

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON SUSTAINABLE AGRICULTURAL PRODUCTION USING SATELLITE DATA: A LITERATURE REVIEW

*Dampak Perubahan
Iklim terhadap Produksi
Pertanian
Berkelanjutan
Menggunakan Data
Satelit: Tinjauan
Literatur*

 **Junivia Virginia Jermias**
1*)

 **Wiske Rotinsulu**¹⁾

¹⁾ Program Studi
Agroteknologi, Fakultas
Pertanian, Universitas Sam
Ratulangi, Kota Manado, Kode
Pos 95115

 *Corresponding author:
juniviajermias@gmail.com

Abstract

Climate change is a major challenge to global food security, particularly in agricultural systems that depend on climate conditions. Remote sensing technology through satellite data offers an opportunity to monitor and analyze the impact of climate change on agricultural productivity sustainably. This study aims to review the latest findings in the last five years (2019–2024) regarding the use of satellite data such as MODIS, Landsat-8, and Sentinel-2 in detecting climate variability and its relationship to agricultural yields. The method used is a systematic literature review by reviewing scientific articles, international agency reports, and relevant publications. The analysis results show that satellite data can provide important information related to vegetation indices (NDVI, EVI), surface temperature, rainfall, and soil moisture to predict agricultural productivity. The integration of remote sensing with agricultural models and machine learning improves the accuracy of crop yield predictions and supports climate change adaptation. In addition, recent studies have found a decrease in agricultural yields of up to 10–20% due to extreme climate variability, especially in Asia and Africa. The use of satellite data plays a crucial role in the development of sustainable agriculture by providing data-based information for adaptation planning, resource management, and climate change risk mitigation.

Keywords: climate change, sustainable agriculture, satellite data, remote sensing, vegetation index

Abstrak

Perubahan iklim menjadi tantangan utama bagi ketahanan pangan global, terutama dalam sistem pertanian yang bergantung pada kondisi iklim. Teknologi penginderaan jauh melalui data satelit menawarkan peluang untuk memantau dan menganalisis dampak perubahan iklim terhadap produktivitas pertanian secara berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji temuan-temuan terkini dalam lima tahun terakhir (2019–2024) mengenai

pemanfaatan data satelit seperti MODIS, Landsat-8, dan Sentinel-2 dalam mendeteksi variabilitas iklim dan hubungannya dengan hasil pertanian. Metode yang digunakan adalah studi literatur sistematis dengan meninjau artikel ilmiah, laporan lembaga internasional, dan publikasi relevan. Hasil analisis menunjukkan bahwa data satelit mampu memberikan informasi penting terkait indeks vegetasi (NDVI, EVI), suhu permukaan, curah hujan, dan kelembaban tanah untuk memprediksi produktivitas pertanian. Integrasi penginderaan jauh dengan model pertanian dan machine learning meningkatkan akurasi prediksi hasil panen dan mendukung adaptasi perubahan iklim. Selain itu, penelitian-penelitian terbaru menemukan adanya penurunan hasil pertanian hingga 10–20% akibat variabilitas iklim ekstrem, terutama di wilayah Asia dan Afrika. Pemanfaatan data satelit berperan penting dalam pengembangan pertanian berkelanjutan dengan menyediakan informasi berbasis data untuk perencanaan adaptasi, pengelolaan sumber daya, dan mitigasi risiko perubahan iklim.

Kata Kunci: perubahan iklim, pertanian berkelanjutan, data satelit, penginderaan jauh, indeks vegetasi

Pendahuluan

Perubahan iklim telah menjadi isu global yang berdampak luas terhadap berbagai sektor, terutama sektor pertanian yang sangat bergantung pada kondisi iklim. Peningkatan suhu rata-rata global, perubahan pola curah hujan, dan semakin seringnya kejadian cuaca ekstrem seperti banjir dan kekeringan mengakibatkan ketidakstabilan produksi pertanian di banyak wilayah (IPCC, 2021). Kondisi ini menimbulkan tantangan serius terhadap upaya mewujudkan pertanian berkelanjutan yang tidak hanya bertujuan meningkatkan produktivitas, tetapi juga menjaga kelestarian lingkungan dan kesejahteraan masyarakat (FAO, 2017).

Dalam beberapa dekade terakhir, teknologi penginderaan jauh (remote sensing) melalui pemanfaatan data satelit telah berkembang pesat dan menjadi salah satu pendekatan yang efektif untuk memantau dampak perubahan iklim terhadap pertanian. Berbagai sensor satelit seperti MODIS, Landsat, dan Sentinel menyediakan data mengenai suhu permukaan, kelembaban tanah, tutupan lahan, serta indeks vegetasi yang dapat digunakan untuk menganalisis hubungan antara variabilitas iklim dan produksi pertanian (Zhang et al., 2014; Wulder et al., 2019).

