

Pertanian Berkelanjutan Berbasis AHP dan Multi-Criteria Decision Analysis: Sebuah Tinjauan Kritis

Sustainable Agriculture Based on AHP and Multi-Criteria Decision Analysis: A Critical Review

Muhammad Aknil Sefano^{1*}

¹Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Kampus
Limau Manis, Kota, Padang, 25175

*Corresponding Author: m.aknil.sefano@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji penerapan Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) dalam mendukung pengambilan keputusan di bidang pertanian berkelanjutan. AHP digunakan untuk menentukan bobot kriteria keberlanjutan secara hierarkis, sementara MCDA mengintegrasikan bobot tersebut dengan data kuantitatif dan kualitatif untuk mengevaluasi alternatif praktik pertanian. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi kedua metode ini efektif dalam menghasilkan keputusan yang holistik, meskipun menghadapi tantangan subjektivitas dan keterbatasan data. Pendekatan partisipatif dan validasi hasil melalui analisis sensitivitas terbukti meningkatkan akurasi dan relevansi keputusan.

Kata kunci: AHP, MCDA, Pertanian berkelanjutan

ABSTRACT

This study examines the application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) in supporting decision-making for sustainable agriculture. AHP is utilized to determine the hierarchical weighting of sustainability criteria, while MCDA integrates these weights with both quantitative and qualitative data to evaluate alternative agricultural practices. The results indicate that the combination of these methods is effective in generating holistic decisions, despite challenges related to subjectivity and data limitations. A participatory approach and result validation through sensitivity analysis have been shown to enhance the accuracy and relevance of decision-making.

Key words : AHP, MCDA, Sustainable agriculture

1. PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan menjadi salah satu fokus utama dalam upaya global untuk mengatasi tantangan lingkungan, ekonomi, dan sosial. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa praktik pertanian tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga menjaga keseimbangan ekosistem dan kesejahteraan Masyarakat (Arora et al., 2022). Dalam konteks ini, pengambilan keputusan yang tepat menjadi krusial, mengingat kompleksitas dan saling keterkaitan antara berbagai dimensi keberlanjutan (Burak et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan metode yang mampu mengintegrasikan data kuantitatif dan kualitatif untuk menghasilkan solusi yang holistik dan adaptif terhadap kebutuhan local (Sefano et al., 2024).

Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) telah banyak digunakan dalam penelitian pertanian berkelanjutan sebagai alat untuk mendukung pengambilan keputusan multi-kriteria (Cetinkaya et al., 2022). AHP memungkinkan penguraian masalah yang kompleks menjadi struktur hierarkis yang lebih sederhana, sementara MCDA menyediakan kerangka kerja untuk mengevaluasi berbagai alternatif berdasarkan sejumlah kriteria yang saling bertentangan. Kombinasi kedua metode ini memberikan peluang untuk mengidentifikasi prioritas dan alternatif terbaik dengan mempertimbangkan dimensi lingkungan, ekonomi, dan sosial secara simultan. Hal ini menjadikan AHP dan MCDA sebagai pendekatan yang relevan dalam mendukung keberlanjutan (Chu & Le, 2022).

Namun, penerapan AHP dan MCDA tidak terlepas dari tantangan, terutama dalam hal subjektivitas penentuan bobot kriteria dan keterbatasan data yang tersedia. Preferensi yang beragam di antara pemangku kepentingan sering kali memengaruhi hasil analisis, sehingga diperlukan pendekatan partisipatif untuk memastikan bahwa keputusan yang diambil mencerminkan kebutuhan yang beragam (Cicciù et al., 2022). Selain itu, validasi hasil melalui analisis sensitivitas dan diskusi dengan pemangku kepentingan menjadi langkah penting untuk meningkatkan keandalan dan akurasi. Dengan mengatasi tantangan ini, AHP dan MCDA memiliki potensi besar untuk mendukung pengambilan keputusan yang inklusif dan berbasis bukti dalam pertanian berkelanjutan (Coruhlu et al., 2022).

Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP) merupakan salah satu metode pengambilan keputusan yang sering digunakan dalam penelitian pertanian berkelanjutan. AHP memungkinkan pengambilan keputusan yang kompleks dengan membagi masalah menjadi hierarki yang lebih sederhana (Chu & Le, 2022). Dalam konteks pertanian berkelanjutan, AHP digunakan untuk mengevaluasi berbagai alternatif praktik pertanian berdasarkan kriteria lingkungan, ekonomi, dan sosial. Teori ini relevan karena kemampuannya untuk mengintegrasikan data kuantitatif dan kualitatif, sehingga menghasilkan keputusan yang lebih holistik dan terinformasi (Erdoğan, 2022).

Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) melengkapi AHP dengan menyediakan kerangka kerja untuk mengevaluasi berbagai alternatif berdasarkan sejumlah kriteria yang saling bertentangan (Arora et al., 2022). MCDA memungkinkan peneliti untuk mempertimbangkan dimensi keberlanjutan secara bersamaan, seperti efisiensi penggunaan sumber daya, dampak lingkungan, dan kesejahteraan petani. Dalam teori

ini, penting untuk menimbang bobot setiap kriteria secara proporsional, sehingga keputusan yang diambil mencerminkan prioritas yang seimbang antara berbagai aspek keberlanjutan.

Kombinasi AHP dan MCDA dalam penelitian pertanian berkelanjutan didasarkan pada teori pengambilan keputusan multi-kriteria yang berakar pada matematika terapan dan ilmu social (Chu & Le, 2022). Teori ini menekankan pentingnya struktur hierarkis dalam analisis keputusan, di mana setiap tingkat hierarki mencerminkan aspek-aspek spesifik dari masalah yang diteliti. Pendekatan ini memungkinkan integrasi data dari berbagai sumber, baik yang bersifat objektif maupun subjektif, untuk menghasilkan solusi yang lebih adaptif terhadap kebutuhan local (Arora et al., 2022).

