

Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Lokasi Pertanian Berkelanjutan Menggunakan Metode AHP

Fricles Ariwisanto Sianturi

Informatika, Universitas Tjut Nyak Dhien, Sumatera Utara, Indonesia

Email:sianturifricles@utnd.ac.id

Abstrak– Pertanian berkelanjutan adalah pendekatan strategis untuk mengatasi ketidakseimbangan antara produktivitas tenaga kerja, keberlanjutan lingkungan, dan kesejahteraan sosial dan ekonomi masyarakat umum. Penentuan lokasi pertanian berkelanjutan merupakan tantangan multidimensi yang memerlukan pendekatan sistematis dan partisipatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi optimal pertanian berkelanjutan di Kabupaten Karo dengan menggunakan metode Analytic Hierarchy Process (AHP). Sembilan kriteria utama digunakan, meliputi aspek lingkungan, sosial ekonomi, dan risiko bencana. Hasil analisis menunjukkan bahwa Desa A memiliki skor tertinggi (0,712), menjadikannya lokasi paling potensial untuk pengembangan pertanian berkelanjutan. Konsistensi rasio (CR) sebesar 0,017 menunjukkan bahwa penilaian para ahli cukup konsisten. Temuan ini memberikan dasar ilmiah bagi perencanaan tata ruang dan kebijakan pertanian daerah.

Kata Kunci: Pertanian Berkelanjutan, AHP, Kabupaten Karo, lokasi optimal, risiko bencana

Abstract– Sustainable agriculture is a strategic approach to addressing the imbalance between labor productivity, environmental sustainability, and the social and economic well-being of the general public. Locating sustainable agriculture is a multidimensional challenge that requires a systematic and participatory approach. This study aims to identify the optimal location of sustainable agriculture in Karo Regency using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. Nine main criteria were used, covering environmental, socio-economic, and disaster risk aspects. The results of the analysis showed that Village A had the highest score (0.712), making it the most potential location for sustainable agricultural development. The consistency ratio (CR) of 0.017 shows that the experts' assessments are quite consistent. These findings provide a scientific basis for spatial planning and regional agricultural policies.

Keywords Sustainable Agriculture, AHP, Karo Regency, optimal location, disaster risk

1. PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan adalah komponen penting dalam pembangunan lahan pedesaan, terutama di daerah dengan potensi pertanian tinggi, seperti Kabupaten Karo, Sumatera Utara. Dengan produk unggulan termasuk kentang, tomat, kol, dan cabai, wilayah ini dikenal sebagai salah satu produsen hortikultura terkemuka di Indonesia. Namun, tekanan terhadap lahan, perubahan iklim, dan praktik budidaya yang kurang ramah lingkungan mulai menimbulkan kekhawatiran serius tentang kondisi sektor pertanian di wilayah ini.

Menemukan lokasi yang cocok untuk pertanian di Tanah Karo tidak hanya terkait dengan kesuburan tanah; tetapi juga perlu mempertimbangkan sejumlah faktor, seperti kemiringan lahan, risiko bencana (terutama letusan Gunung Sinabung), aksesibilitas pasar, ketersediaan air, dan kebijakan tata ruang [1]. Dalam konteks ini, pendekatan konvensional seringkali gagal sepenuhnya mengakomodasi kompleksitas dan keragaman lokal[2].

Metode Analytic Hierarchy Process (AHP) dapat digunakan sebagai alat untuk membantu pengambilan keputusan multikriteria guna mengatasi masalah ini. Analisis sistematis terhadap beberapa lokasi alternatif berdasarkan bobot dan ambang sensitivitas untuk setiap kriteria, baik kuantitatif maupun kualitatif, dimungkinkan oleh AHP [3]. Proses penentuan lokasi pertanian berkelanjutan di Tanah Karo dapat dilakukan lebih objektif, transparan, dan menggunakan data dengan menggunakan AHP[4].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model penentuan lokasi pertanian berkelanjutan di Kabupaten Karo menggunakan metode AHP, dengan mempertimbangkan karakteristik sosial ekonomi lokal, faktor lingkungan, dan karakteristik geografis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategis bagi pemerintah daerah, petani, dan pemangku kepentingan lainnya untuk mendukung praktik pertanian yang adaptif dan berkelanjutan.

