



Integrasi PIPRECIA dan MACROS Dalam Penentuan Lokasi Pertanian Berkelanjutan

Irma Hakim^{1*}, Asdi², Oktoni Eryanto³

¹Fakultas Pertanian, Program Studi Agroteknologi, Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar, Indonesia
Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Program Studi Manajemen, Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar, Indonesia

²fakultas Pertanian, Program Studi Agroteknologi, Universitas Asahan, Kisaran, Indonesia

Email: ^{1*}campus_gardenia@yahoo.co.id, ²asdi@unismuh.ac.id, ³oktonieryanto55@gmail.com

Correspondence Author Email: campus_gardenia@yahoo.co.id

Abstrak—Penelitian ini mengembangkan sistem pendukung keputusan berbasis metode multi-kriteria untuk menentukan lokasi pertanian berkelanjutan di tengah tantangan perubahan iklim. Dua metode digunakan secara terintegrasi: PIPRECIA (Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment) untuk menghitung bobot kriteria secara efisien berdasarkan peringkat pakar, dan MACROS (Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution) sebagai metode penilaian dan pemeringkatan alternatif. MACROS, sebagai salah satu metode Multiple Criteria Decision Making (MCDM), menggabungkan proses normalisasi, pembobotan, dan penjumlahan skor kompromi guna menghasilkan urutan alternatif yang optimal. Enam kriteria utama dianalisis dalam penelitian ini, yaitu ketersediaan air, kesesuaian tanah, risiko banjir, akses ke pasar, dukungan pemerintah, dan kondisi iklim mikro. Hasil integrasi kedua metode menghasilkan peringkat alternatif lokasi, di mana lokasi "G" menunjukkan skor kompromi tertinggi sebesar 0.985. Hal ini mengindikasikan bahwa lokasi tersebut paling sesuai untuk pengembangan pertanian berkelanjutan. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah pada penyediaan pendekatan kuantitatif yang terstruktur, transparan, dan adaptif terhadap kompleksitas lingkungan, sehingga mampu mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam perencanaan pembangunan pertanian. Temuan ini diharapkan menjadi masukan strategis bagi pemangku kepentingan dalam merumuskan kebijakan pertanian yang berorientasi pada ketahanan pangan dan kesejahteraan petani melalui pemilihan lokasi yang tepat dan berkelanjutan.

Kata Kunci: PIPRECIA; MACROS; Integrasi; Pendukung Keputusan; Lokasi Pertanian

Abstract—This study develops a decision support system for selecting sustainable agricultural locations amid the challenges of climate change. Two integrated multi-criteria decision-making (MCDM) methods are employed: PIPRECIA (Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment) to determine the importance weights of criteria based on expert rankings, and MACROS (Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution), a structured method used to evaluate and rank alternatives through normalization, weighted scoring, and compromise-based ranking. Six key criteria are considered: water availability, land suitability, flood risk, market access, government support, and microclimate conditions. The integration of PIPRECIA and MACROS enables a systematic and transparent evaluation process. The results indicate that location "G" achieves the highest compromise score of 0.985, signifying its suitability as the most optimal site for sustainable agricultural development. The primary contribution of this research lies in offering a quantitative and structured approach that accommodates environmental uncertainties while enhancing decision-making transparency. By integrating expert judgment with computational assessment, this model supports data-driven decision-making in the planning of agricultural development. These findings are expected to provide strategic insights for policymakers in formulating adaptive agricultural policies, strengthening food security, and improving farmer welfare through accurate and sustainable location selection.

Keywords: PIPRECIA; MACROS; Integration; Decision Support; Agricultural Location

1. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor strategis yang memiliki peran vital dalam pemenuhan kebutuhan pangan [1], pengendalian inflasi [2], penciptaan lapangan kerja [3], dan peningkatan kesejahteraan masyarakat [4]. Pada negara agraris seperti Indonesia, kontribusi sektor pertanian sangat penting bagi perekonomian nasional, terutama dalam mendukung program ketahanan pangan [5]. Namun, tantangan utama yang dihadapi saat ini semakin kompleks, terutama akibat dampak perubahan iklim global yang menyebabkan pergeseran pola musim [6], kenaikan suhu rata-rata [7], anomali curah hujan [8], dan peningkatan frekuensi bencana alam seperti banjir atau kekeringan [9]. Dampak-dampak tersebut tidak hanya mengganggu jadwal tanam dan panen, tetapi juga menurunkan produktivitas lahan, memperluas lahan kritis, dan meningkatkan ketidakpastian hasil produksi. Kondisi ini menuntut inovasi dalam perencanaan pembangunan pertanian, termasuk penentuan lokasi yang tepat dan berkelanjutan untuk budidaya tanaman pangan. Lokasi pertanian yang sesuai menjadi kunci untuk meminimalisasi risiko bencana [10], memaksimalkan ketersediaan sumber daya alam [11], serta mendukung penerapan teknologi ramah lingkungan yang adaptif terhadap perubahan iklim [12].

Pada sisi lain, penentuan lokasi pertanian selama ini masih kerap dilakukan secara konvensional dengan mengandalkan intuisi atau pengalaman subjektif para pengambil keputusan. Padahal, pemilihan lokasi yang optimal memerlukan analisis mendalam terhadap berbagai kriteria yang saling berinteraksi, seperti ketersediaan air, kesuburan tanah, risiko banjir, akses ke pasar, dukungan kebijakan pemerintah, hingga kondisi iklim mikro lokal. Proses pengambilan keputusan yang tidak sistematis dan kurang berbasis data dapat mengakibatkan salah pilih lokasi yang berujung pada kegagalan produksi atau biaya produksi yang lebih tinggi. Berdasarkan hal ini, pendekatan Sistem Pendukung Keputusan (SPK) menjadi sangat relevan, yaitu sebagai alat bantu untuk merumuskan rekomendasi lokasi pertanian yang mempertimbangkan berbagai faktor secara objektif, transparan, dan terukur. Penggunaan SPK mampu membantu pengambil kebijakan, penyuluh, dan pelaku usaha tani dalam menganalisis sejumlah alternatif lokasi dengan kriteria yang kompleks dan multidimensi.