Melalui studi literatur, penelitian ini bertujuan merangkum hasil-hasil kajian terdahulu terkait pemanfaatan data satelit

dalam mendeteksi dampak perubahan iklim terhadap produksi pertanian berkelanjutan. Kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai metode, indikator, serta potensi pengembangan teknologi penginderaan jauh dalam mendukung ketahanan pangan dan pembangunan pertanian berkelanjutan di masa depan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur dengan metode *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengumpulkan, menganalisis, dan mensintesis informasi dari berbagai sumber ilmiah yang relevan terkait pemanfaatan data satelit dalam mendeteksi dampak perubahan iklim terhadap produksi pertanian berkelanjutan.

Hasil dan Pembahasan

Jenis Data Satelit yang Digunakan

Hasil studi literatur menunjukkan bahwa data dari satelit seperti MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), Landsat, dan Sentinel merupakan yang paling banyak digunakan dalam pemantauan dampak perubahan iklim terhadap produksi pertanian.

MODIS unggul dalam pemantauan jangka panjang dengan resolusi temporal tinggi (harian/mingguan), misalnya untuk menghitung Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) sebagai indikator kesehatan tanaman (Zhang et al., 2014). Landsat digunakan untuk resolusi spasial yang lebih baik (30 m) sehingga cocok untuk pemantauan perubahan tutupan lahan dan produktivitas pertanian di tingkat regional (Wulder et al., 2019). Sentinel-2 memberikan resolusi spasial dan temporal yang lebih baik serta gratis diakses,

sehingga populer di negara berkembang termasuk Indonesia (ESA, 2020).

Pemilihan data satelit bergantung pada skala penelitian, ketersediaan data, dan kebutuhan analisis. Di daerah tropis seperti Indonesia, data dengan frekuensi tinggi seperti MODIS atau Sentinel sangat berguna untuk mengatasi kendala tutupan awan yang tinggi.

Indikator Perubahan Iklim Terhadap Pertanian

Beberapa indikator - indikator memungkinkan pemodelan yang lebih komprehensif tentang hubungan antara variabilitas iklim dan produksi pertanian. Misalnya, penurunan NDVI diikuti oleh tren kekeringan mengindikasikan risiko gagal panen. Indikator utama yang dianalisis meliputi:

1. NDVI/EVI: Menggambarkan kesehatan dan biomassa vegetasi.
2. *Land Surface Temperature* (LST): Untuk mendeteksi kenaikan suhu yang memengaruhi evapotranspirasi dan ketersediaan air (Lobell et al., 2011).
3. *Precipitation Estimation*: Menggunakan data satelit seperti TRMM atau GPM untuk memantau variabilitas curah hujan (Huffman et al., 2015).
4. *Soil Moisture*: Menggunakan data dari satelit seperti SMAP untuk memantau kelembaban tanah.

Studi Lobell et al. (2011) menemukan bahwa peningkatan suhu global sebesar 1°C dapat menurunkan hasil panen padi hingga 10% di Asia Tenggara. Penelitian serupa di Indonesia oleh Sari et al. (2020) menggunakan data Landsat menunjukkan bahwa variabilitas curah hujan berpengaruh signifikan terhadap produktivitas padi di Jawa dan Sumatra. Perubahan iklim tidak

hanya mengubah pola pertumbuhan tanaman, tetapi juga mempengaruhi sistem irigasi, kesuburan tanah, dan siklus hama-penyakit. Oleh karena itu, sistem pertanian berkelanjutan harus memanfaatkan informasi iklim dari satelit untuk adaptasi, seperti penentuan kalender tanam yang lebih fleksibel.

Studi Kasus Hasil Penelitian yang memanfaatkan Remote Sensing untuk Produksi Pertanian

1. Pemantauan Kekeringan dengan Data Satelit untuk Ketahanan Pangan
Penelitian Ahmed et al. (2023) menggunakan data MODIS dan Sentinel-2 untuk memantau kekeringan di Asia Selatan yang berpengaruh pada produksi padi. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) digunakan untuk melihat kesehatan vegetasi. Penelitian menemukan bahwa selama musim kering ekstrem, NDVI turun signifikan dan berkorelasi langsung dengan penurunan hasil panen hingga 15–20%.

2. Integrasi Data Satelit dan Machine Learning untuk Prediksi Hasil Panen
Hasil penelitian Wang et al. (2022) menggabungkan data Landsat-8 dengan parameter iklim (curah hujan & suhu permukaan) dalam platform Google Earth Engine. Menggunakan Random Forest Regression untuk memprediksi produktivitas jagung di Tiongkok. Model mencapai akurasi tinggi ($R^2 = 0,82$), menunjukkan bahwa integrasi machine learning dan data satelit dapat memprediksi hasil panen secara presisi.