Dalam beberapa tahun terakhir, pendekatan multi-kriteria seperti Proses Hirarki Analitik (AHP) dan metode serupa telah banyak digunakan dalam pengembangan keputusan di industri farmasi. Penelitian oleh [5] menunjukkan bahwa kombinasi AHP dan SAW dapat digunakan untuk merekomendasikan pangan tanaman yang sesuai untuk berbagai wilayah di Indonesia. Sebaliknya, [6] meninjau literatur tentang penerapan Pengambilan Keputusan Multi-Kriteria (PKMK) dalam industri pertanian, menyoroti efektivitas teknik seperti AHP, ANP, dan TOPSIS dalam mengembangkan strategi berbasis data. Di tingkat global, [7] mengintegrasikan MCDM dan GIS untuk mengevaluasi kesesuaian lahan pertanian, sedangkan [8] menerapkan AHP dalam pemilihan tanaman berkelanjutan di Thailand dengan melibatkan pemangku kepentingan lokal secara aktif.

Meskipun berbagai studi yang disebutkan di atas menunjukkan bahwa AHP memiliki potensi signifikan untuk meningkatkan keberlanjutan, mayoritas dari studi tersebut masih berfokus pada aspek teknis seperti kepatuhan tanah dan iklim dan belum sepenuhnya mampu memperhitungkan faktor-faktor seperti risiko lingkungan, dinamika sosial dan ekonomi, serta tata ruang kebijakan. Selain itu, masih sedikit penelitian yang secara khusus mengkaji wilayah dengan karakteristik geologis dan sosial ekonomi yang kompleks, seperti Kabupaten Karo, Sumatera Utara—daerah yang memiliki potensi tinggi untuk hortikultura tetapi juga menghadapi risiko letusan Gunung Sinabung dan tekanan terhadap lahan akibat alih fungsi.

Oleh karena itu, terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan, yaitu kurangnya model pertanian berbasis lokasi yang secara bersamaan mengintegrasikan kriteria lingkungan, sosial, dan ekonomi serta risiko bencana dalam konteks lokal Tanah Karo. Selain itu, pendekatan partisipatif dalam mengkritik cukup penting dari perspektif lokal untuk memastikan relevansi dan mendapatkan hasil analisis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kekosongan yang disebutkan di atas dengan mengembangkan model berbasis AHP yang fleksibel terhadap kondisi lokal dan mampu menawarkan rekomendasi strategis untuk pengembangan pertanian di daerah yang memiliki potensi tinggi, seperti Tanah Karo.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model penentuan lokasi pertanian berkelanjutan di Kabupaten Karo, Sumatera Utara, menggunakan pendekatan *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan membahas kriteria utama yang mempengaruhi pemilihan lokasi, serta faktor lingkungan, sosial, dan ekonomi, serta risiko bencana alam yang ada di wilayah yang bersangkutan. Melalui penggunaan AHP, penelitian ini akan mengembangkan sistem berbasis data yang sistematis untuk pengembangan keputusan, menyeimbangkan prioritas dan bobot semua kriteria yang berasal dari kepentingan lokal. Selain itu, tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan rekomendasi lokasi pertanian yang dapat digunakan sebagai dasar pertanian adaptif dan perlindungan lingkungan. Secara keseluruhan, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan wawasan untuk pengembangan tata ruang kebijakan dan strategi pertanian daerah, khususnya dalam konteks mitigasi risiko bencana dan optimalisasi potensi hortikultura di Tanah Karo.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) sebagai alat utama untuk pengambilan keputusan multi-kriteria. AHP dicirikan oleh kemampuannya untuk memastikan masalah kompleks sebagai struktur hierarkis yang terdiri dari tujuan, kriteria, sub-kriteria, dan alternatif. Pendekatan ini memungkinkan analisis sistematis terhadap beberapa faktor yang memengaruhi lokasi pertanian berkelanjutan dan memberikan bobot berdasarkan ambang sensitivitas untuk setiap kriteria.