Untuk menghasilkan keputusan yang optimal, diperlukan metode pengambilan keputusan multikriteria (MCDM) yang mampu menangani kompleksitas tersebut. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah algoritma MACROS (Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) yang memiliki keunggulan dalam meranking alternatif dengan mempertimbangkan solusi kompromi antara kriteria yang saling bertentangan [13]–[15]. Metode ini membantu merumuskan keputusan yang realistis dengan menyeimbangkan kepentingan yang berbeda pada setiap kriteria. Pada sisi lain, metode PIPRECIA (Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment) berfungsi untuk menentukan bobot kriteria dengan cara yang lebih terstruktur dan efisien [16]–[18]. PIPRECIA menggunakan pendekatan perbandingan berpasangan yang disederhanakan melalui pivot untuk meningkatkan konsistensi penilaian pakar, sekaligus menghemat waktu penilaian [19]–[21]. Integrasi kedua metode ini sangat potensial untuk menciptakan model SPK yang tidak hanya dapat meranking alternatif lokasi dengan akurat, tetapi juga memberikan bobot kriteria yang konsisten dan valid berdasarkan penilaian ahli.

Uraian mengenai alasan pemilihan dan integrasi kedua metode akan dibahas secara menyeluruh pada bagian Metodologi Penelitian, untuk menjelaskan tahapan analisis dan keterkaitan nya dalam proses penentuan lokasi pertanian berkelanjutan. Beberapa penelitian terkait yang telah dilakukan diantaranya: Penelitian menggunakan integrasi model pertanian dan agronomi dengan pendekatan sosial dan demografis untuk meningkatkan intensifikasi pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan. Hasil penelitian dengan pendekatan pemodelan sosial dan demografis dapat meningkatkan produktivitas pertanian dan ketahanan sistem pangan. Akan tetapi kurangnya integrasi dengan hal sosial dan sistem manusia [22]. Penelitian selanjutnya dilakukan untuk membantu memaksimalkan produktivitas pertanian dan mengurangi biaya input menggunakan Sistem Pendukung keputusan yang disebut Agricultural Marketing Information System Network (AGMARKNET). AGMARKNET meningkatkan efisiensi pemasaran pertanian melalui penyebaran informasi pasar. Akan tetapi pada penelitian ini kurang mendiskusikan tentang keterbatasan SPK yang ada [23]. Penelitian berikutnya mengembangkan sistem pendukung keputusan (SPK) untuk pertanian berkelanjutan dan pengurangan kehilangan pangan dalam kondisi kebijakan yang tidak pasti. Dengan pendekatan multi-kriteria berbasis grey theory, model ini mengakomodasi ketidakpastian dan mempertimbangkan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi secara terpadu. Kontribusinya terletak pada kemampuan sistem dalam memberikan rekomendasi adaptif bagi pengambil kebijakan, berbeda dari pendekatan sebelumnya yang cenderung statis dan sektoral. Meskipun penelitian ini berhasil mengintegrasikan ketidakpastian kebijakan dalam sistem pendukung keputusan, kelemahannya terletak pada keterbatasan penerapan model yang belum diuji secara langsung pada data lapangan atau wilayah tertentu. Selain itu, pendekatan yang digunakan masih bersifat simulatif, sehingga validitas praktis dan kesiapan implementasinya di tingkat lokal memerlukan pengujian lebih lanjut [24]. Penelitian berikutnya membahas pengembangan sistem pendukung keputusan hibrida untuk pertanian cerdas (smart agriculture) dengan menggabungkan teknologi Internet of Things (IoT) dan metode Multi-Criteria Decision-Making (MCDM), khususnya metode fuzzy AHP dan fuzzy TOPSIS. Sistem ini mampu mengumpulkan data secara real-time dari sensor IoT dan mengolahnya untuk mendukung pengambilan keputusan pertanian secara otomatis dan adaptif. Model ini dinilai efektif untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan pertanian modern. Akan tetapi sistem ini belum diuji dalam lingkungan pertanian yang kompleks atau skala besar, sehingga validitas lapangan masih terbatas. Fokus penelitian juga masih masih pada aspek teknis (integrasi IoT–MCDM), namun belum menyentuh dimensi kebijakan, sosial, atau adaptasi terhadap perubahan iklim [25].

Berdasarkan riset-riset terdahulu, maka pada Penelitian ini menawarkan kontribusi signifikan terhadap pengembangan SPK di sektor pertanian berkelanjutan, khususnya dalam hal adaptasi terhadap perubahan iklim. Dengan memadukan MACROS dan PIPRECIA, penelitian ini menghadirkan model pengambilan keputusan yang bersifat partisipatif (melibatkan pakar), objektif (berbasis data dan metode terukur), dan praktis (dapat diimplementasikan pada skala lokal maupun nasional). Integrasi kedua metode ini dipilih karena PIPRECIA memungkinkan penetapan bobot kriteria secara efisien dan partisipatif, sementara MACROS mampu mengolah nilai berbobot dan menghasilkan ranking dengan mempertimbangkan keterbatasan antar kriteria. Implementasi model ini diharapkan dapat membantu pemerintah daerah, dinas pertanian, serta pelaku usaha tani untuk membuat keputusan yang lebih bijak dalam alokasi lahan, pengembangan kawasan pertanian baru, maupun rehabilitasi lahan kritis. Pada akhirnya, strategi ini tidak hanya mendukung ketahanan pangan nasional dengan meningkatkan produksi secara berkelanjutan, tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan lingkungan yang lebih baik dan mitigasi dampak perubahan iklim. Dengan demikian, penelitian ini memiliki nilai strategis dalam mendukung program pembangunan pertanian yang tangguh, efisien, dan berkelanjutan di Indonesia.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Kriteria Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data primer berupa penilaian pakar terhadap alternatif lokasi pertanian berdasarkan enam kriteria utama yang dipilih dengan mempertimbangkan relevansi terhadap pembangunan pertanian berkelanjutan di era perubahan iklim. Data dikumpulkan melalui survei terstruktur, diskusi panel, dan wawancara mendalam dengan pakar di bidang agronomi, perencanaan wilayah, dan kebijakan pertanian. Penilaian dilakukan pada 10 alternatif lokasi yang telah diidentifikasi pemerintah daerah sebagai calon lahan potensial pengembangan pertanian. Penilaian pakar menggunakan skala numerik 1–10 untuk setiap kriteria pada masing-masing lokasi, dengan pedoman deskriptif untuk menjaga konsistensi interpretasi antar penilai. Misalnya, skor 1–3 menunjukkan kondisi buruk, 4–6 sedang, dan 7–10 baik hingga



sangat baik. Hal ini membantu memastikan bahwa hasil penilaian lebih terstandarisasi dan mengurangi bias subjektif antar pakar.