3. Dampak Perubahan Curah Hujan di Indonesia terhadap Produksi Padi
Menurut Sari et al 2021 dari Indonesian Journal of Geography Penelitian ini menganalisis hubungan curah hujan

ekstrem dengan produktivitas padi di Jawa Barat menggunakan Landsat-8. Hasilnya menunjukkan bahwa tahun-tahun dengan curah hujan ekstrem, seperti saat El Niño, menyebabkan penurunan produktivitas hingga 12%. Data satelit membantu memetakan area paling terdampak untuk intervensi cepat.

4. Pemanfaatan Data Sentinel-2 untuk Pertanian Presisi

Hasil penelitian dari Shrestha et al. (2020) Journal of Agricultural Water Management, Menggunakan data Sentinel-2 untuk mendeteksi stres tanaman padi dan gandum di Nepal. Enhanced Vegetation Index (EVI) digunakan untuk memantau perubahan kesehatan tanaman akibat kenaikan suhu dan kekeringan. Hasilnya menunjukkan bahwa deteksi dini stres tanaman memungkinkan pengelolaan irigasi yang lebih efisien.

5. Tren Global Pertanian Berkelanjutan dan Perubahan Iklim

Berdasarkan data dari FAO & NASA (2022) – WaPOR Project Water Productivity through Open-access of Remotely-sensed derived data (WaPOR) merupakan platform global berbasis data satelit untuk memantau produktivitas air di lahan pertanian. Menggunakan data dari MODIS dan Landsat untuk menghitung efisiensi penggunaan air dan hasil panen. Hasilnya digunakan oleh pemerintah di Afrika dan Asia untuk merancang kebijakan pertanian berkelanjutan.

Kesimpulan

Studi literatur ini menunjukkan bahwa pemanfaatan data satelit dan teknologi penginderaan jauh telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam mendeteksi dampak perubahan iklim

terhadap produksi pertanian berkelanjutan. Dalam lima tahun terakhir (2019–2024), beberapa temuan utama dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kendala Data Satelit: Platform satelit seperti MODIS, Landsat-8, dan Sentinel-2 terbukti mampu memantau variabilitas iklim, kesehatan tanaman, serta produktivitas lahan pertanian dengan resolusi spasial dan temporal yang memadai.
2. Indikator Kunci: Indeks vegetasi (NDVI, EVI), suhu permukaan, curah hujan, dan kelembaban tanah menjadi indikator utama dalam mengukur dampak perubahan iklim terhadap hasil pertanian.
3. Integrasi dengan Teknologi Lanjutan: Kombinasi data satelit dengan machine learning dan model pertanian (misalnya DSSAT, AquaCrop) meningkatkan akurasi prediksi hasil panen serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data.
4. Dampak Perubahan Iklim: Variabilitas curah hujan, kenaikan suhu, dan kejadian iklim ekstrem terbukti menurunkan produktivitas pertanian hingga 10–20% di beberapa wilayah, termasuk Indonesia.
5. Implikasi bagi Pertanian Berkelanjutan: Informasi berbasis data satelit memungkinkan perencanaan adaptasi iklim, pengelolaan irigasi presisi, pemilihan varietas tahan iklim, serta perancangan kebijakan ketahanan pangan di tingkat nasional maupun lokal.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa integrasi teknologi penginderaan jauh dengan analisis spasial dan pemodelan iklim adalah kunci dalam mendukung transformasi menuju sistem pertanian yang lebih adaptif, efisien, dan

berkelanjutan di tengah tantangan perubahan iklim global.

Daftar Pustaka

- Ahmed, S., et al. (2023). *Drought monitoring for rice yield estimation using MODIS and Sentinel-2 data*. Remote Sensing of Environment, 287, 113461. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113461>
- FAO & NASA. (2022). *WaPOR: Water Productivity through Open-access of Remotely-sensed derived data*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/in-action/remote-sensing-for-water-productivity>
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). *Climate trends and global crop production since 1980*. Science, 333(6042), 616–620.
- Sari, D. K., et al. (2021). *Impact of rainfall variability on rice production in West Java using Landsat-8 data*. Indonesian Journal of Geography, 53(1), 45–56. <https://doi.org/10.22146/ijg.61870>
- Shrestha, S., et al. (2020). *Monitoring crop health using Sentinel-2 data in Nepal*. Agricultural Water Management, 241, 106349. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106349>
- Wulder, M. A., Coops, N. C., Roy, D. P., White, J. C., & Hermosilla, T. (2019). *Land cover 2.0*. Remote Sensing of Environment, 224, 168–177.

- Wang, J., et al. (2022). *Machine learning and remote sensing for crop yield prediction in China*. Computers and Electronics in Agriculture, 198, 107078.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107078>
- Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., & Schneider, A. (2014). *The footprint of urban climates on vegetation phenology*. Geophysical Research Letters, 31(12).