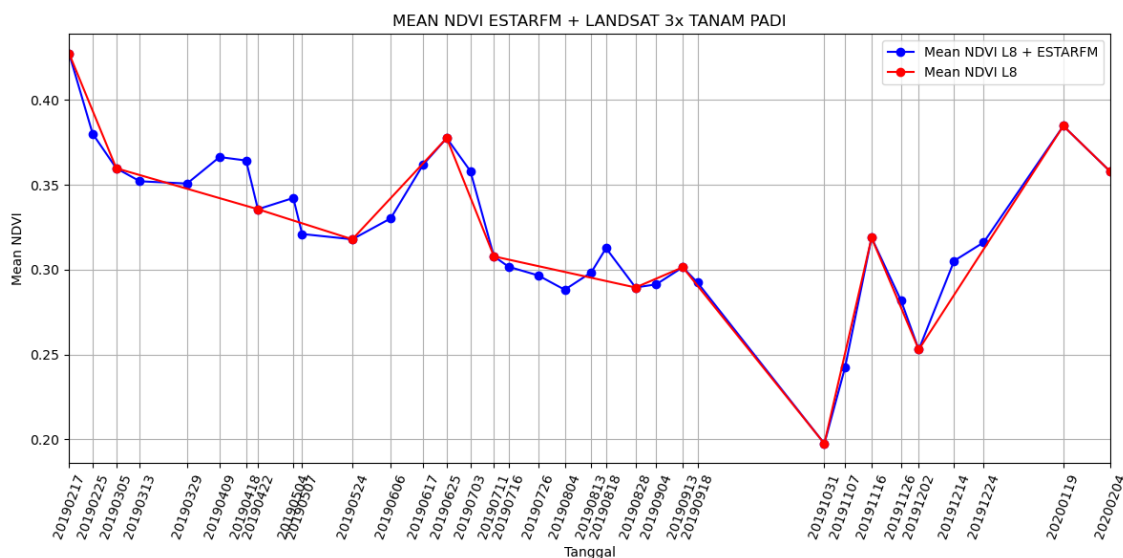
terdapat pendetailan pada beberapa waktu terutama pada bulan Maret - April dimana dengan penambahan kedetailan tersebut dapat menemukan pola penanaman pada periode bulan Februari – April.



Gambar 6: Grafik Nilai *Mean* NDVI Sampel 2 Kali Tanam Padi pada Citra Landsat dan Citra Hasil Pengolahan ESTARFM

Grafik nilai *mean* NDVI untuk sampel 3 kali tanam padi dapat dilihat pada Gambar 7. Grafik pola nilai *mean* NDVI

dibandingkan tambahan nilai *mean* NDVI yang berasal dari pengolahan ESTARFM juga terdapat pendetailan pada bulan Maret – April.



Gambar 7: Grafik Nilai *Mean* NDVI Sampel 3 Kali Tanam Padi pada Citra Landsat dan Citra Hasil Pengolahan ESTARFM

Berdasarkan pencermatan pola pada grafik nilai *mean* NDVI untuk sampel pola 2 kali dan 3 kali tanam dapat terlihat manfaat dari penambahan informasi nilai *mean* NDVI yang berasal dari pengolahan ESTARFM. Hal ini selaras dengan penelitian Sisheber et al. (2022) dimana fusi Landsat-MODIS memungkinkan untuk deteksi fenologi tanaman padi dan jagung. Informasi tambahan tentang pertumbuhan tanaman sangat membantu dalam menyempurnakan kurva dan ambang batas untuk menentukan parameter fenologi.

KESIMPULAN

Algoritma ESTARFM dapat menghasilkan citra tambahan secara temporal dengan resolusi spasial setara Landsat 8. Nilai piksel pada indeks NDVI hasil ESTARFM mempunyai ketelitian cukup baik dengan RMSE 0,017165.

Citra hasil ESTARFM mendukung identifikasi fase pertumbuhan tanaman padi dan pola rotasi tanam padi secara detail, sehingga berpotensi memperkuat penyediaan informasi produksi pangan berbasis penginderaan jauh.

Kedetailan informasi fase pertumbuhan tanaman padi dapat ditingkatkan apabila tersedia citra dengan resolusi temporal yang semakin bagus. Meskipun algoritma ESTARFM dapat meningkatkan resolusi temporal citra tetapi hanya bisa bekerja optimal jika minimal tersedia pasangan rentang waktu citra resolusi spasial tinggi. Di samping itu ESTARFM hanya dapat melakukan interpolasi dan tidak dapat melakukan ekstrapolasi. Untuk itu penelitian ini dapat dikembangkan pada model fusi spasial temporal lain yang tidak terbatas pada rentang antar citra resolusi spasial tinggi dan penelitian model fusi spasial temporal yang dapat menghasilkan prediksi citra resolusi spasial tinggi untuk periode yang panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Geografi UGM yang telah memberikan dana penelitian melalui Program Hibah Penelitian Mandiri Dosen Batch 1 Tahun 2025 dan kepada asisten yang telah membantu mengolah data.