Kriteria penilaian dirumuskan melalui studi literatur dan diskusi pakar sehingga menggambarkan faktor-faktor penting dalam kesesuaian lahan pertanian berkelanjutan, dan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

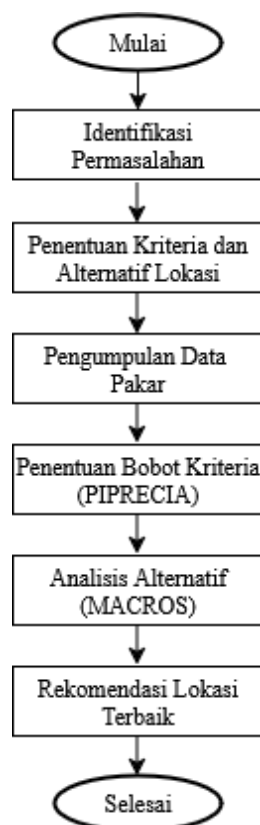
Tabel 1. Kriteria Penilaian

Nama Kriteria	Keterangan
K1	Ketersediaan Air
K2	Kesuburan Tanah
K3	Risiko Banjir (Cost Criterion)
K4	Jarak ke Pasar
K5	Dukungan Pemerintah
K6	Indeks Iklim Mikro

Ketersediaan Air mencakup akses ke irigasi, hujan rata-rata, dan keberlanjutan sumber air. Kesuburan Tanah terdiri kandungan hara, pH, tekstur, dan kapasitas menahan air. Risiko Banjir berupa intensitas dan frekuensi banjir, kondisi topografi (ini adalah cost criterion). Jarak ke Pasar mencakup kemudahan distribusi hasil tani, jarak transportasi. Dukungan Pemerintah berupa kebijakan subsidi, pelatihan, infrastruktur pendukung. Indeks Iklim Mikro terdiri dari suhu lokal, kelembapan, kesesuaian iklim untuk tanaman utama. Data lengkap dan hasil olahan akan disajikan pada bagian hasil dan pembahasan.

2.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahap sistematis untuk menghasilkan sistem pendukung keputusan berbasis metode MCDM untuk memastikan hasil yang terukur, transparan, dan dapat dipertanggungjawabkan. Setiap tahap dirancang untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam menentukan lokasi pertanian berkelanjutan. Berikut ini merupakan gambar tahapan penelitian yang dimulai dari identifikasi permasalahan hingga interpretasi hasil dan rekomendasi. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Berdasarkan Gambar 1 dapat dijelaskan bahwa Penelitian ini diawali dengan tahap identifikasi permasalahan yang bertujuan memahami dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian, termasuk risiko gagal panen akibat banjir, kekeringan, atau degradasi lahan. Setelah permasalahan terdefinisi dengan baik, dilakukan penentuan kriteria penilaian dan alternatif lokasi yang relevan untuk analisis. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data pakar melalui kuesioner dan diskusi terarah untuk memperoleh penilaian yang konsisten terhadap alternatif lokasi berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan. Data yang terkumpul digunakan pada tahap penentuan bobot kriteria dengan metode PIPRECIA yang



membantu menghitung bobot relatif setiap kriteria secara sistematis. Bobot tersebut kemudian menjadi input dalam tahap analisis alternatif menggunakan metode MACROS untuk menilai dan merangking lokasi berdasarkan nilai kompromi terbaik. Pada akhirnya, hasil analisis digunakan untuk memberikan rekomendasi lokasi pertanian terbaik yang mendukung strategi pembangunan berkelanjutan dan adaptif terhadap perubahan iklim.

2.3 Algoritma PIPRECIA

PIPRECIA (Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment) digunakan untuk menentukan bobot kriteria secara terstruktur, dengan mengurangi kompleksitas perbandingan berpasangan tradisional [26]. Langkah-langkah Algoritma PIPRECIA antara lain:

- a. Menetapkan Urutan Prioritas.

Menyusun kriteria berdasarkan pentingnya menurut pakar.

- b. Menilai Faktor Penyesuaian (s)

Menentukan nilai s untuk setiap kriteria berikutnya dibandingkan pivot (nilai 0-1+).

$$s_j = \text{nilai faktor penyesuaian} \quad (1)$$

- c. Menghitung Koefisien Penyesuaian (λ):

$$\lambda_j = \frac{1}{1 + s_j} \quad (2)$$

Mengukur penurunan pentingnya kriteria dibanding pivot.

- d. Menentukan Koefisien Relatif (K):

$$K_1 = 1, \quad K_j = K_{j-1} \cdot \lambda_j \quad (3)$$

Bobot tak ternormalisasi dihitung berantai.

- e. Menghitung Bobot Normalisasi (w):

$$w_j = \frac{K_j}{\sum_{j=1}^n K_j} \quad (4)$$

Menyusun bobot akhir agar total = 1.

Keterangan:

S_j merupakan Faktor penyesuaian kriteria ke-j. λ_j merupakan Koefisien penyesuaian. K_j merupakan Koefisien relatif tak ternormalisasi, dan w_j merupakan Bobot normalisasi kriteria ke-j.