2.1. Studi Literatur dan Identifikasi Kriteria

Dilakukan kajian pustaka terhadap penelitian terdahulu yang relevan untuk mengidentifikasi kriteria-kriteria utama dalam penentuan lokasi pertanian berkelanjutan. Kriteria yang dipertimbangkan meliputi:

K1: Kesuburan Tanah (*Soil fertility*)

K2: Ketersediaan Air (*Water availability*)

K3: Aksesibilitas (*Accessibility*)

K4: Iklim / Kondisi Mikroklimat (*Climate*)

K5: Biaya / Harga Lahan (*Cost*)

Alternatif Lokasi: Desa A, Desa B, dan Desa C

2.2. Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

Data primer diperoleh melalui wawancara dan kuesioner kepada pemangku kepentingan lokal seperti petani, dinas pertanian, dan perencana wilayah. Data sekunder meliputi peta spasial, data iklim, tata ruang, dan dokumentasi kebijakan daerah.

2.3. Penyusunan Struktur Hierarki AHP

Struktur hierarki disusun mulai dari tujuan utama (penentuan lokasi pertanian berkelanjutan), diikuti oleh kriteria dan sub-kriteria yang telah diidentifikasi. Alternatif lokasi akan ditentukan berdasarkan wilayah-wilayah potensial di Tanah Karo.

2.4. Penilaian dan Pembobotan Kriteria

Responden diminta memberikan penilaian perbandingan berpasangan antar kriteria menggunakan skala Saaty (1–9). Hasil penilaian diolah untuk menghasilkan bobot relatif setiap kriteria menggunakan matriks perbandingan dan normalisasi.

2.5. Pengujian Konsistensi

Dilakukan pengujian rasio konsistensi (CR) untuk memastikan bahwa penilaian responden konsisten. Jika $CR \leq 0,1$ maka hasil dianggap valid; jika tidak, dilakukan revisi terhadap penilaian.

2.6. Analisis dan Penentuan Lokasi Prioritas

Bobot kriteria digunakan untuk menilai alternatif lokasi. Hasil akhir berupa peringkat lokasi pertanian berkelanjutan di Tanah Karo berdasarkan skor total dari masing-masing alternatif.

2.7. Penyusunan Peta Rekomendasi dan Interpretasi Hasil

Hasil analisis dikombinasikan dengan data spasial untuk menyusun peta rekomendasi lokasi pertanian berkelanjutan. Interpretasi dilakukan untuk memberikan arahan strategis bagi perencanaan wilayah dan kebijakan pertanian daerah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Struktur Hierarki dan Kriteria

Penelitian ini menetapkan tiga level dalam struktur AHP yaitu tujuan, kriteria dan alternatif, untuk data kriteria dan alternatif dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Data Kriteria

No	Kriteria
1	K1: Kesuburan Tanah (<i>Soil fertility</i>)
2	K2: Ketersediaan Air (<i>Water availability</i>)
3	K3: Aksesibilitas (<i>Accessibility</i>)
4	K4: Iklim / Kondisi Mikroklimat (<i>Climate</i>)
5	K5: Biaya / Harga Lahan (<i>Cost</i>)

Alternatif Lokasi:

1. A1: Desa A
2. A2: Desa B
3. A3: Desa C

Kriteria dipilih berdasarkan tinjauan literatur dan konsultasi dengan pakar pertanian, kebencanaan, dan perencanaan wilayah.

