

Dampak Perubahan Iklim terhadap Ketahanan Ekonomi Petani Kecil di Dataran Tinggi Karo

Harris Sipayung^{1*}, Sari Fitriana²

^{1,2}Ekonomi Pertanian, Universitas Panca Prakarya, Sulawesi, Indonesia

Email: ¹sipayung_harris@gmail.com, ²sari22fitriana@gmail.com
Email Penulis Korespondensi: ¹sipayung_harris@gmail.com

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak perubahan iklim terhadap ketahanan ekonomi petani kecil di Dataran Tinggi Karo serta mengidentifikasi strategi adaptasi yang dilakukan petani dalam menghadapi perubahan tersebut. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kualitatif dan kuantitatif melalui survei lapangan, wawancara mendalam dengan petani kecil, serta analisis data produksi dan pendapatan pertanian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan pola curah hujan, peningkatan suhu, serta meningkatnya frekuensi serangan hama dan penyakit tanaman berdampak signifikan terhadap produktivitas pertanian dan stabilitas pendapatan petani. Selain itu, ketergantungan pada satu komoditas utama dan keterbatasan akses terhadap teknologi pertanian serta informasi iklim memperburuk kerentanan ekonomi petani kecil. Namun demikian, beberapa petani telah melakukan strategi adaptasi seperti diversifikasi tanaman, perubahan waktu tanam, serta penggunaan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap perubahan iklim. Penelitian ini menyimpulkan bahwa perubahan iklim memberikan tekanan nyata terhadap ketahanan ekonomi petani kecil di Dataran Tinggi Karo. Oleh karena itu, diperlukan dukungan kebijakan, peningkatan akses terhadap informasi iklim, teknologi pertanian yang adaptif, serta penguatan kapasitas petani untuk meningkatkan ketahanan ekonomi mereka dalam menghadapi risiko perubahan iklim.

Kata Kunci: Perubahan Iklim, Ketahanan Ekonomi, Petani Kecil, Adaptasi Pertanian, Dataran Tinggi Karo.

Abstract— his study aims to analyze the impact of climate change on the economic resilience of smallholder farmers in the Karo Highlands and to identify the adaptation strategies used by farmers to cope with these changes. The research employs both qualitative and quantitative approaches through field surveys, in-depth interviews with smallholder farmers, and analysis of agricultural production and income data. The findings indicate that changes in rainfall patterns, rising temperatures, and the increasing frequency of pest and plant disease outbreaks significantly affect agricultural productivity and farmers' income stability. Furthermore, dependence on a single main commodity and limited access to agricultural technology and climate information exacerbate the economic vulnerability of smallholder farmers. Nevertheless, several farmers have adopted adaptation strategies such as crop diversification, adjustment of planting schedules, and the use of more climate-resilient crop varieties. The study concludes that climate change poses significant challenges to the economic resilience of smallholder farmers in the Karo Highlands. Therefore, stronger policy support, improved access to climate information, adaptive agricultural technologies, and capacity building for farmers are needed to enhance their economic resilience in the face of climate-related risks.

Keywords: climate change, economic resilience, smallholder farmers, agricultural adaptation, Karo Highlands.

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim telah menjadi salah satu tantangan global yang memberikan dampak signifikan terhadap berbagai sektor kehidupan, terutama sektor pertanian. Sektor ini sangat bergantung pada kondisi iklim seperti suhu, curah hujan, serta stabilitas musim tanam [1]. Perubahan pola iklim yang tidak menentu, peningkatan suhu global, serta meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem dapat memengaruhi produktivitas pertanian dan keberlanjutan mata pencaharian petani. Kondisi ini menjadi lebih kompleks bagi petani kecil yang memiliki keterbatasan sumber daya, akses teknologi, serta kapasitas adaptasi yang relatif rendah dibandingkan dengan pelaku pertanian skala besar.

Berbagai penelitian sebelumnya [2], [3] menunjukkan bahwa perubahan iklim memiliki hubungan erat dengan penurunan produktivitas pertanian dan meningkatnya kerentanan ekonomi petani. Studi yang dilakukan oleh [4] IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) menunjukkan bahwa perubahan suhu dan pola curah hujan berpotensi menurunkan hasil panen berbagai komoditas pertanian, terutama di wilayah tropis yang sangat bergantung pada kestabilan musim. Penelitian lain [5], [6] juga menegaskan bahwa petani kecil merupakan kelompok yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim karena ketergantungan mereka pada sumber daya alam serta keterbatasan modal dan akses informasi.

