

Teknologi Digital Berbasis Pembelajaran Mesin Sederhana untuk Mendukung Pengambilan Keputusan Produksi Makanan yang Aman dan Efisien dalam Praktik Boga

Ifnalia Rahayu¹, Wiki Lofandri², Fauza Afni³
Ilmu Kesejahteraan Keluarga¹, Vokasi², Pariwisata³
Universitas Negeri Padang¹²³

Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, dengan kode pos 25132, Kota Padang, Indonesia
Email : ifnalia@unp.ac.id¹, wiloleaks@unp.ac.id², fauzaafni@fpp.unp.ac.id³

Received: 27 Februari 2026 | Revised: 26 Agustus 2026

Accepted: 28 Agustus 2026 | Published: 28 Agustus 2026

Abstrak

Perkembangan teknologi digital telah mendorong transformasi dalam praktik produksi makanan, termasuk pada bidang boga. Tantangan utama dalam praktik boga adalah menjaga konsistensi kualitas, efisiensi proses, dan keamanan pangan, terutama pada skala pendidikan vokasi dan unit produksi kecil. Penelitian ini bertujuan mengkaji pemanfaatan teknologi digital yang dipadukan dengan pembelajaran mesin ringan sebagai alat bantu pengambilan keputusan produksi makanan. Metode pembelajaran mesin yang digunakan adalah decision tree karena sifatnya yang sederhana dan mudah diinterpretasikan. Data dikumpulkan dari proses produksi makanan yang mencakup parameter waktu pemasakan, suhu, dan hasil kualitas produk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi digital yang didukung pembelajaran mesin ringan mampu membantu praktisi boga dalam mengidentifikasi pola proses produksi serta memberikan rekomendasi keputusan yang lebih sistematis. Penelitian ini menegaskan bahwa integrasi teknologi digital dan pembelajaran mesin ringan berpotensi meningkatkan keamanan dan efisiensi produksi makanan tanpa menghilangkan peran keahlian manusia.

Kata kunci: teknologi digital, pembelajaran mesin ringan, decision tree

Abstract

The development of digital technology has driven a transformation in food production practices, including in the culinary sector. The main challenge in culinary practices is maintaining consistent quality, process efficiency, and food safety, especially at the vocational education scale and small production units. This study aims to examine the use of digital technology combined

with lightweight machine learning as a decision-making tool in food production. The machine learning method used is a decision tree due to its simplicity and ease of interpretation. Data was collected from the food production process, including parameters such as cooking time, temperature, and product quality. The results show that the use of digital technology supported by lightweight machine learning can assist culinary practitioners in identifying production process patterns and providing more systematic decision recommendations. This study confirms that the integration of digital technology and lightweight machine learning has the potential to improve the safety and efficiency of food production without eliminating the role of human expertise.

Keywords: digital technology, lightweight machine learning, decision tree

I. PENDAHULUAN

Transformasi digital merupakan fenomena yang semakin memengaruhi berbagai sektor, termasuk industri pangan dan praktik boga. Tuntutan terhadap keamanan pangan, efisiensi produksi, dan konsistensi kualitas mendorong perlunya pendekatan baru yang berbasis data dan teknologi. Dalam praktik boga, proses produksi makanan masih sering bergantung pada pengalaman dan intuisi, sehingga berpotensi menimbulkan variasi kualitas dan risiko kesalahan proses.

Penelitian terkini menunjukkan bahwa teknologi digital, seperti pencatatan digital, sensor, dan sistem analitik data, berperan penting dalam

meningkatkan transparansi dan pengendalian proses produksi pangan [1][2]. Selain itu, perkembangan pembelajaran mesin membuka peluang pemanfaatan data produksi untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih objektif dan sistematis.

Standar keamanan pangan internasional, seperti ISO 22000, menegaskan pentingnya sistem manajemen yang terdokumentasi dan terukur pada setiap tahap rantai produksi pangan [3][4]. Kepatuhan terhadap standar mutu dan keamanan tersebut menjadi semakin kompleks ketika volume data produksi meningkat, sehingga diperlukan alat bantu yang dapat membaca pola data secara cepat dan konsisten[5]. Di sisi lain, laporan organisasi pangan dunia menunjukkan bahwa adopsi teknologi digital pada sektor pangan masih belum merata, khususnya pada unit produksi berskala kecil dan menengah[6].