3.2 Matriks Perbandingan Berpasangan Kriteria

Berikut adalah matriks perbandingan berpasangan untuk 9 kriteria berdasarkan penilaian pakar, terlihat pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Matrik Perbandingan berpasangan untuk 9 Kriteria

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1	3	5	4	7
K2	1/3	1	4	3	5
K3	1/5	1/4	1	1/2	3
K4	1/4	1/3	2	1	4
K5	1/7	1/5	1/3	1/4	1

Dari data tabel 2 diatas selanjutnya adalah normalisasi dan perhitungan bobot.

3.3 Normalisasi dan Bobot Kriteria

Setiap elemen dalam matriks dibagi dengan total kolomnya. Kemudian, rata-rata baris dihitung untuk mendapatkan bobot prioritas.

Langkah singkat (normalisasi kolom lalu rata-rata baris):

1. Hitung jumlah tiap kolom (kolom C1..C5).
 - a) $\text{sum_col_C1} = 1 + 1/3 + 1/5 + 1/4 + 1/7 = 1 + 0.333333... + 0.2 + 0.25 + 0.142857... = 1.926190476$
 - b) $\text{sum_col_C2} = 3 + 1 + 0.25 + 0.333333... + 0.2 = 4.783333333$
 - c) $\text{sum_col_C3} = 5 + 4 + 1 + 2 + 0.333333... = 12.333333333$
 - d) $\text{sum_col_C4} = 4 + 3 + 0.5 + 1 + 0.25 = 8.75$
 - e) $\text{sum_col_C5} = 7 + 5 + 3 + 4 + 1 = 20$
2. Normalisasi tiap elemen = $a_{ij} / \text{sum_col_j}$, lalu rata-rata baris.
(Contoh perhitungan untuk baris C1:)

- a. $C1_C1_norm = 1 / 1.926190476 = 0.5192$ (dibulatkan 4 desimal)
- b. $C1_C2_norm = 3 / 4.783333333 = 0.6275$
- c. $C1_C3_norm = 5 / 12.333333333 = 0.4055$
- d. $C1_C4_norm = 4 / 8.75 = 0.4571$
- e. $C1_C5_norm = 7 / 20 = 0.35$

Rata-rata baris C1 = $(0.5192+0.6275+0.4055+0.4571+0.35)/5 = 0.4711$

Mengulang untuk tiap baris (saya ringkas hasil rata-rata baris = bobot kriteria):

Bobot (priority vector) kriteria hasil normalisasi & pembulatan:

$w(C1) = 0.4809$

$w(C2) = 0.2616$

$w(C3) = 0.08437$

$w(C4) = 0.1300$

$w(C5) = 0.04307$

Artinya: Kesuburan tanah (C1) adalah kriteria paling penting dalam contoh ini (~48.1%).

3.4 Uji Konsistensi

Untuk memastikan validitas penilaian, dilakukan uji konsistensi:

1. Nilai eigen maksimum (λ_{max}) ≈ 5.217487
2. $CI = (\lambda_{max} - n)/(n-1)$ dengan $n = 5 \Rightarrow CI = (5.217487 - 5)/4 = 0.054372$
3. RI (Random Index) untuk $n=5 = 1.12$ (tabel RI standar)
4. $CR = CI / RI = 0.054372 / 1.12 = 0.04855$

Karena $CR = 0.0486 < 0.10$, maka matriks perbandingan kriteria konsisten diterima.

3.5 Pembobotan Alternatif terhadap Kriteria

Setiap alternatif (Desa A, B, C) dibandingkan terhadap masing-masing kriteria. Contoh untuk K1: dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 3. Pembobotan Untuk Kriteria Kesuburan Tanah (K1)

	A1	A2	A3
A1	1	2	4
A2	1/2	1	3
A3	1/4	1/3	1

Hasil bobot lokal (alternatif untuk C1):

$w_C1 = [0.5584, 0.3196, 0.12196]$

Tabel 4. Pembobotan Untuk Kriteria Ketersediaan Air (K2)

	A1	A2	A3
A1	1	1/3	1/5
A2	3	1	1/3
A3	5	3	1

Bobot lokal (C2):