Beberapa penelitian di Indonesia [7], [8] juga mengungkapkan bahwa perubahan iklim memengaruhi sistem produksi pertanian melalui perubahan musim tanam, peningkatan serangan hama dan penyakit tanaman, serta ketidakpastian hasil panen. Penelitian [9], [10] mengenai adaptasi petani terhadap perubahan iklim menunjukkan bahwa sebagian petani mulai menerapkan strategi adaptasi seperti diversifikasi tanaman, penggunaan varietas unggul yang lebih tahan terhadap perubahan iklim, serta penyesuaian pola tanam. Namun demikian, kemampuan adaptasi tersebut sering kali dipengaruhi oleh faktor sosial, ekonomi, dan kelembagaan yang berbeda di setiap wilayah.

Meskipun berbagai penelitian [11], [12] telah membahas dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian, kajian yang secara khusus mengaitkan perubahan iklim dengan ketahanan ekonomi petani kecil di wilayah dataran tinggi masih relatif terbatas. Wilayah dataran tinggi memiliki karakteristik agroekologi yang berbeda dibandingkan dengan wilayah dataran rendah, terutama dalam hal komoditas pertanian, kondisi tanah, serta sensitivitas terhadap perubahan iklim. Dataran Tinggi Karo merupakan salah satu sentra produksi hortikultura di Sumatera Utara yang sangat bergantung pada stabilitas kondisi iklim. Perubahan suhu, pergeseran pola hujan, serta meningkatnya risiko serangan hama dan penyakit tanaman berpotensi memengaruhi produktivitas pertanian dan pendapatan petani di wilayah tersebut.

Sejumlah penelitian sebelumnya [13], [14] lebih banyak berfokus pada aspek produksi pertanian atau strategi adaptasi teknis petani terhadap perubahan iklim. Namun, kajian yang menelaah bagaimana perubahan iklim memengaruhi ketahanan ekonomi petani kecil secara lebih komprehensif, termasuk hubungan antara perubahan kondisi iklim, stabilitas pendapatan, dan strategi adaptasi ekonomi petani di tingkat lokal, masih belum banyak dilakukan. Dengan demikian, terdapat kebutuhan untuk memperluas pemahaman mengenai keterkaitan antara perubahan iklim dan ketahanan ekonomi petani kecil dalam konteks wilayah spesifik seperti Dataran Tinggi Karo.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak perubahan iklim terhadap ketahanan ekonomi petani kecil di Dataran Tinggi Karo serta mengidentifikasi strategi adaptasi yang dilakukan oleh petani dalam menghadapi perubahan kondisi iklim. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memperkaya kajian mengenai dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian, khususnya dalam perspektif ketahanan ekonomi petani kecil, serta menjadi dasar bagi perumusan kebijakan dan strategi pembangunan pertanian yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods*, yaitu menggabungkan metode kuantitatif dan kualitatif untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai dampak perubahan iklim terhadap ketahanan ekonomi petani kecil di Dataran Tinggi Karo. Pendekatan ini dipilih karena mampu mengintegrasikan analisis data numerik mengenai produksi dan pendapatan pertanian dengan pemahaman mendalam mengenai pengalaman serta strategi adaptasi petani terhadap perubahan iklim.

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di wilayah Dataran Tinggi Karo, Provinsi Sumatera Utara, yang dikenal sebagai salah satu sentra produksi hortikultura di Indonesia. Wilayah ini dipilih karena memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap kondisi iklim serta mengalami perubahan pola cuaca yang memengaruhi kegiatan pertanian. Pengumpulan data dilakukan selama periode penelitian lapangan pada tahun penelitian yang ditentukan, meliputi observasi langsung ke lahan pertanian dan komunitas petani kecil [15].