2.4 Algoritma MACROS

MACROS (Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) digunakan untuk merangking alternatif berdasarkan solusi kompromi, dengan mempertimbangkan bobot kriteria dari PIPRECIA [27]. Langkah-langkah Algoritma MACROS antara lain:

- a. Normalisasi Nilai

$$\text{Benefit Criteria} = r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_j)} \quad (5)$$

$$\text{Cost Criteria} = r_{ij} = \frac{\min(x_j)}{x_{ij}} \quad (6)$$

- b. Menghitung Nilai Berbobot

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (7)$$

Menyusun bobot akhir agar total = 1

- c. Menghitung Skor Kompromi Total

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (8)$$

Menjumlahkan nilai berbobot untuk setiap alternatif

- d. Menentukan Ranking

1. Mengurutkan nilai S_i dari terbesar ke terkecil

2. Alternatif dengan skor tertinggi adalah pilihan terbaik

Keterangan:

x_{ij} merupakan Nilai asli alternatif i pada kriteria j. r_{ij} merupakan Nilai ternormalisasi. w_j merupakan Bobot kriteria ke-j. v_{ij} merupakan Nilai berbobot, dan S_i merupakan Skor total alternatif i

2.5 Integrasi MACROS dan PIPRECIA dalam Sistem Pendukung Keputusan

Integrasi kedua algoritma ini dirancang untuk mendukung pengambilan keputusan penentuan lokasi pertanian berkelanjutan.



- PIPRECIA digunakan untuk menghasilkan bobot kriteria yang konsisten dan disepakati oleh pakar.
 - MACROS memanfaatkan bobot tersebut untuk melakukan normalisasi, penghitungan nilai kompromi, dan perankingan alternatif.
 - Sistem yang dihasilkan bersifat transparan, mudah dipahami, dan dapat disesuaikan untuk kondisi lokal yang berbeda.
- Berdasarkan metodologi ini, keputusan lokasi pertanian diharapkan lebih objektif, akuntabel, dan mendukung tujuan adaptasi perubahan iklim.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Permasalahan

Hasil studi awal menunjukkan bahwa sektor pertanian menghadapi tekanan signifikan akibat perubahan iklim yang meningkatkan ketidakpastian produksi. Kabupaten yang menjadi lokasi penelitian mencatat peningkatan suhu rata-rata, ketidakpastian pola hujan, dan kejadian banjir yang lebih sering, mengancam keberlanjutan produksi pangan. Melalui diskusi dengan instansi pertanian setempat, diidentifikasi kebutuhan mendesak untuk pemilihan lokasi pertanian yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim. Saat ini, pengambilan keputusan lokasi masih bersifat subjektif dan kurang terstruktur. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengembangkan sistem pendukung keputusan berbasis metode Multi-Criteria Decision Making (MCDM) yang terukur dan transparan, guna membantu pemerintah daerah menentukan lokasi pertanian berkelanjutan.

3.2 Penentuan kriteria dan Alternatif Lokasi

Melalui studi literatur dan konsultasi pakar, enam kriteria utama ditetapkan sebagai dasar evaluasi lokasi. Kriteria tersebut adalah Ketersediaan Air, Kesuburan Tanah, Risiko Banjir, Jarak ke Pasar, Dukungan Pemerintah, dan Indeks Iklim Mikro. Pemilihan kriteria mempertimbangkan faktor agronomi, infrastruktur, dan kebijakan daerah untuk mendukung ketahanan pangan. Sementara itu, alternatif lokasi diidentifikasi oleh Dinas Pertanian sebagai 10 titik calon lahan di wilayah penelitian. Alternatif ini bervariasi dalam hal akses air, kondisi tanah, jarak transportasi, dan kerentanan bencana. Penetapan kriteria dan alternatif ini penting untuk memastikan analisis sesuai konteks lokal dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih objektif.

3.3 Pengumpulan Data Pakar

Data penilaian diperoleh dari lima pakar pertanian daerah melalui kuesioner terstruktur. Penilaian dilakukan dengan menggunakan skala 1–10 untuk setiap kriteria pada semua alternatif lokasi. Panduan skor disediakan untuk memastikan konsistensi interpretasi, di mana nilai 1-3 mencerminkan kondisi buruk, 4-6 sedang, dan 7-10 baik hingga sangat baik. Untuk kriteria benefit, nilai lebih tinggi lebih baik, sedangkan untuk kriteria cost, nilai lebih rendah lebih baik. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Data Penelitian

No	Lokasi	K1 (Air)	K2 (Tanah)	K3 (Banjir)	K4 (Pasar)	K5 (Dukungan)	K6 (Iklim Mikro)
1	A	8	9	3	7	6	8
2	B	7	8	5	6	7	7
3	C	9	7	4	8	5	8
4	D	6	6	6	5	6	6
5	E	8	8	3	7	8	9
6	F	7	7	5	6	5	7
7	G	9	9	2	9	7	9
8	H	6	7	4	5	6	7
9	I	8	8	3	8	7	8
10	J	7	6	5	7	6	6

Selain kuesioner, diskusi kelompok dilakukan untuk memvalidasi hasil penilaian dan menyepakati skor akhir. Proses ini dirancang untuk menghindari bias individu dan mencapai penilaian kolektif yang lebih andal. Berdasarkan data tersebut, Kriteria benefit: K1 (Ketersediaan Air), K2 (Kesuburan Tanah), K4 (Jarak ke Pasar), K5 (Dukungan Pemerintah), dan K6 (Indeks Iklim Mikro). Sedangkan Kriteria Cost: K3 (Banjir).

3.4 Penentuan Bobot Kriteria (PIPRECIA)

- Penentuan bobot dengan menggunakan urutan prioritas dan s-values contoh yang sebelumnya telah dibahas. Urutan Prioritas: K1, K2, K3, K4, K5, K6.
- Pada algoritma PIPRECIA (Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment), faktor penyesuaian (s) merupakan angka yang mewakili penilaian pakar tentang seberapa jauh kriteria berikutnya kurang penting dibanding kriteria sebelumnya. Kriteria diurutkan menurut pentingnya (paling penting dulu). Saat pindah dari satu kriteria ke



kriteria berikutnya, pakar memberi faktor pengurangan (s). Rumus menghitung penyesuaian bobot berikutnya menggunakan persamaan (2), yang artinya mengurangi bobot relatif.