Dalam penerapannya, AHP dan MCDA sering kali menggunakan prinsip utilitarianisme, yang mengutamakan hasil terbaik bagi sebanyak mungkin pihak. Teori ini relevan dalam konteks pertanian berkelanjutan karena menekankan keseimbangan antara keuntungan ekonomi dan pelestarian lingkungan (Arora et al., 2022). Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya memberikan solusi teknis, tetapi juga mempertimbangkan dampak jangka panjang terhadap ekosistem dan masyarakat, sesuai dengan prinsip-prinsip keberlanjutan. Namun, teori ini juga menghadapi tantangan, terutama dalam hal subjektivitas penentuan bobot kriteria dan ketergantungan pada data yang tersedia. Dalam konteks pertanian berkelanjutan, tantangan ini dapat diatasi dengan pendekatan partisipatif yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan (Chu & Le, 2022). Dengan demikian, teori AHP dan MCDA tidak hanya menjadi alat analisis, tetapi juga menjadi sarana untuk membangun konsensus dan meningkatkan akuntabilitas dalam pengambilan keputusan.

2. METODE

2.1. Pengumpulan Data dan Identifikasi Kriteria Keberlanjutan

Pengumpulan data dilakukan melalui pendekatan campuran yang melibatkan survei, wawancara mendalam, dan studi literatur. Survei dirancang untuk mengumpulkan data kuantitatif dari petani, pemangku kepentingan, dan ahli di bidang pertanian berkelanjutan, sementara wawancara mendalam digunakan untuk memperoleh wawasan kualitatif terkait praktik lokal dan tantangan keberlanjutan. Studi literatur dilakukan untuk mengidentifikasi kriteria keberlanjutan yang relevan berdasarkan penelitian sebelumnya. Data yang terkumpul mencakup aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial, seperti efisiensi penggunaan air, pendapatan petani, dan kesejahteraan masyarakat. Semua data kemudian dikategorikan dan disusun untuk mempermudah proses analisis lebih lanjut (Sefano et al., 2024).

Identifikasi kriteria keberlanjutan dilakukan dengan melibatkan para ahli dan pemangku kepentingan melalui diskusi terfokus (*focus group discussions*). Proses ini bertujuan untuk menentukan kriteria yang paling relevan dan signifikan dalam konteks lokal. Setiap kriteria dievaluasi berdasarkan relevansi, kelayakan pengukuran, dan kontribusinya terhadap tujuan keberlanjutan (Coruhlu et al., 2022). Kriteria yang diidentifikasi mencakup dimensi lingkungan, seperti konservasi tanah dan air; dimensi ekonomi, seperti produktivitas dan efisiensi biaya; serta dimensi sosial, seperti partisipasi

masyarakat dan keamanan pangan. Pendekatan partisipatif ini memastikan bahwa kriteria yang dipilih mencerminkan kebutuhan dan prioritas lokal (Sefano et al., 2024).

Setelah kriteria diidentifikasi, setiap kriteria diberi bobot awal berdasarkan masukan dari para ahli dan analisis literatur. Bobot ini mencerminkan tingkat kepentingan relatif masing-masing kriteria dalam mencapai keberlanjutan. Proses pemberian bobot dilakukan menggunakan metode *pairwise comparison*, di mana setiap kriteria dibandingkan secara berpasangan untuk menentukan prioritasnya. Data dari hasil perbandingan ini kemudian diolah menggunakan perangkat lunak analisis AHP untuk memastikan konsistensi dan akurasi bobot yang diberikan. Hasil akhir dari proses ini adalah daftar kriteria keberlanjutan yang terstruktur dan berbobot, yang akan digunakan dalam tahap analisis lebih lanjut (Coruhlu et al., 2022).

2.2. Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)

Penerapan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dimulai dengan membangun struktur hierarki yang mencerminkan permasalahan pengambilan keputusan dalam pertanian berkelanjutan. Hierarki ini terdiri dari tiga tingkat utama, yaitu tujuan utama di tingkat atas, kriteria keberlanjutan di tingkat tengah, dan alternatif praktik pertanian di tingkat bawah (Cicciù et al., 2022). Struktur ini dirancang berdasarkan kriteria yang telah diidentifikasi sebelumnya melalui diskusi dengan para ahli dan pemangku kepentingan. Setiap elemen dalam hierarki disusun secara sistematis untuk memastikan bahwa semua aspek keberlanjutan, termasuk dimensi lingkungan, ekonomi, dan sosial, terwakili secara proporsional dalam proses pengambilan keputusan (Cetinkaya et al., 2022).

Langkah berikutnya adalah melakukan perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) untuk setiap kriteria dan subkriteria dalam hierarki. Proses ini melibatkan pemberian nilai preferensi oleh para ahli dan pemangku kepentingan berdasarkan tingkat kepentingan relatif antar kriteria. Nilai preferensi ini diberikan menggunakan skala numerik yang telah ditentukan, misalnya skala 1 hingga 9, di mana angka yang lebih tinggi menunjukkan tingkat kepentingan yang lebih besar (Chu & Le, 2022). Data hasil perbandingan berpasangan kemudian diolah menggunakan perangkat lunak khusus AHP untuk menghitung bobot prioritas masing-masing kriteria. Konsistensi data juga dievaluasi untuk memastikan validitas hasil (Cicciù et al., 2022).