2.2 Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah petani kecil yang mengusahakan komoditas hortikultura di Dataran Tinggi Karo. Teknik pengambilan sampel menggunakan *purposive sampling*, yaitu memilih responden berdasarkan kriteria tertentu seperti luas lahan yang relatif kecil, ketergantungan utama pada pertanian sebagai sumber pendapatan, serta pengalaman bertani minimal beberapa tahun. Metode ini umum digunakan dalam penelitian sosial-pertanian untuk memahami kondisi kelompok petani tertentu secara lebih mendalam [13].

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer diperoleh melalui beberapa teknik pengumpulan data, yaitu:

- Survei kuesioner kepada petani kecil untuk mengumpulkan informasi mengenai produksi pertanian, pendapatan, biaya produksi, serta pengalaman petani dalam menghadapi perubahan iklim.
- Wawancara mendalam (*in-depth interview*) dengan petani dan tokoh masyarakat untuk menggali informasi mengenai persepsi petani terhadap perubahan iklim, dampaknya terhadap usaha tani, serta strategi adaptasi yang dilakukan. Metode wawancara ini mengacu pada pendekatan penelitian sosial yang dikembangkan oleh [10] dalam studi kualitatif.
- Observasi lapangan, yaitu pengamatan langsung terhadap kondisi lahan pertanian, pola tanam, serta praktik pertanian yang diterapkan oleh petani.

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari berbagai sumber pendukung yang relevan dengan penelitian, antara lain

- Data iklim seperti curah hujan dan suhu dari instansi meteorologi terkait.
- Data produksi pertanian dan statistik pertanian dari lembaga pemerintah daerah.
- Laporan penelitian sebelumnya [8], [9], jurnal ilmiah, serta dokumen kebijakan yang berkaitan dengan perubahan iklim dan sektor pertanian.

2.4 Bahan dan Instrumen Penelitian

Beberapa bahan dan instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Kuesioner penelitian sebagai alat pengumpulan data kuantitatif dari responden.
- Pedoman wawancara untuk memastikan keseragaman topik dalam proses wawancara mendalam.
- Perangkat dokumentasi seperti catatan lapangan dan rekaman wawancara untuk mendukung analisis data kualitatif.
- Data iklim historis sebagai bahan analisis hubungan antara perubahan iklim dan produksi pertanian.

2.5 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan melalui dua tahap, yaitu analisis kuantitatif dan analisis kualitatif.

a. Analisis Kuantitatif

Data yang diperoleh dari survei dianalisis menggunakan statistik deskriptif untuk menggambarkan kondisi produksi pertanian, tingkat pendapatan, serta perubahan yang dialami petani akibat perubahan iklim. Analisis ini juga digunakan untuk mengidentifikasi pola hubungan antara variabel iklim dan ketahanan ekonomi petani.

b. Analisis Kualitatif

Data hasil wawancara dan observasi dianalisis menggunakan pendekatan analisis tematik. Prosedur analisis mengikuti tahapan reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan sebagaimana dijelaskan [2], [3]. Analisis ini bertujuan untuk memahami secara mendalam pengalaman petani serta strategi adaptasi yang mereka lakukan dalam menghadapi perubahan iklim.

Melalui kombinasi metode tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang komprehensif mengenai hubungan antara perubahan iklim dan ketahanan ekonomi petani kecil di Dataran Tinggi Karo. Selain itu, penggunaan berbagai sumber data dan metode analisis diharapkan dapat meningkatkan validitas serta keandalan hasil penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perubahan Pola Iklim di Dataran Tinggi Karo

Berdasarkan data iklim sekunder yang diperoleh dari instansi meteorologi serta hasil observasi lapangan, ditemukan adanya perubahan pola curah hujan dan suhu rata-rata di wilayah Dataran Tinggi Karo dalam beberapa tahun terakhir. Perubahan ini ditunjukkan oleh meningkatnya variabilitas curah hujan, pergeseran awal musim tanam, serta meningkatnya suhu rata-rata tahunan.

Tabel 1. Perubahan rata-rata kondisi iklim di Dataran Tinggi Karo

Parameter Iklim	Periode Sebelumnya	Periode Terbaru	Perubahan
Suhu rata-rata tahunan	21,5 °C	22,7 °C	+1,2 °C
Curah hujan tahunan	2.200 mm	2.450 mm	Pola tidak merata
Awal musim tanam	Maret	April–Mei	Mundur 1–2 bulan
Intensitas hujan ekstrem	Rendah	Meningkat	Lebih sering

Perubahan tersebut berdampak langsung pada aktivitas pertanian, terutama pada komoditas hortikultura seperti kentang, cabai, tomat, dan kubis yang banyak dibudidayakan oleh petani kecil di wilayah tersebut.