K1 → K2: sedikit kurang penting → $s_2 = 0,2$

K2 → K3: cukup jelas turun (banjir di bawah air/tanah) → $s_3 = 0.3$

K3 → K4: sedikit turun → $s_4 = 0.2$

K4 → K5: hampir sama → $s_5 = 0.1$

K5 → K6: hampir sama → $s_6 = 0.1$

sehingga ditetapkan $s_2=0.2$, $s_3=0.3$, $s_4=0.2$, $s_5=0.1$, dan $s_6=0.1$.

c. Hitung Koefisien Penyesuaian (λ), dengan menggunakan rumus persamaan (2):

$$\lambda_2 = \frac{1}{1+0.2} = 0.833$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{1+0.3} = 0.769$$

$$\lambda_4 = \frac{1}{1+0.2} = 0.833$$

$$\lambda_5 = \frac{1}{1+0.1} = 0.909$$

$$\lambda_6 = \frac{1}{1+0.2} = 0.909$$

d. Hitung Koefisien Relatif (K), menggunakan Rumus Persamaan (3):

$$K_1 = 1$$

$$K_2 = K_1 \cdot \lambda_2 = 1 \times 0.833 = 0.833$$

$$K_3 = K_2 \cdot \lambda_3 = 0.833 \times 0.769 = 0.641$$

$$K_4 = K_3 \cdot \lambda_4 = 0.641 \times 0.833 = 0.534$$

$$K_5 = K_4 \cdot \lambda_5 = 0.534 \times 0.909 = 0.485$$

$$K_6 = K_5 \cdot \lambda_6 = 0.485 \times 0.909 = 0.441$$

Jumlah K:

$$\sum K = 1 + 0.833 + 0.641 + 0.534 + 0.485 + 0.441 = 3.934$$

e. Hitung Bobot Akhir, menggunakan Rumus Persamaan (4):

$$w_1 = \frac{1}{3.934} = 0.254$$

$$w_2 = \frac{0.833}{3.934} = 0.212$$

$$w_3 = \frac{0.641}{3.934} = 0.163$$

$$w_4 = \frac{0.534}{3.934} = 0.136$$

$$w_5 = \frac{0.485}{3.934} = 0.123$$

$$w_6 = \frac{0.441}{3.934} = 0.112$$

Tabel 3. Tabel Bobot Kriteria

Kriteria	Bobot
K1	0.254
K2	0.212
K3	0.163
K4	0.136
K5	0.123
K6	0.112

Tabel 3 menunjukkan bobot atau tingkat kepentingan dari enam kriteria (K1 hingga K6) dalam pengambilan keputusan. Kriteria K1 memiliki bobot tertinggi (0.254), artinya dianggap paling penting dalam proses evaluasi, sedangkan K6 memiliki bobot terendah (0.112), sehingga berpengaruh paling kecil. Jumlah seluruh bobot adalah 1, menandakan bahwa semua kriteria telah dinormalisasi untuk digunakan dalam metode pengambilan keputusan berbasis pembobotan, seperti MCDM.



3.5 Analisis Alternatif (MACROS)

a. Normalisasi Nilai

Proses normalisasi dilakukan untuk menyetarakan skala nilai antar kriteria, agar dapat dibandingkan secara adil. Kriteria yang bersifat benefit dinormalisasi dengan membagi nilai setiap alternatif terhadap nilai maksimum dari masing-masing kriteria, sedangkan untuk kriteria yang bersifat cost, digunakan rasio kebalikan dari nilai minimum terhadap nilai alternatif tersebut. Rumus normalisasi dapat dilihat pada persamaan (5) untuk benefit, dan persamaan (6) untuk *cost*. Sebelum dilakukan perhitungan, perlu ditentukan terlebih dahulu tipe kriteria beserta nilai maksimum dan minimumnya. Informasi tersebut disajikan dalam Tabel 4 berikut:

Table 4. Tabel Bobot Kriteria

Kriteria	Tipe	Max	Min
K1	Benefit	9	-
K2	Benefit	9	-
K3	Cost	-	2
K4	Benefit	9	-
K5	Benefit	8	-
K6	Benefit	9	-

Setelah semua nilai kriteria di normalisasi, diperoleh hasil dalam rentang 0–1, di mana nilai 1 menunjukkan performa terbaik untuk kriteria tersebut. Hasil normalisasi lengkap untuk semua alternatif dapat dilihat pada Tabel 5.

Table 5. Tabel Normalisasi lengkap

Lokasi	K1	K2	K3 (Cost)	K4	K5	K6
A	8/9=0.889	9/9=1.000	2/3=0.667	7/9=0.778	6/8=0.750	8/9=0.889
B	7/9=0.778	8/9=0.889	2/5=0.400	6/9=0.667	7/8=0.875	7/9=0.778
C	9/9=1.000	7/9=0.778	2/4=0.500	8/9=0.889	5/8=0.625	8/9=0.889
D	6/9=0.667	6/9=0.667	2/6=0.333	5/9=0.556	6/8=0.750	6/9=0.667
E	8/9=0.889	8/9=0.889	2/3=0.667	7/9=0.778	8/8=1.000	9/9=1.000
F	7/9=0.778	7/9=0.778	2/5=0.400	6/9=0.667	5/8=0.625	7/9=0.778
G	9/9=1.000	9/9=1.000	2/2=1.000	9/9=1.000	7/8=0.875	9/9=1.000
H	6/9=0.667	7/9=0.778	2/4=0.500	5/9=0.556	6/8=0.750	7/9=0.778
I	8/9=0.889	8/9=0.889	2/3=0.667	8/9=0.889	7/8=0.875	8/9=0.889
J	7/9=0.778	6/9=0.667	2/5=0.400	7/9=0.778	6/8=0.750	6/9=0.667