Setelah bobot kriteria ditentukan, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi alternatif praktik pertanian berdasarkan bobot tersebut. Setiap alternatif dinilai terhadap masing-masing kriteria menggunakan data kuantitatif dan kualitatif yang telah dikumpulkan sebelumnya (Kazemi & Hosseinpour, 2022). Penilaian ini dilakukan dengan melibatkan para ahli untuk memastikan bahwa setiap alternatif dievaluasi secara objektif dan sesuai dengan konteks lokal. Hasil evaluasi kemudian digunakan untuk menghitung skor akhir dari setiap alternatif, yang mencerminkan tingkat keberlanjutannya (Erdoğan, 2022). Alternatif dengan skor tertinggi dianggap sebagai opsi terbaik untuk mendukung pertanian berkelanjutan di wilayah studi.

2.3. Integrasi Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)

Integrasi Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) dilakukan dengan menggabungkan bobot kriteria yang diperoleh dari metode AHP dengan data kuantitatif dan kualitatif yang telah dikumpulkan (Everest & Gür, 2022). Proses ini dimulai dengan menyusun matriks evaluasi yang mencakup semua alternatif praktik pertanian dan kriteria keberlanjutan yang telah diidentifikasi. Setiap alternatif dinilai berdasarkan kriteria

menggunakan skala numerik yang seragam untuk memastikan konsistensi. Penilaian dilakukan dengan melibatkan para ahli dan pemangku kepentingan untuk mengintegrasikan perspektif lokal. Data yang terkumpul kemudian diolah menggunakan perangkat lunak MCDA untuk menghasilkan skor komposit yang mencerminkan performa setiap alternatif terhadap seluruh kriteria (Goodarzi, 2022).

Langkah berikutnya adalah menentukan prioritas alternatif berdasarkan skor komposit yang dihasilkan dari analisis MCDA. Proses ini melibatkan normalisasi data untuk memastikan bahwa semua kriteria memiliki skala yang sebanding, sehingga tidak ada kriteria yang mendominasi hasil akhir secara tidak proporsional. Normalisasi dilakukan dengan metode linear atau non-linear, tergantung pada sifat data yang tersedia. Setelah data dinormalisasi, skor akhir dihitung dengan mengalikan bobot kriteria dengan nilai normalisasi masing-masing alternatif. Hasil ini kemudian dirangkum dalam bentuk peringkat alternatif, yang menunjukkan opsi terbaik untuk mendukung pertanian berkelanjutan berdasarkan analisis multi-kriteria (Kazemi & Hosseinpour, 2022).

Untuk memastikan keandalan hasil, analisis sensitivitas dilakukan sebagai bagian dari integrasi MCDA. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana perubahan bobot kriteria memengaruhi peringkat alternatif. Proses ini melibatkan simulasi dengan mengubah bobot kriteria secara sistematis dalam rentang tertentu dan mengamati dampaknya terhadap hasil akhir. Jika peringkat alternatif tetap konsisten meskipun terjadi perubahan bobot, maka hasil analisis dianggap robust. Analisis sensitivitas ini juga membantu mengidentifikasi kriteria yang paling berpengaruh terhadap keputusan, sehingga dapat menjadi fokus utama dalam pengambilan kebijakan di masa depan (Kim & Sung, 2022).

2.4. Analisis Data dan Evaluasi Alternatif

Proses analisis data dimulai dengan pengolahan hasil perbandingan berpasangan yang telah dilakukan dalam metode AHP. Data yang diperoleh dari pairwise comparison diolah menggunakan perangkat lunak khusus untuk menghitung bobot prioritas setiap kriteria. Selanjutnya, bobot ini digunakan untuk mengevaluasi alternatif praktik pertanian berdasarkan data kuantitatif dan kualitatif yang telah dikumpulkan. Penilaian dilakukan dengan mengintegrasikan data dari berbagai sumber, termasuk survei, wawancara, dan studi literatur. Setiap alternatif dinilai terhadap masing-masing kriteria keberlanjutan, seperti efisiensi sumber daya, dampak lingkungan, dan kesejahteraan sosial, untuk menghasilkan skor awal yang mencerminkan performa relatifnya (Everest & Gür, 2022).

Setelah skor awal diperoleh, langkah berikutnya adalah menyusun matriks evaluasi yang mencakup semua alternatif dan kriteria keberlanjutan. Matriks ini digunakan dalam analisis MCDA untuk menghitung skor komposit setiap alternatif. Proses ini melibatkan normalisasi data agar skala penilaian antar kriteria menjadi sebanding. Normalisasi dilakukan menggunakan metode linear, di mana nilai setiap alternatif disesuaikan dengan rentang nilai minimum dan maksimum pada masing-masing kriteria. Skor komposit dihitung dengan mengalikan bobot kriteria dengan nilai normalisasi setiap alternatif, kemudian menjumlahkan hasilnya untuk menghasilkan peringkat akhir (Goodarzi, 2022).

Evaluasi alternatif dilengkapi dengan analisis sensitivitas untuk memastikan keandalan hasil. Dalam analisis ini, bobot kriteria diubah secara sistematis dalam rentang tertentu untuk mengamati dampaknya terhadap peringkat alternatif (Kim & Sung, 2022). Proses ini dilakukan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak MCDA, yang memungkinkan identifikasi kriteria yang paling berpengaruh terhadap keputusan akhir

(Kazemi & Hosseinpour, 2022). Jika peringkat alternatif tetap konsisten meskipun terjadi perubahan bobot, hasil analisis dianggap robust. Analisis ini juga membantu mengidentifikasi potensi bias dalam bobot kriteria dan memberikan wawasan tambahan untuk pengambilan keputusan yang lebih informatif.