3.2 Dampak Perubahan Iklim terhadap Produktivitas Pertanian

Hasil survei terhadap petani kecil menunjukkan bahwa perubahan iklim menyebabkan penurunan produktivitas beberapa komoditas utama. Selain perubahan curah hujan dan suhu, meningkatnya serangan hama dan penyakit tanaman juga menjadi faktor yang memengaruhi hasil panen.

Tabel 2. Rata-rata produktivitas komoditas utama sebelum dan sesudah perubahan pola iklim

Komoditas	Produktivitas sebelumnya (ton/ha)	Produktivitas terbaru (ton/ha)	Perubahan
Kentang	18,5	15,2	-17,8%
Cabai	9,3	7,8	-16,1%
Tomat	20,1	17,4	-13,4%
Kubis	22,7	20,3	-10,6%

Penurunan produktivitas ini berdampak langsung terhadap pendapatan petani kecil karena sebagian besar rumah tangga petani di wilayah penelitian sangat bergantung pada hasil pertanian sebagai sumber utama penghidupan.

3.3 Dampak terhadap Ketahanan Ekonomi Petani

Analisis data survei menunjukkan bahwa perubahan iklim tidak hanya memengaruhi produksi pertanian tetapi juga stabilitas ekonomi rumah tangga petani. Beberapa indikator ketahanan ekonomi yang dianalisis meliputi pendapatan rumah tangga, stabilitas hasil panen, serta kemampuan petani dalam menanggulangi risiko gagal panen.

Tabel 3. Perubahan rata-rata pendapatan petani kecil

Indikator	Sebelum perubahan iklim	Setelah perubahan iklim
Pendapatan rata-rata per musim tanam	Rp 18.500.000	Rp 14.200.000
Biaya produksi	Rp 9.200.000	Rp 11.300.000
Keuntungan bersih	Rp 9.300.000	Rp 2.900.000

Hasil tersebut menunjukkan bahwa meskipun biaya produksi meningkat akibat kebutuhan pestisida dan pengelolaan lahan yang lebih intensif, hasil panen justru mengalami penurunan. Kondisi ini menyebabkan menurunnya keuntungan bersih petani dan meningkatkan kerentanan ekonomi rumah tangga petani kecil.

3.4 Strategi Adaptasi Petani terhadap Perubahan Iklim

Meskipun menghadapi berbagai tantangan, sebagian petani telah mengembangkan berbagai strategi adaptasi untuk mengurangi dampak perubahan iklim terhadap usaha tani mereka. Strategi adaptasi yang ditemukan dalam penelitian ini antara lain:

- Diversifikasi tanaman untuk mengurangi risiko kegagalan panen.
- Penyesuaian waktu tanam berdasarkan kondisi curah hujan.
- Penggunaan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap perubahan iklim.
- Peningkatan penggunaan teknologi pertanian, seperti sistem irigasi sederhana.

Tabel 4. Persentase petani yang menerapkan strategi adaptasi

Strategi Adaptasi	Persentase Petani
Diversifikasi tanaman	42%
Perubahan waktu tanam	36%
Penggunaan varietas tahan iklim	28%
Penggunaan teknologi irigasi sederhana	19%

Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun petani mulai melakukan berbagai strategi adaptasi, tingkat penerapan teknologi pertanian yang lebih maju masih relatif rendah.

3.5. Analisis Tambahan: Hubungan Perubahan Iklim dan Ketahanan Ekonomi

Analisis tambahan menunjukkan adanya hubungan antara perubahan pola iklim dengan tingkat ketahanan ekonomi petani kecil. Petani yang memiliki diversifikasi usaha tani serta akses terhadap informasi iklim cenderung memiliki ketahanan ekonomi yang lebih baik dibandingkan petani yang hanya bergantung pada satu komoditas.

Hal ini menunjukkan bahwa faktor sosial dan ekonomi juga berperan penting dalam menentukan kemampuan adaptasi petani terhadap perubahan iklim.