Tabel 5 menyajikan hasil normalisasi dari sepuluh alternatif lokasi (A–J) berdasarkan enam kriteria (K1–K6). Normalisasi dilakukan agar semua nilai berada dalam skala yang sama, yaitu 0 hingga 1. Nilai 1 menunjukkan performa terbaik pada kriteria tersebut, sedangkan nilai mendekati 0 menunjukkan performa yang rendah. Kriteria K1, K2, K4, K5, dan K6 bertipe benefit, sehingga nilai tiap alternatif dibagi dengan nilai maksimum. Sedangkan K3 bertipe cost, sehingga dinormalisasi dengan rumus nilai minimum dibagi nilai alternatif. Hasil normalisasi ini menjadi dasar untuk perhitungan skor berbobot pada tahap selanjutnya dalam metode MACROS.

b. Menghitung Nilai Berbobot

Bobot kriteria ditentukan terlebih dahulu melalui metode PIPRECIA (Tabel 3), yang memperhitungkan urutan prioritas dan rasio pengurangan nilai antar kriteria. Setiap bobot kemudian disesuaikan agar jumlah totalnya sama dengan 1, sehingga representatif dalam perhitungan skor total. Rumus umum bobot akhir menggunakan persamaan (7). Menghitung Nilai Berbobot dengan mengalikan normalisasi $\times$ bobot per kriteria untuk setiap alternatif.

Lokasi A:

$$K1: 0.889 \times 0.254 = 0.226$$

$$K2: 1.000 \times 0.212 = 0.212$$

$$K3: 0.667 \times 0.163 = 0.109$$

$$K4: 0.778 \times 0.136 = 0.106$$

$$K5: 0.750 \times 0.123 = 0.092$$

$$K6: 0.889 \times 0.112 = 0.100$$

Begitu seterusnya untuk perhitungan Lokasi B hingga Lokasi J. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini:

Table 6. Tabel Nilai Berbobot

Lokasi	K1	K2	K3 (Cost)	K4	K5	K6
A	0.226	0.212	0.109	0.106	0.092	0.100
B	0.198	0.188	0.065	0.091	0.108	0.087
C	0.254	0.165	0.082	0.121	0.077	0.100
D	0.169	0.141	0.054	0.076	0.092	0.075
E	0.226	0.188	0.109	0.106	0.123	0.112



Lokasi	K1	K2	K3 (Cost)	K4	K5	K6
F	0.198	0.165	0.065	0.091	0.077	0.087
G	0.254	0.212	0.163	0.136	0.108	0.112
H	0.169	0.165	0.082	0.076	0.092	0.087
I	0.226	0.188	0.109	0.121	0.108	0.100
J	0.198	0.141	0.065	0.106	0.092	0.075

c. Menghitung Skor Kompromi Total

Skor kompromi total S_i untuk setiap alternatif dihitung dengan menjumlahkan hasil perkalian antara nilai normalisasi dan bobot kriteria (v_{ij}) untuk seluruh kriteria. Rumus perhitungannya menggunakan persamaan (8).

$$A = 0.226 + 0.212 + 0.109 + 0.106 + 0.092 + 0.100 = 0.845$$

Begitu seterusnya untuk Lokasi B hingga J. Hasil skor kompromi total untuk semua Alternatif dapat dilihat pada Tabel 7 berikut ini.

Table 7. Tabel Skor Kompromi Total Semua Alternatif

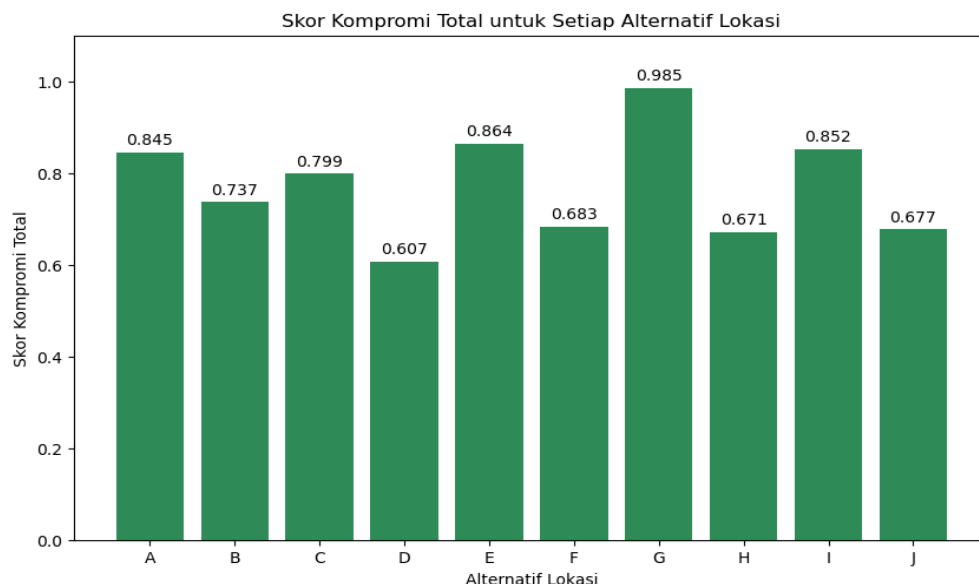
Kriteria	Bobot
A	0.845
B	0.737
C	0.799
D	0.607
E	0.864
F	0.683
G	0.985
H	0.671
I	0.852
J	0.677

d. Menentukan Ranking

Tahap terakhir dalam metode MACROS adalah menentukan ranking alternatif berdasarkan skor kompromi total yang telah dihitung. Pada penelitian ini, sepuluh alternatif lokasi dievaluasi menggunakan enam kriteria utama, menghasilkan skor kompromi total yang menggambarkan tingkat kelayakan masing-masing lokasi. Nilai skor kompromi total untuk setiap alternatif adalah sebagai berikut: lokasi G memperoleh nilai tertinggi yaitu 0.985, disusul lokasi E sebesar 0.864, lokasi I dengan 0.852, dan lokasi A sebesar 0.845. Sementara itu, lokasi D mencatat skor terendah yakni 0.607.