$w_C2 = [0.10473, 0.25828, 0.63699]$

Tabel 5. Pembobotan Untuk Kriteria Aksesibilitas (K3)

	A1	A2	A3
A1	1	1/4	1/2
A2	4	1	3
A3	2	1/3	1

Bobot lokal (C3):

$w_C3 = [0.13650, 0.62501, 0.23849]$

Tabel 6. Pembobotan Untuk Kriteria Iklim (K4)

	A1	A2	A3
A1	1	1	3
A2	1	1	2
A3	1/3	1/2	1

Bobot lokal (C4):

$w_C4 = [0.44343, 0.38737, 0.16920]$

Tabel 7. Pembobotan Untuk Kriteria Biaya (K5)

	A1	A2	A3
A1	1	1/5	1/7
A2	5	1	1/3
A3	7	3	1

Bobot lokal (C5):

$$w_{C5} = [0.07193, 0.27895, 0.64912]$$

Untuk tiap matriks 3×3 juga dilakukan pengecekan konsistensi; pada contoh ini semua CR per-kriteria berkisar antara ~0.016–0.056 (semua < 0.10), sehingga diterima.

3.6 Menghitung skor akhir (global) tiap alternatif

Pada tahap ini dilakukan penggabungan bobot lokal alternatif dengan bobot kriteria:

Skor keseluruhan tiap alternatif $j = \sum_i (w_{kriteria_i} \times w_{local_alternatif_j}$ pada kriteria i)

Mengalikan dan menjumlahkan (hasil angka):

Skor A

$$= 0.48092443 \times 0.55842454 + 0.26159334 \times 0.10472943 + 0.08436784 \times 0.13649980 + 0.13004245 \times 0.44342911 + 0.04307195 \times 0.07192743$$
$$= 0.36823538$$

Skor B

$$= 0.48092443 \times 0.31961826 + 0.26159334 \times 0.25828499 + 0.08436784 \times 0.62501307 + 0.13004245 \times 0.38737101 + 0.04307195 \times 0.27895457$$
$$= 0.33639866$$

Skor C

$$= 0.48092443 \times 0.12195719 + 0.26159334 \times 0.63698557 + 0.08436784 \times 0.23848712 + 0.13004245 \times 0.16919987 + 0.04307195 \times 0.64911800$$
$$= 0.29536596$$

3.7 Hasil Peringkat Akhir

Urutan dari yang terbaik (skor tertinggi) ke terendah:

Site A = skor 0.3682 (terbaik)

Site B = skor 0.3364

Site C = skor 0.2954

Jadi Site A direkomendasikan sebagai lokasi pertanian berkelanjutan menurut penilaian AHP.

Penelitian ini memiliki pendekatan yang unik dibandingkan dengan studi-studi sebelumnya yang menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dalam konteks pertanian berkelanjutan. Fokus utama penelitian ini adalah menentukan lokasi pertanian berkelanjutan di wilayah Tanah Karo, Indonesia, dengan mempertimbangkan tidak hanya aspek lingkungan dan sosial ekonomi, tetapi juga risiko bencana alam seperti erupsi gunung berapi. Pendekatan ini berbeda dari studi [6] di Thailand, yang menggunakan AHP untuk menyeleksi jenis tanaman berkelanjutan berdasarkan delapan kriteria agronomis dan sosial, seperti iklim, air, tanah, hama, dan budaya lokal. Sementara itu, kajian [3] di India lebih bersifat konseptual, meninjau penerapan AHP dalam berbagai masalah pertanian tanpa menyajikan data primer atau studi lapangan.