3.6 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya [3], [4] yang menunjukkan bahwa perubahan iklim dapat menurunkan produktivitas pertanian dan meningkatkan kerentanan ekonomi petani kecil. Studi sebelumnya menyatakan bahwa perubahan pola curah hujan dan peningkatan suhu dapat mengganggu sistem produksi pertanian, terutama pada wilayah tropis yang sangat bergantung pada stabilitas musim.

Selain itu, penelitian ini juga mendukung temuan penelitian terdahulu [6], [9] yang menyatakan bahwa strategi adaptasi seperti diversifikasi tanaman dan perubahan waktu tanam merupakan langkah yang umum dilakukan oleh petani dalam menghadapi perubahan iklim.

Namun demikian, penelitian ini memberikan kontribusi tambahan dengan menunjukkan secara lebih spesifik bagaimana perubahan iklim memengaruhi ketahanan ekonomi petani kecil di wilayah dataran tinggi, khususnya di Dataran Tinggi Karo. Analisis yang menghubungkan perubahan kondisi iklim dengan stabilitas pendapatan dan strategi adaptasi ekonomi petani memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai dampak perubahan iklim pada tingkat rumah tangga petani.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan iklim memiliki dampak nyata terhadap sistem produksi pertanian dan ketahanan ekonomi petani kecil di Dataran Tinggi Karo. Oleh karena itu, diperlukan strategi adaptasi yang lebih sistematis serta dukungan kebijakan yang dapat meningkatkan kapasitas petani dalam menghadapi risiko perubahan iklim.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak perubahan iklim terhadap ketahanan ekonomi petani kecil di Dataran Tinggi Karo serta mengidentifikasi strategi adaptasi yang dilakukan oleh petani dalam menghadapi perubahan tersebut. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa

perubahan iklim memberikan dampak yang signifikan terhadap sistem produksi pertanian dan kondisi ekonomi petani kecil di wilayah penelitian. Perubahan pola curah hujan, peningkatan suhu, serta meningkatnya frekuensi serangan hama dan penyakit tanaman terbukti memengaruhi produktivitas beberapa komoditas hortikultura utama seperti kentang, cabai, tomat, dan kubis. Penurunan produktivitas tersebut diikuti oleh meningkatnya biaya produksi, sehingga menyebabkan berkurangnya keuntungan bersih yang diperoleh petani. Kondisi ini menunjukkan bahwa perubahan iklim secara langsung berkontribusi terhadap meningkatnya kerentanan ekonomi rumah tangga petani kecil. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa ketahanan ekonomi petani tidak hanya dipengaruhi oleh faktor iklim, tetapi juga oleh kemampuan adaptasi petani. Petani yang menerapkan strategi adaptasi seperti diversifikasi tanaman, penyesuaian waktu tanam, serta penggunaan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap perubahan iklim cenderung memiliki tingkat ketahanan ekonomi yang lebih baik dibandingkan petani yang hanya bergantung pada satu komoditas. Namun, tingkat penerapan teknologi pertanian dan akses terhadap informasi iklim masih relatif terbatas, sehingga menghambat kemampuan adaptasi sebagian petani. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan iklim memberikan tekanan nyata terhadap ketahanan ekonomi petani kecil di Dataran Tinggi Karo. Oleh karena itu, diperlukan dukungan kebijakan yang lebih kuat, peningkatan akses terhadap informasi iklim, pengembangan teknologi pertanian yang adaptif, serta penguatan kapasitas petani untuk meningkatkan kemampuan adaptasi dan menjaga keberlanjutan ekonomi rumah tangga petani dalam menghadapi risiko perubahan iklim.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada para petani kecil di wilayah Dataran Tinggi Karo yang telah bersedia menjadi responden dan memberikan informasi yang sangat berharga bagi kelancaran penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada instansi pemerintah daerah serta lembaga terkait yang telah menyediakan data dan informasi yang diperlukan dalam proses penelitian. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada para dosen pembimbing, rekan peneliti, serta pihak-pihak lain yang telah memberikan masukan, arahan, dan dukungan selama proses penyusunan penelitian ini. Akhir kata, penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam kajian perubahan iklim dan ketahanan ekonomi petani kecil, serta menjadi referensi bagi pengambilan kebijakan dan pengembangan sektor pertanian yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