2.5. Validasi dan Interpretasi Hasil

Proses validasi hasil dilakukan dengan menggunakan analisis sensitivitas untuk mengevaluasi stabilitas peringkat alternatif terhadap perubahan bobot kriteria. Analisis ini melibatkan simulasi dengan mengubah bobot kriteria dalam rentang tertentu dan mengamati dampaknya terhadap peringkat akhir. Jika peringkat alternatif tetap konsisten meskipun terjadi variasi bobot, maka hasil dianggap valid dan robust. Selain itu, validasi juga dilakukan dengan membandingkan hasil analisis dengan data empiris atau studi kasus yang relevan, guna memastikan bahwa keputusan yang dihasilkan mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Proses ini melibatkan diskusi dengan para ahli untuk meninjau hasil secara kritis (Kilic et al., 2023).

Interpretasi hasil dilakukan dengan menganalisis skor komposit dari setiap alternatif praktik pertanian berdasarkan kriteria keberlanjutan yang telah ditentukan. Skor ini digunakan untuk mengidentifikasi alternatif yang memiliki performa terbaik dalam memenuhi tujuan keberlanjutan. Interpretasi dilakukan dengan mempertimbangkan dimensi lingkungan, ekonomi, dan sosial secara seimbang, sehingga hasil analisis dapat memberikan rekomendasi yang holistik. Selain itu, hasil juga disajikan dalam bentuk visual, seperti grafik atau diagram, untuk mempermudah pemahaman dan komunikasi kepada pemangku kepentingan. Proses ini memastikan bahwa hasil dapat diakses dan dimanfaatkan secara efektif (Kucuker & Giraldo, 2022).

Untuk memastikan keandalan interpretasi, dilakukan validasi tambahan melalui pendekatan partisipatif dengan melibatkan pemangku kepentingan lokal. Diskusi kelompok terfokus (*focus group discussions*) digunakan untuk mengonfirmasi relevansi dan kelayakan hasil analisis dalam konteks lokal. Pemangku kepentingan diminta untuk memberikan masukan terkait hasil yang diperoleh, termasuk potensi implikasi dan tantangan dalam implementasi alternatif yang direkomendasikan. Masukan ini kemudian digunakan untuk memperbaiki interpretasi dan memastikan bahwa rekomendasi yang dihasilkan dapat diterima dan diimplementasikan secara praktis. Pendekatan ini juga meningkatkan akuntabilitas dan transparansi dalam proses pengambilan keputusan (Otieno et al., 2023).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Efektivitas AHP dalam Menentukan Kriteria Keberlanjutan Pertanian

Hasil analisis menunjukkan bahwa metode AHP efektif dalam menentukan kriteria keberlanjutan pertanian melalui pendekatan hierarkis yang sistematis. Dengan menggunakan pairwise comparison, bobot kriteria dapat ditentukan secara kuantitatif berdasarkan masukan dari para ahli dan pemangku kepentingan. Proses ini memungkinkan identifikasi prioritas yang jelas antara kriteria lingkungan, ekonomi, dan sosial. Validitas hasil diperkuat dengan evaluasi konsistensi, yang menunjukkan bahwa nilai rasio konsistensi berada di bawah ambang batas 0,1, menandakan akurasi dan keandalan penghitungan (Everest & Gür, 2022).

Selain itu, metode ini memberikan fleksibilitas dalam mengakomodasi berbagai perspektif yang berbeda. Dalam konteks keberlanjutan pertanian, pendekatan ini memungkinkan penggabungan data kuantitatif, seperti hasil pengukuran efisiensi biaya, dengan data kualitatif, seperti persepsi masyarakat terhadap dampak lingkungan. Hal ini memberikan keunggulan dibandingkan metode lain yang cenderung hanya fokus pada salah satu jenis data. Dengan demikian, AHP tidak hanya membantu menentukan prioritas, tetapi juga memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang hubungan antar kriteria. Misalnya, hubungan antara konservasi tanah dan efisiensi biaya dapat dianalisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi potensi sinergi atau konflik yang mungkin muncul dalam implementasi kebijakan (Cicciù et al., 2022).

Kriteria keberlanjutan yang diidentifikasi mencakup konservasi tanah dan air, efisiensi biaya, serta partisipasi masyarakat. Hasil menunjukkan bahwa kriteria lingkungan, seperti konservasi tanah dan air, memiliki bobot yang lebih tinggi dibandingkan dimensi lainnya. Hal ini mencerminkan pentingnya aspek lingkungan dalam mendukung keberlanjutan jangka panjang (Kucuker & Giraldo, 2022). Namun, dimensi ekonomi dan sosial tetap memiliki bobot signifikan, menunjukkan perlunya pendekatan yang seimbang untuk mencapai keberlanjutan yang holistik.

Proses pemberian bobot melalui AHP juga mengungkapkan adanya variasi preferensi di antara pemangku kepentingan. Misalnya, petani lokal lebih memprioritaskan efisiensi biaya dan pendapatan, sementara ahli lingkungan lebih menekankan konservasi sumber daya alam (Kilic et al., 2023). Perbedaan ini menunjukkan pentingnya melibatkan berbagai pemangku kepentingan dalam proses pengambilan keputusan untuk memastikan bahwa hasil analisis mencerminkan kebutuhan dan prioritas yang beragam (Otieno et al., 2023).

Analisis sensitivitas yang dilakukan menunjukkan bahwa hasil bobot kriteria relatif stabil terhadap perubahan kecil dalam preferensi. Hal ini menunjukkan robustnya metode AHP dalam menentukan prioritas kriteria keberlanjutan. Namun, analisis juga mengidentifikasi bahwa kriteria dengan bobot tinggi, seperti konservasi tanah, lebih sensitif terhadap perubahan dibandingkan kriteria dengan bobot rendah. Temuan ini penting untuk mempertimbangkan potensi bias dalam pengambilan keputusan (Coruhlu et al., 2022).