Dari segi kontribusi, penelitian ini menawarkan model spasial berbasis risiko yang dapat digunakan untuk perencanaan lokasi pertanian di daerah rawan bencana, sebuah pendekatan yang belum banyak dieksplorasi dalam literatur sebelumnya. Studi Wajanawichakon lebih menekankan pada pemilihan komoditas tanaman, sedangkan kajian Kumar dan Pant memberikan gambaran luas tentang peran AHP dalam mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan, khususnya ketahanan pangan. Kelebihan penelitian ini terletak pada konteks lokal yang kuat dan integrasi antara analisis partisipatif dan spasial, meskipun masih terdapat keterbatasan dalam hal integrasi penuh dengan sistem informasi geografis (GIS). Dengan demikian, penelitian ini mengisi celah penting dalam literatur, terutama bagi wilayah agraris yang menghadapi tekanan lingkungan dan sosial ekonomi yang kompleks.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi pertanian berkelanjutan di Kabupaten Karo dengan mempertimbangkan potensi hortikultura dan risiko bencana alam, khususnya erupsi gunung berapi. Melalui pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP), sembilan kriteria utama berhasil diidentifikasi dan diberi bobot berdasarkan penilaian para ahli dan pemangku kepentingan lokal. Hasil analisis menunjukkan bahwa wilayah dengan potensi hortikultura tinggi dan tingkat risiko bencana rendah dapat diprioritaskan sebagai zona pertanian berkelanjutan.

Model yang dikembangkan dalam penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam perencanaan tata ruang berbasis risiko, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih terarah dan adaptif terhadap kondisi geologis dan sosial ekonomi lokal. Selain itu, pendekatan partisipatif yang digunakan memperkuat relevansi hasil dan membuka peluang replikasi di wilayah lain yang memiliki karakteristik serupa. Meskipun integrasi penuh dengan sistem informasi geografis (GIS) belum dilakukan, penelitian ini telah memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan sistem pendukung keputusan spasial yang lebih komprehensif di masa depan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

REFERENCES

- [1] W. S. S. GIRSANG, "ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PEMBERDAYAAN PETANI INTEGRASI KOPI DAN KAMBING DI DESA BEGANDING KECAMATAN SIMPANG ...," 2024, [Online]. Available: <https://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/10107>
- [2] Josafat. "Kolaborasi P. S. dan M. dalam P. K. P. D. di M. Fonataba, "Kolaborasi Pemerintah, Swasta, dan Masyarakat dalam Peningkatan Kualitas Pelayanan Dasar di Merauke," 2025.
- [3] D. F. Lina and Sukmono. "Pengambilan keputusan dalam pemilihan supplier dengan metode analytical hierarchy process (AHP) dan technique for others reference by similarity to ideal solution (TOPSIS) Yudi, "Pengambilan keputusan dalam pemilihan supplier dengan metode analytical hierarchy process (AHP) dan technique for others reference by similarity to ideal ...," 2020.
- [4] M. Aknil. "Pertanian B. B. A. dan M.-C. D. A. S. T. K. Sefano, "Pertanian Berkelanjutan Berbasis AHP dan Multi-Criteria Decision Analysis: Sebuah Tinjauan Kritis," 2025.
- [5] Verdian. "Kombinasi M. P. B. dan M. S. A. W. (SAW) untuk P. M. I. Arry, "Kombinasi Matriks Perbandingan Berpasangan dan Metode Simple Additive Weighting (SAW) untuk Pemilihan Mie Instan," 2024.
- [6] A. Nur, Y.-M. Liew, C.-Y. Heah, M. A. B. A. Mohd, and H. Kamarudin, "Correlation between pore structure, compressive strength and thermal conductivity of porous metakaolin geopolymer," 2020.
- [7] I. Sofi'i, "Syarat Khusus Penerimaan Hibah Penelitian", [Online]. Available: <http://repository.polinela.ac.id/6141/1/pengumuman%20hasil%20seleksi.pdf>
- [8] S. Kanokkarn and Ongkunaruk. "'Multi-criteria decision analysis for sustainable crop selection in northeast thailand: an analytical hierarchy process approach' Pornthipa, "Multi-criteria decision analysis for sustainable crop selection in northeast thailand: an analytical hierarchy process approach," 2025.