DAFTAR PUSTAKA

- Emelyanova, I. V., McVicar, T. R., Van Niel, T. G., Li, L. T., & Van Dijk, A. I. J. M. (2013). Assessing the accuracy of blending Landsat–MODIS surface reflectances in two landscapes with contrasting spatial and temporal dynamics: A framework for algorithm selection. *Remote Sensing of Environment*, 133, 193–209. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.007>
- Fatikhunnada, A., Liyantono, Solahudin, M., Buono, A., Kato, T., & Seminar, K. B. (2020). Assessment of pre-treatment and classification methods for Java paddy field cropping pattern detection on MODIS images. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 17, 100281. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100281>
- Feng Gao, Masek, J., Schwaller, M., & Hall, F. (2006). On the blending of the Landsat and MODIS surface reflectance: Predicting daily Landsat surface reflectance. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(8), 2207–2218. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.872081>
- Ilham Ramadhan, Muhammad Muhammad, Try Rizwar, & Muhammad Faiz Habibullah. (2025). Mengapa Indonesia Masih Harus Mengimpor Beras di Tengah Upaya Swambada. *Jurnal Sadewa* :

- Publikasi Ilmu Pendidikan, pembelajaran dan Ilmu Sosial*, 3(1), 350–355.
<https://doi.org/10.61132/sadewa.v3i1.1552>
- Jarihani, A., McVicar, T., Van Niel, T., Emelyanova, I., Callow, J., & Johansen, K. (2014). Blending Landsat and MODIS Data to Generate Multispectral Indices: A Comparison of “Index-then-Blend” and “Blend-then-Index” Approaches. *Remote Sensing*, 6(10), 9213–9238.
<https://doi.org/10.3390/rs6109213>
- Kementerian Pertanian. (2020). Outlook Padi: Komoditas Pertanian Subsektor Tanaman Pangan. Pusat Data Dan Sistem Informasi Pertanian, 1–94.
<https://satudata.pertanian.go.id/details/publikasi/198>
- Khasanah, N. N., & Gunanto, E. Y. A. (2024). Pengaruh Luas Panen Padi, Produktivitas Lahan, Pertumbuhan Harga Beras dan Jumlah Penduduk terhadap Ketersediaan Beras di Indonesia tahun 1990-2022. *Diponegoro Journal of Economics*, 13(2), 67–79.
<https://doi.org/10.14710/djoe.44900>
- Kong, J., Ryu, Y., Huang, Y., Dechant, B., Houborg, R., Guan, K., & Zhu, X. (2021). Evaluation of four image fusion NDVI products against in-situ spectral-measurements over a heterogeneous rice paddy landscape. *Agricultural and Forest Meteorology*, 297, 108255.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108255>
- Li, R., Xu, M., Chen, Z., Gao, B., Cai, J., Shen, F., ... Chen, D. (2021). Phenology-based classification of crop species and rotation types using fused MODIS and Landsat data: The comparison of a random-forest-based model and a decision-rule-based model. *Soil and Tillage Research*, 206, 104838.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104838>
- Pemerintah Pastikan Impor Beras Dilakukan Hanya untuk Menjaga Stabilitas Pasokan dan Harga Pangan (2023, November 20). *Badan Pangan Nasional (Bapanas)*. Diambil dari <https://badanpangan.go.id/blog/post/pemerintah-pastikan-impor-beras-dilakukan-hanya-untuk-menjaga-stabilitas-pasokan-dan-harga-pangan>
- Rizkika, K. (2018). *Analisis Fusi Data Multi Sensor Menggunakan Algoritma Spatial And Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model (Studi Kasus: Worldview-3 dan Landsat 8)* (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Safii, M., Wahyudi, M., Solikhun, Zarlis, M., & Effendi, S. (2019). Food Self-sufficiency Decision Support Model Based on Provinces in Indonesia Using the Clustering Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1255(1), 012068.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1255/1/012068>
- Sengkarut data beras Indonesia: Kenapa terjadi, apa dampaknya bagi ketahanan pangan dan solusinya. (2023, Februari 8). *The Conversation*. Diambil dari <https://theconversation.com/sengkarut-data-beras-indonesia-kenapa-terjadi-apa-dampaknya-bagi-ketahanan-pangan-dan-solusinya-198415>
- Shobur, M., Nyoman Marayasa, I., Bastuti, S., Muslim, A. C., Pratama, G. A., & Alfatiyah, R. (2025). Enhancing food security through import volume optimization and supply chain communication

- models: A case study of East Java's rice sector. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 11(1), 100462. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100462>
- Sisheber, B., Marshall, M., Mengistu, D., & Nelson, A. (2022). Tracking crop phenology in a highly dynamic landscape with knowledge-based Landsat–MODIS data fusion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 106, 102670. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102670>
- Xiao, D., Niu, H., Guo, F., Zhao, S., & Fan, L. (2022). Monitoring irrigation dynamics in paddy fields using spatiotemporal fusion of Sentinel-2 and MODIS. *Agricultural Water Management*, 263, 107409. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107409>
- Zhu, X., Chen, J., Gao, F., Chen, X., & Masek, J. G. (2010). An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions. *Remote Sensing of Environment*, 114(11), 2610–2623. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.05.032>