Secara keseluruhan, AHP terbukti menjadi alat yang efektif dalam menentukan kriteria keberlanjutan pertanian dengan mengintegrasikan data kuantitatif dan kualitatif. Namun, keberhasilan penerapannya sangat bergantung pada kualitas data dan keterlibatan pemangku kepentingan. Pendekatan partisipatif yang melibatkan diskusi kelompok terfokus terbukti meningkatkan akurasi dan relevansi hasil. Dengan demikian, AHP tidak hanya memberikan kerangka analisis yang terstruktur, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan yang inklusif dan transparan.

3.2. Evaluasi Integrasi MCDA dalam Pengambilan Keputusan Multi-Kriteria

Hasil evaluasi integrasi MCDA menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu mengakomodasi berbagai kriteria keberlanjutan secara simultan, memungkinkan analisis yang lebih komprehensif. Dengan menggabungkan bobot kriteria dari AHP, MCDA menghasilkan skor komposit yang mencerminkan performa alternatif praktik pertanian

terhadap dimensi lingkungan, ekonomi, dan social (Ozsahin & Ozdes, 2022). Proses normalisasi data memastikan bahwa perbedaan skala antar kriteria tidak memengaruhi hasil akhir secara tidak proporsional. Hal ini memperkuat validitas keputusan yang diambil, terutama dalam konteks keberlanjutan yang memerlukan pendekatan holistic (Roy et al., 2023).

Analisis menunjukkan bahwa integrasi MCDA memberikan fleksibilitas dalam mengevaluasi alternatif berdasarkan data kuantitatif dan kualitatif. Misalnya, alternatif praktik pertanian yang lebih efisien dalam penggunaan air namun memiliki biaya tinggi tetap dapat dipertimbangkan secara proporsional terhadap kriteria lainnya (Şener et al., 2022). Proses ini memungkinkan identifikasi alternatif yang tidak hanya unggul dalam satu dimensi, tetapi juga memiliki performa yang seimbang di berbagai aspek keberlanjutan. Dengan demikian, MCDA menjadi alat yang efektif untuk mendukung pengambilan keputusan yang kompleks (Sefano et al., 2024).

Namun, hasil evaluasi juga mengungkapkan tantangan dalam penerapan MCDA, terutama terkait dengan penentuan bobot kriteria yang dapat dipengaruhi oleh preferensi subjektif pemangku kepentingan. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa perubahan kecil dalam bobot kriteria dapat memengaruhi peringkat alternatif, terutama untuk kriteria dengan bobot tinggi (Tennakoon et al., 2023). Hal ini menyoroti pentingnya proses partisipatif dalam menentukan bobot, guna memastikan bahwa hasil analisis mencerminkan kebutuhan dan prioritas yang beragam dari semua pihak yang terlibat.

Selain itu, integrasi MCDA memungkinkan identifikasi kriteria yang paling berpengaruh terhadap keputusan akhir. Dalam studi ini, kriteria lingkungan seperti konservasi tanah dan air memiliki dampak signifikan terhadap peringkat alternatif. Temuan ini memberikan wawasan penting bagi pembuat kebijakan untuk memprioritaskan aspek-aspek tertentu dalam strategi keberlanjutan. Dengan demikian, MCDA tidak hanya menghasilkan rekomendasi teknis, tetapi juga memberikan panduan strategis yang relevan untuk implementasi di lapangan (Veerachamy & Ramar, 2022).

Secara keseluruhan, evaluasi integrasi MCDA menunjukkan bahwa metode ini memiliki potensi besar untuk mendukung pengambilan keputusan multi-kriteria dalam pertanian berkelanjutan. Namun, keberhasilannya sangat bergantung pada kualitas data, proses penentuan bobot, dan keterlibatan pemangku kepentingan. Dengan pendekatan yang transparan dan inklusif, MCDA dapat menjadi alat yang andal untuk mengidentifikasi alternatif terbaik yang mendukung keberlanjutan jangka panjang (Vojteški & Lukić, 2022).

3.3. Studi Kasus: Implementasi AHP dan MCDA dalam Praktik Pertanian Lokal

Studi kasus implementasi AHP dan MCDA dalam praktik pertanian lokal menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu mengidentifikasi alternatif praktik yang sesuai dengan konteks spesifik wilayah studi (Otieno et al., 2023). Dalam penelitian ini, hierarki AHP dirancang berdasarkan masukan dari petani, ahli, dan pemangku kepentingan lokal, mencakup kriteria seperti konservasi tanah, efisiensi biaya, dan partisipasi Masyarakat (Zarei, & Mahmoudi, 2022). Hasil analisis menunjukkan bahwa praktik pertanian berbasis agroforestri memperoleh skor tertinggi, mencerminkan

keunggulannya dalam aspek lingkungan dan sosial, meskipun memerlukan investasi awal yang lebih tinggi dibandingkan alternatif lainnya.

Proses *pairwise comparison* dalam AHP mengungkapkan preferensi yang beragam di antara pemangku kepentingan. Petani cenderung memprioritaskan efisiensi biaya dan peningkatan pendapatan, sementara ahli lingkungan lebih menekankan konservasi sumber daya alam. Perbedaan ini diakomodasi dalam analisis MCDA, yang mengintegrasikan bobot kriteria dari AHP dengan data kuantitatif dan kualitatif. Hasilnya, alternatif yang seimbang dalam memenuhi kriteria lingkungan, ekonomi, dan sosial diidentifikasi sebagai opsi terbaik, mencerminkan fleksibilitas pendekatan ini dalam menangani preferensi yang beragam (Kucuker & Giraldo, 2022).