3.6 Rekomendasi Lokasi Terbaik

Tahap terakhir dalam metode MACROS adalah menentukan ranking alternatif yang direkomendasikan sebagai Lokasi terbaik berdasarkan skor kompromi total yang telah dihitung. Pada penelitian ini, sepuluh alternatif lokasi dievaluasi menggunakan enam kriteria utama, menghasilkan skor kompromi total yang menggambarkan tingkat kelayakan masing-masing lokasi. Pada Gambar 2 berikut ini, akan disajikan grafik perbandingan dari masing-masing alternatif lokasi yang digunakan.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Masing-Masing Alternatif Lokasi



Berdasarkan Gambar 2, Nilai skor kompromi total untuk setiap alternatif adalah sebagai berikut: lokasi G memperoleh nilai tertinggi yaitu 0.985, disusul lokasi E sebesar 0.864, lokasi I dengan 0.852, dan lokasi A sebesar 0.845. Sementara itu, lokasi D mencatat skor terendah yakni 0.607. Berdasarkan urutan nilai skor dari yang tertinggi hingga terendah, alternatif-alternatif kemudian diperingkatkan. Lokasi G menduduki peringkat 1 sebagai lokasi yang paling direkomendasikan untuk pengembangan pertanian berkelanjutan karena memiliki skor kompromi tertinggi yang menunjukkan kinerja terbaik pada seluruh kriteria yang dinilai. Lokasi E, I, dan A menempati peringkat 2 hingga 4 sebagai alternatif unggulan berikutnya. Sebaliknya, lokasi dengan skor lebih rendah seperti D, H, J, dan F menduduki peringkat terbawah, yang menandakan tingkat kesesuaian yang relatif lebih rendah untuk dikembangkan sebagai lahan pertanian berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang penentuan lokasi pertanian berkelanjutan menggunakan integrasi metode PIPRECIA dan MACROS, dapat disimpulkan bahwa proses pengambilan keputusan multi-kriteria yang sistematis mampu memberikan hasil yang lebih terukur dan obyektif dalam menentukan lokasi prioritas. Dengan mempertimbangkan enam kriteria utama yaitu ketersediaan air, kesesuaian tanah, risiko banjir, akses pasar, dukungan pemerintah, dan iklim mikro, penilaian pakar digunakan untuk menentukan urutan penting kriteria dan faktor pengurangan relatif antar kriteria melalui metode PIPRECIA, sehingga menghasilkan bobot yang proporsional dan mencerminkan preferensi pengambil keputusan. Bobot tersebut kemudian diaplikasikan dalam perhitungan MACROS melalui tahap normalisasi nilai, penghitungan nilai berbobot, penjumlahan skor kompromi total untuk setiap alternatif, dan pemeringkatan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa lokasi G memperoleh skor kompromi tertinggi sebesar 0.985, diikuti oleh lokasi E, I, dan A, yang menandakan bahwa lokasi G menjadi alternatif paling layak sebagai lokasi pertanian berkelanjutan di tengah tantangan perubahan iklim. Metodologi ini tidak hanya membantu memilih alternatif terbaik tetapi juga memberikan transparansi dalam pembobotan kriteria dan kontribusi masing-masing faktor terhadap hasil akhir. Penerapan metode ini diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih rasional, berbasis data, dan meminimalisir bias subjektif. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan pentingnya pendekatan kuantitatif dan partisipatif dalam perencanaan lokasi pertanian berkelanjutan, sehingga mampu memfasilitasi perumusan kebijakan pembangunan yang lebih adaptif dan responsif terhadap kondisi lingkungan dan kebutuhan masyarakat tani di era perubahan iklim.

REFERENCES

- [1] E. S. Akpabio, K. F. Akeju, and K. O. Omotoso, 'E-agriculture and food security in developing countries: beaming the searchlight on Nigeria', *Smart Agricultural Technology*, vol. 10, no. March, p. 100689, 2025, doi: 10.1016/j.atech.2024.100689.
- [2] N. S. Tandogan Aktepe and İ. E. Kayral, 'Unraveling the Major Determinants behind Price Changes in Four Selected Representative Agricultural Products †', *Agriculture (Switzerland)*, vol. 14, no. 5, p. 782, 2024, doi: 10.3390/agriculture14050782.
- [3] L. N. Yogi, T. Thalal, and S. Bhandari, 'The role of agriculture in Nepal's economic development: Challenges, opportunities, and pathways for modernization', *Heliyon*, vol. 11, no. 2, p. e41860, 2025, doi: 10.1016/j.heliyon.2025.e41860.
- [4] R. R. Abdulrahman *et al.*, 'The Role of Agriculture Sector in Eradicating Poverty: Challenges, Policies, and Pathways for Economic Growth in Less Developed Countries', *International Journal of Social Science and Education Research Studies*, vol. 5, no. 2, pp. 208–213, 2025, doi: 10.55677/ijssers/v05i02y2025-11.
- [5] A. Akbar, R. Darma, A. Irawan, Mahyuddin, F. Feryanto, and R. Akzar, 'COVID-19 pandemic and food security: Strategic agricultural budget allocation in Indonesia', *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 18, no. December, p. 101494, 2024, doi: 10.1016/j.jafr.2024.101494.
- [6] A. Saleem *et al.*, 'Securing a sustainable future: the climate change threat to agriculture, food security, and sustainable development goals', *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, no. July, pp. 1–17, 2024, doi: 10.1007/s43994-024-00177-3.
- [7] H. Onyeaka *et al.*, 'The ripple effects of climate change on agricultural sustainability and food security in Africa', *Food and Energy Security*, vol. 13, no. 5, pp. 1–15, 2024, doi: 10.1002/fes3.567.
- [8] S. Alemayehu, D. Olago, O. Alfred, T. T. Zeleke, and S. W. Dejene, 'Spatiotemporal analysis of rainfall and temperature variability and trends for a mixed crop-livestock production system: its implications for developing adaptation strategies', *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, vol. 17, no. 1, pp. 268–290, 2024, doi: 10.1108/ijccsm-08-2024-0133.
- [9] W. Cheng, Y. Li, W. Zuo, G. Du, and M. Stanny, 'Spatio-temporal detection of agricultural disaster vulnerability in the world and implications for developing climate-resilient agriculture', *Science of The Total Environment*, vol. 928, no. June, p. 172412, 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.172412.
- [10] M. H. Yao *et al.*, 'Agricultural Disaster Prevention System: Insights from Taiwan's Adaptation Strategies', *Atmosphere*, vol. 15, no. 5, p. 526, 2024, doi: 10.3390/atmos15050526.
- [11] F. Luo, C. Wang, S. Luo, Q. Tong, and L. Xu, 'Optimizing natural resource markets: Accelerating green growth in the economic recovery', *Resources Policy*, vol. 89, no. February, p. 104648, 2024, doi: 10.1016/j.resourpol.2024.104648.
- [12] Y. Xing and X. Wang, 'Precision Agriculture and Water Conservation Strategies for Sustainable Crop Production in Arid Regions', *Plants*, vol. 13, no. 22, p. 3184, 2024, doi: 10.3390/plants13223184.
- [13] G. Demir, P. Chatterjee, S. Kadry, A. Abdelhadi, and D. Pamučar, 'Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution (MACROS) Method: A Comprehensive Bibliometric Analysis', *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 313–336, 2024, doi: 10.31181/dmame7220241137.