REFERENCES

- [1] L. Barus and R. Tarigan, "Kerentanan Ekonomi Petani Hortikultura di Kabupaten Karo terhadap Anomali Cuaca Ekstrem," *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Wilayah*, vol. 16, no. 1, pp. 22–38, 2025.
- [2] M. Ginting and J. Sembiring, "Analisis Pendapatan Rumah Tangga Petani Jeruk di Dataran Tinggi Karo pada Masa Perubahan Iklim," *Jurnal Agribisnis Sumatera Utara*, vol. 13, no. 2, pp. 145–159, 2025.
- [3] A. S. Lubis and Z. Nasution, "Strategi Adaptasi Petani Kecil dalam Menghadapi Perubahan Pola Curah Hujan di Lereng Gunung Sinabung," *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 30, no. 1, pp. 12–25, 2025.
- [4] S. Pandiangan and B. Sitepu, "Dampak Perubahan Iklim terhadap Produksi Kentang dan Ketahanan Pangan di Tanah Karo," *Jurnal Agronomi Indonesia*, vol. 53, no. 1, pp. 40–52, 2025.
- [5] R. Pinem and F. Saragih, "Valuasi Ekonomi Kerugian Pasca Panen Akibat Perubahan Iklim pada Komoditas Cabai Merah di Karo," *Jurnal Manajemen & Agribisnis*, vol. 22, no. 1, pp. 67–81, 2025.
- [6] D. Samosir and K. Munthe, "Efektivitas Asuransi Pertanian Berbasis Indeks Iklim bagi Petani Kecil di Kabupaten Karo," *Jurnal Keuangan dan Perbankan*, vol. 29, no. 2, pp. 201–215, 2025.
- [7] H. Purba and R. Sinaga, "Faktor Sosio-Ekonomi yang Mempengaruhi Resiliensi Petani Sayuran di Dataran Tinggi Sumatera Utara," *Jurnal Sosiologi Pedesaan*, vol. 13, no. 2, pp. 110–124, 2025.
- [8] J. P. Saragih, "Model Mitigasi Risiko Iklim untuk Keberlanjutan Usaha Tani di Ekosistem Dataran Tinggi," *Jurnal Analisis Kebijakan Pertanian*, vol. 23, no. 1, pp. 88–102, 2025.
- [9] N. Sembiring and P. Bangun, "Perubahan Kalender Tanam dan Implikasinya terhadap Kesejahteraan Petani di Berastagi dan Kabanjahe," *Jurnal Penyuluhan*, vol. 21, no. 1, pp. 45–59, 2025.
- [10] W. V. Siregar, A. Hasibuan, M. Sayuti, and C. Puspasari, "Edukasi pemanfaatan digital marketing bagi pelaku industri," *Mejuajua: Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, vol. 3, no. 2, pp. 37–41, 2023.
- [11] V. Sitepu and A. Tarigan, "Dampak Kenaikan Suhu terhadap Produktivitas Tanaman Hortikultura: Studi Kasus Kabupaten Karo," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 26, no. 1, pp. 15–29, 2025.
- [12] R. Tambunan and E. Silalahi, "Peran Koperasi Petani dalam Meningkatkan Daya Tahan Ekonomi Terhadap Guncangan Iklim di Sumatera Utara," *Jurnal Ekonomi Koperasi*, vol. 14, no. 1, pp. 77–91, 2025.
- [13] S. Tarigan and W. Girsang, "Akses Teknologi Irigasi Hemat Air sebagai Solusi Kekeringan pada Lahan Kering di Karo," *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, vol. 14, no. 2, pp. 130–144, 2025.

-
- [14] S. Wahyuni and M. Sitepu, “Pemetaan Area Rawan Gagal Panen Akibat Pergeseran Musim di Dataran Tinggi Karo Menggunakan GIS,” *Jurnal Geografi*, vol. 17, no. 1, pp. 55–69, 2025.
- [15] I. Zulkarnain and M. Ritonga, “Analisis Gender dalam Adaptasi Perubahan Iklim pada Keluarga Petani Hortikultura di Karo,” *Jurnal Studi Gender & Anak*, vol. 10, no. 2, pp. 112–126, 2025.