Normalisasi data dalam MCDA memastikan bahwa perbedaan skala antar kriteria tidak memengaruhi hasil akhir secara tidak proporsional. Dalam studi ini, praktik pertanian organik memperoleh skor tinggi pada kriteria lingkungan tetapi rendah pada efisiensi biaya (Arora et al., 2022). Namun, integrasi bobot kriteria memungkinkan alternatif ini tetap dipertimbangkan secara proporsional. Hal ini menunjukkan bahwa MCDA mampu memberikan evaluasi yang lebih holistik, memungkinkan pengambilan keputusan yang mempertimbangkan berbagai dimensi keberlanjutan secara simultan.

Analisis sensitivitas yang dilakukan menunjukkan bahwa peringkat alternatif relatif stabil terhadap perubahan kecil dalam bobot kriteria. Namun, kriteria dengan bobot tinggi, seperti konservasi tanah, lebih sensitif terhadap perubahan dibandingkan kriteria lainnya (Burak et al., 2022). Temuan ini menyoroti pentingnya proses partisipatif dalam menentukan bobot kriteria, guna memastikan bahwa hasil analisis mencerminkan kebutuhan dan prioritas lokal. Selain itu, analisis ini memberikan wawasan tambahan bagi pembuat kebijakan untuk memitigasi potensi bias dalam pengambilan keputusan.

Secara keseluruhan, implementasi AHP dan MCDA dalam praktik pertanian lokal menunjukkan potensi besar untuk mendukung keberlanjutan. Pendekatan ini tidak hanya menghasilkan rekomendasi teknis yang relevan, tetapi juga membangun konsensus di antara pemangku kepentingan (Goodarzi, 2022). Namun, keberhasilannya sangat bergantung pada kualitas data, keterlibatan pemangku kepentingan, dan validasi hasil melalui pendekatan partisipatif. Dengan demikian, AHP dan MCDA dapat menjadi alat yang andal untuk mendukung pengambilan keputusan yang inklusif dan berbasis bukti dalam pertanian berkelanjutan.

3.4. Tantangan dan Peluang dalam Penerapan AHP dan MCDA untuk Pertanian Berkelanjutan

Penerapan AHP dan MCDA dalam pertanian berkelanjutan menghadapi tantangan utama berupa subjektivitas dalam penentuan bobot kriteria. Preferensi pemangku kepentingan yang beragam sering kali menghasilkan perbedaan signifikan dalam hasil analisis (Cetinkaya et al., 2022). Misalnya, petani cenderung memprioritaskan aspek ekonomi, sementara ahli lingkungan lebih menekankan konservasi sumber daya. Ketidakseimbangan ini dapat memengaruhi validitas keputusan akhir. Oleh karena itu, pendekatan partisipatif yang melibatkan diskusi kelompok terfokus menjadi penting untuk memastikan bahwa bobot kriteria mencerminkan kebutuhan dan prioritas yang beragam secara adil.

Ketersediaan data yang terbatas juga menjadi tantangan dalam penerapan AHP dan MCDA. Data kuantitatif yang diperlukan untuk menilai alternatif praktik pertanian sering kali tidak lengkap atau tidak konsisten, terutama di wilayah pedesaan. Hal ini dapat memengaruhi akurasi skor komposit yang dihasilkan. Untuk mengatasi masalah ini, integrasi data kualitatif melalui wawancara mendalam dan survei lokal dapat menjadi solusi. Pendekatan ini memungkinkan pengumpulan informasi yang lebih kontekstual dan relevan dengan kondisi lokal (Cicciù et al., 2022). Di sisi lain, penerapan AHP dan MCDA menawarkan peluang besar untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih inklusif dan transparan. Dengan struktur hierarkis yang sistematis, AHP memungkinkan identifikasi prioritas yang jelas, sementara MCDA menyediakan kerangka kerja untuk mengevaluasi berbagai alternatif secara holistik. Kombinasi kedua metode ini memungkinkan pengambilan keputusan yang tidak hanya berbasis data, tetapi juga mempertimbangkan perspektif lokal, sehingga lebih adaptif terhadap kebutuhan spesifik wilayah studi.

Peluang lain yang ditawarkan adalah kemampuan AHP dan MCDA untuk mengintegrasikan dimensi keberlanjutan secara simultan. Dalam penelitian ini, kriteria lingkungan, ekonomi, dan sosial dapat dianalisis secara bersamaan, memungkinkan identifikasi alternatif yang seimbang (Coruhlu et al., 2022). Hal ini memberikan keuntungan strategis bagi pembuat kebijakan untuk merancang intervensi yang tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga berkelanjutan dalam jangka panjang. Dengan demikian, metode ini dapat menjadi alat yang andal untuk mendukung perencanaan berbasis bukti. Namun, keberhasilan penerapan AHP dan MCDA sangat bergantung pada keterlibatan aktif pemangku kepentingan dan validasi hasil. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa perubahan kecil dalam bobot kriteria dapat memengaruhi peringkat alternatif, terutama untuk kriteria dengan bobot tinggi. Oleh karena itu, diperlukan proses validasi yang ketat, termasuk simulasi dan diskusi dengan para ahli, untuk memastikan bahwa hasil analisis robust dan mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Pendekatan ini juga meningkatkan akuntabilitas dalam pengambilan keputusan.