- [14] B. Kizielewicz, J. Wątróbski, and W. Salabun, 'Multi-criteria decision support system for the evaluation of UAV intelligent agricultural sensors', *Artificial Intelligence Review*, vol. 58, no. 194, pp. 1–25, 2025, doi: 10.1007/s10462-025-11201-1.
- [15] I. Sabry, A.-H. I. Mourad, M. Alkhedher, M. Alkhedher, and A. El-Araby, 'A comparative study of multiple-criteria decision-making methods for selecting the best process parameters for friction stir welded Al 6061 alloy', *Welding International*, vol. 37, no. 11, pp. 626–642, 2023, doi: 10.1080/09507116.2023.2270896.
- [16] S. Popović *et al.*, 'Optimization of Artificial Intelligence Algorithm Selection: PIPRECIA-S Model and Multi-Criteria Analysis', *Electronics (Switzerland)*, vol. 14, no. 3, pp. 1–17, 2025, doi: 10.3390/electronics14030562.
- [17] Setiawansyah, S. H. Hadad, A. A. Aldino, P. Palupiningsih, G. F. Laxmi, and D. A. Megawaty, 'Employing PIPRECIA-S weighting with MABAC: a strategy for identifying organizational leadership elections', *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 13, no. 6, pp. 4273–4284, 2024, doi: 10.11591/eei.v13i6.7713.
- [18] S. Setiawansyah, S. Sintaro, V. H. Saputra, and A. A. Aldino, 'Combination of Grey Relational Analysis (GRA) and Simplified Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment (PIPRECIA-S) in Determining the Best Staff', *Bulletin of Informatics and Data Science*, vol. 2, no. 2, p. 57, 2024, doi: 10.61944/bids.v2i2.67.
- [19] A. Alnoor, Y. R. Muhsen, N. A. Husin, X. Chew, M. B. Zolkepli, and N. Manshor, 'Z-cloud Rough Fuzzy-Based PIPRECIA and CoCoSo Integration to Assess Agriculture Decision Support Tools', *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 27, no. June, pp. 190–203, 2025, doi: 10.1007/s40815-024-01771-7.
- [20] M. Waqas Arshad and Y. Rahmanto, 'Combination of TOPSIS Method and PIPRECIA Weighting for Best Hotel Selection', *International Journal of Informatics and Data Science*, vol. 1, no. 2, pp. 46–54, 2024, [Online]. Available: <https://journals.adaresearch.or.id/ijids/index>
- [21] A. Aggarwal, I. Sharma, V. Kukreja, T. Verma, and R. Aggarwal, 'Assessing and ranking the skills required for IT personnel: a hybrid decision-making model using fuzzy AHP-TOPSIS', *Global Knowledge, Memory and Communication*, no. March, 2025, doi: 10.1108/GKMC-05-2024-0253.
- [22] M. E. Brown, A. J. P. Carcedo, M. Eggen, K. L. Grace, J. Neff, and I. A. Ciampitti, 'Integrated modeling framework for sustainable agricultural intensification', *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 6, no. 1, p. 1039962, 2023, doi: 10.3389/fsufs.2022.1039962.
- [23] S. Sridevy, M. N. Devi, and M. Sankar, 'Decision support systems in agricultural industry perspective', *International Journal of Statistics and Applied Mathematics*, vol. 8, no. 2S, pp. 29–31, 2023, doi: 10.22271/math.2023.v8.i2sa.984.
- [24] M. J. Barons, L. E. Walsh, E. E. Salakpi, and L. Nichols, 'A Decision Support System for Sustainable Agriculture and Food Loss Reduction under Uncertain Agricultural Policy Frameworks', *Agriculture (Switzerland)*, vol. 14, no. 3, p. 458, 2024, doi: 10.3390/agriculture14030458.
- [25] M. Gardezi, D. T. Adereti, R. Stock, and A. Ogunyiola, 'In pursuit of responsible innovation for precision agriculture technologies', *Journal of Responsible Innovation*, vol. 9, no. 2, pp. 224–247, 2022, doi: 10.1080/23299460.2022.2071668.
- [26] D. Pasha, M. Safi, and S. Setiawansyah, 'Penerapan Multi-Atributif Ideal-Real Comparative Analysis dan PIPRECIA Dalam Evaluasi Kinerja Pemasok Bahan Baku', *KLIK: Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer*, vol. 4, no. 4, pp. 2005–2017, 2024, doi: 10.30865/klik.v4i4.1652.
- [27] S. Chakraborty, P. Chatterjee, and P. P. Das, *Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution (MARCOS) Method*, 1st Editio. Taylor & Francis, 2023.