3.5. Rekomendasi untuk Meningkatkan Keandalan dan Validitas Metode AHP dan MCDA

Peningkatan keandalan dan validitas metode AHP dan MCDA dapat dimulai dengan memperkuat proses partisipatif dalam penentuan bobot kriteria. Melibatkan berbagai pemangku kepentingan melalui diskusi kelompok terfokus (FGD) memungkinkan pengumpulan perspektif yang lebih beragam, sehingga bobot yang dihasilkan mencerminkan kebutuhan dan prioritas yang lebih representatif. Selain itu, penggunaan teknik triangulasi data, seperti membandingkan hasil wawancara dengan survei kuantitatif, dapat meningkatkan akurasi dan mengurangi potensi bias subjektif. Pendekatan ini memastikan bahwa keputusan yang diambil lebih inklusif dan berbasis bukti (Zarei, & Mahmoudi, 2022).

Penggunaan perangkat lunak analisis yang lebih canggih juga direkomendasikan untuk meningkatkan keandalan hasil. Perangkat lunak modern dapat memfasilitasi evaluasi konsistensi yang lebih akurat dalam metode AHP dan MCDA, sehingga mengurangi potensi kesalahan dalam penghitungan bobot. Selain itu, fitur simulasi dalam

perangkat lunak memungkinkan analisis sensitivitas yang lebih mendalam, membantu mengidentifikasi kriteria yang paling berpengaruh terhadap keputusan akhir (Kilic et al., 2023). Dengan demikian, teknologi ini dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih robust dan valid.

Peningkatan kualitas data menjadi langkah penting untuk mendukung validitas metode AHP dan MCDA. Pengumpulan data kuantitatif yang lebih terstruktur melalui survei yang dirancang dengan baik dapat mengurangi ketidakpastian dalam penilaian alternatif (Sefano, et al., 2024). Di sisi lain, data kualitatif yang diperoleh melalui wawancara mendalam dapat memberikan konteks yang lebih kaya, terutama dalam memahami preferensi lokal. Kombinasi data kuantitatif dan kualitatif ini memastikan bahwa analisis mencerminkan realitas lapangan secara lebih komprehensif.

Validasi hasil melalui pendekatan partisipatif juga menjadi rekomendasi utama untuk meningkatkan keandalan metode. Diskusi dengan pemangku kepentingan setelah analisis awal dapat digunakan untuk meninjau hasil dan mengidentifikasi potensi bias atau ketidaksesuaian dengan kondisi local (Kim & Sung, 2022). Proses ini tidak hanya meningkatkan akurasi hasil, tetapi juga membangun kepercayaan di antara pemangku kepentingan, sehingga keputusan yang diambil lebih dapat diterima dan diimplementasikan secara efektif.

Terakhir, pelatihan dan kapasitas teknis bagi para peneliti dan pemangku kepentingan lokal perlu ditingkatkan untuk memastikan penerapan metode AHP dan MCDA yang optimal (Kucuker & Giraldo, 2022). Pemahaman yang lebih baik tentang prinsip-prinsip dasar dan teknik analisis dapat mengurangi kesalahan dalam proses pengumpulan data dan penghitungan bobot. Selain itu, pelatihan ini juga dapat meningkatkan kemampuan pemangku kepentingan dalam berpartisipasi secara aktif, sehingga hasil analisis lebih relevan dan dapat diandalkan.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi metode AHP dan MCDA merupakan pendekatan yang efektif untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pertanian berkelanjutan. AHP berhasil mengidentifikasi dan memberi bobot pada kriteria keberlanjutan secara sistematis, sementara MCDA memungkinkan evaluasi alternatif praktik pertanian secara holistik berdasarkan dimensi lingkungan, ekonomi, dan sosial. Analisis sensitivitas mengonfirmasi stabilitas hasil, meskipun kriteria dengan bobot tinggi menunjukkan sensitivitas lebih besar terhadap perubahan. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya memberikan kerangka analisis yang terstruktur tetapi juga mendukung keputusan yang lebih inklusif dan berbasis bukti. Selain itu, penelitian ini juga menyoroti pentingnya pengembangan metodologi yang lebih fleksibel untuk mengakomodasi dinamika sistem pertanian yang kompleks. Dalam konteks ini, integrasi teknologi digital seperti big data dan kecerdasan buatan (AI) dapat menjadi langkah maju untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi proses pengambilan keputusan. Teknologi ini dapat membantu dalam pengumpulan data yang lebih komprehensif, analisis pola, serta prediksi dampak dari berbagai skenario praktik pertanian. Dengan demikian, pendekatan berbasis teknologi dapat melengkapi AHP dan MCDA, memberikan wawasan yang lebih

mendalam, dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan dan sosial.

Namun, penelitian ini juga mengungkapkan tantangan dalam penerapan AHP dan MCDA, terutama terkait subjektivitas dalam penentuan bobot kriteria dan keterbatasan data kuantitatif. Preferensi yang beragam di antara pemangku kepentingan sering kali menghasilkan perbedaan prioritas, yang dapat memengaruhi hasil akhir. Untuk mengatasi hal ini, pendekatan partisipatif melalui diskusi kelompok terfokus terbukti efektif dalam memastikan bahwa bobot kriteria mencerminkan kebutuhan dan prioritas yang beragam. Selain itu, integrasi data kualitatif melalui wawancara mendalam memberikan konteks yang lebih kaya, sehingga meningkatkan validitas hasil. Secara keseluruhan, penerapan AHP dan MCDA dalam penelitian ini menunjukkan potensi besar untuk mendukung keberlanjutan pertanian melalui pengambilan keputusan yang lebih terinformasi dan holistik. Keberhasilan metode ini sangat bergantung pada kualitas data, keterlibatan aktif pemangku kepentingan, dan validasi hasil melalui analisis sensitivitas. Dengan pendekatan yang transparan dan inklusif, AHP dan MCDA dapat menjadi alat yang andal untuk merancang strategi keberlanjutan yang adaptif terhadap kebutuhan lokal, sekaligus memberikan panduan strategis bagi pembuat kebijakan dalam mendukung praktik pertanian yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arora, C., Kamat, A., Shanker, S., & Barve, A. (2022). Integrating agriculture and industry 4.0 under "agri-food 4.0" to analyze suitable technologies to overcome agronomical barriers. *British Food Journal*. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2021-0934>
- Burak, S., Samanlıoğlu, F., & Ülker, D. (2022). Evaluation of irrigation methods in Söke Plain with HF-AHP-PROMETHEE II hybrid MCDM method. *Agricultural Water Management*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377422003572>
- Cetinkaya, C., Özkan, B., Özceylan, E., & Haffar, S. (2022). An eco-friendly evaluation for locating wheat processing plants: an integrated approach based on interval type-2 fuzzy AHP and COPRAS. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-06922-2>
- Chu, T. C., & Le, T. H. P. (2022). Evaluating and selecting agricultural insurance packages through an AHP-based fuzzy TOPSIS Method. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-06964-6>
- Cicciù, B., Schramm, F., & Schramm, V. B. (2022). Multi-criteria decision making/aid methods for assessing agricultural sustainability: A literature review. *Environmental Science & Policy*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901122002982>
- Coruhlu, Y. E., Solgun, N., Baser, V., & Terzi, F. (2022). Revealing the solar energy potential by integration of GIS and AHP in order to compare decisions of the land use on the environmental plans. *Land Use Policy*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837721006220>

- Erdoğan, M. (2022). Assessing farmers' perception to Agriculture 4.0 technologies: A new interval-valued spherical fuzzy setsbased approach. *International Journal of Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1002/int.22756>
- Everest, T., & Gür, E. (2022). A GIS-based land evaluation model for peach cultivation by using AHP: a case study in NW Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09898-6>
- Goodarzi, M. (2022). Prioritization of Arable Crops Using Multiple Criteria and Analytical Hierarchy Process (AHP) Method, Case Study: Markazi Province-Farahan Plain. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*. https://idj.iaid.ir/article_149108.html?lang=en
- Kazemi, F., & Hosseinpour, N. (2022). GIS-based land-use suitability analysis for urban agriculture development based on pollution distributions. *Land Use Policy*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837722004537>
- Kim, H. W., & Sung, J. H. (2022). An Analysis of The Relative Importance for Target Selecting Criteria in Agricultural Environment Conservation Program. *Korean Journal of Organic Agriculture*. <https://koreascience.kr/article/JAKO202206947570145.page>
- Kılıc, D., Yagci, C., & Iscan, F. (2023). A GIS-based multi-criteria decision analysis approach using AHP for rural settlement site selection and eco-village design in Erzincan, Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012122002798>
- Kucuker, D. M., & Giraldo, D. C. (2022). Assessment of soil erosion risk using an integrated approach of GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) in Erzurum, Turkiye. *Ecological Informatics*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954122002382>
- Otieno, M. A., Gitari, H. I., Maitra, S., & Nungula, E. Z. (2023). *GIS-AHP technique land suitability assessment for capsicum (Capsicum annum L.) production*. [indianjournals.com](https://www.indianjournals.com). <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijbs1&volume=10&issue=1&article=003>
- Ozsahin, E., & Ozdes, M. (2022). Agricultural land suitability assessment for agricultural productivity based on GIS modeling and multi-criteria decision analysis: the case of Tekirdağ province. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09663-1>
- Roy, S., Hazra, S., Chanda, A., & Das, S. (2022). Land suitability analysis using AHP-based multi-criteria decision model for sustainable agriculture in red and lateritic zones of West Bengal, India. *Journal of Earth System Science*. <https://doi.org/10.1007/s12040-022-01941-x>
- Sefano, M. A., Maira, L., Darfis, I., Yunanda, W. W., & Nursalam, F. (2023). Kajian aktivitas mikroorganisme tanah pada rhizosfir jagung (*Zea mays L.*) dengan pemberian pupuk organik pada ultisol. *JOURNAL OF TOP AGRICULTURE (TOP*

JOURNAL), 1(1), 31–39.
<https://ejournal.bangunharapanbangsa.id/index.php/JTA/article/view/74>

- Sefano, M. A., Juniarti, J., & Gusnidar, G. (2024). Land Suitability Evaluation For Okra (*Abelmoschus Esculentus* L.) In Nagari Nanggalo, Koto XI Tarusan District, Pesisir Selatan Regency, Indonesia Using GIS-AHP Technique. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 16(2). <https://doi.org/10.13033/ijahp.v16i2.1246>
- Şener, E., Şener, Ş., & Varol, S. (2022). Evaluation of irrigation water quality using GIS-based analytic hierarchy process (AHP) in Kızılırmak Delta (Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10003-x>
- Tennakoon, S., Apan, A., Maraseni, T., & Altarez, R. D. D. (2023). Decoding the impacts of space and time on honey bees: GIS based fuzzy AHP and fuzzy overlay to assess land suitability for apiary sites in Queensland, Australia. *Applied Geography*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622823000826>
- Veerachamy, R., & Ramar, R. (2022). Agricultural Irrigation Recommendation and Alert (AIRA) system using optimization and machine learning in Hadoop for sustainable agriculture. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13248-3>
- Vojteški, K. D., & Lukić, R. (2022). Efficiency analysis of agriculture in Serbia based on the CODAS method. *International Review*. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=1064454>
- Zarei, A. R., & Mahmoudi, M. R. (2022). Assessing and predicting the vulnerability to agrometeorological drought using the fuzzy-AHP and second-order Markov chain techniques. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03260-8>