Perkembangan Industry 4.0 turut mendorong transformasi digital di sektor pangan melalui otomatisasi, konektivitas data, dan analitik cerdas[6]. Pemanfaatan teknologi tersebut tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga membuka peluang bagi pelaku usaha skala kecil untuk mengadopsi praktik berbasis data secara bertahap[7].

Namun demikian, penggunaan pembelajaran mesin dalam konteks praktik boga perlu disesuaikan dengan karakteristik pengguna dan lingkungan. Model pembelajaran mesin yang kompleks sering kali sulit diimplementasikan dan dipahami oleh praktisi non-teknis. Oleh karena itu, pendekatan pembelajaran mesin ringan yang mudah dijelaskan menjadi alternatif yang lebih relevan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengkaji pemanfaatan teknologi digital yang dipadukan dengan pembelajaran mesin ringan dalam praktik boga untuk mendukung pengambilan keputusan produksi makanan yang aman dan efisien. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi praktisi boga maupun institusi pendidikan vokasi dalam menerapkan pendekatan berbasis data pada skala produksi kecil.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Teknologi Digital dalam Produksi Pangan dan Praktik Boga

Teknologi digital telah menjadi komponen penting dalam sistem produksi pangan modern. Digitalisasi memungkinkan pencatatan dan pemantauan proses

produksi secara sistematis, sehingga meningkatkan efisiensi dan konsistensi kualitas produk[8]. Dalam konteks pangan, teknologi digital juga mendukung traceability dan transparansi rantai pasok, yang berkontribusi pada peningkatan keamanan pangan[9]. Kemampuan penelusuran ini penting agar setiap tahap produksi, mulai dari bahan baku hingga produk akhir, dapat dipantau dan diverifikasi kesesuaiannya dengan standar mutu[10].

Pada praktik boga, penerapan teknologi digital masih berkembang, khususnya di lingkungan pendidikan dan produksi skala kecil. Studi menunjukkan bahwa penggunaan sistem pencatatan digital dan pemantauan proses membantu praktisi dalam mengontrol parameter kritis produksi, seperti suhu dan waktu pemasakan [11]. Digitalisasi praktik boga dengan demikian dapat dipandang sebagai langkah awal menuju sistem produksi makanan berbasis data.

Adopsi teknologi digital pada rantai pasok pangan juga sejalan dengan tren transformasi Industry 4.0 yang lebih luas, yang mencakup integrasi sensor, big data, dan sistem analitik pada berbagai tahap produksi[12]. Kerangka kerja Agri-food 4.0 menegaskan bahwa integrasi tersebut perlu mempertimbangkan kesiapan sumber daya manusia dan infrastruktur, agar teknologi benar-benar dapat dimanfaatkan secara optimal pada skala produksi kecil[13].

B. Pengambilan Keputusan dalam Produksi Makanan

Sistem pendukung keputusan (decision support system) telah lama digunakan untuk membantu pengambil keputusan mengolah data menjadi rekomendasi tindakan yang lebih terstruktur[14]. Dalam konteks bisnis dan intelijen analitik, sistem semacam ini memungkinkan integrasi data dari berbagai sumber untuk mendukung keputusan operasional maupun strategis[15].

Transparansi merupakan aspek penting dalam sistem pengambilan keputusan berbasis machine learning, terutama ketika sistem tersebut digunakan pada konteks yang berdampak langsung terhadap individu atau masyarakat. Kurangnya transparansi dapat menyulitkan pengguna dalam memahami dasar keputusan yang dihasilkan, serta menghambat proses evaluasi dan pengawasan terhadap sistem[16][17].

Selain transparansi, fairness atau keadilan menjadi isu krusial dalam pemanfaatan machine learning. Bias dalam model dapat muncul akibat

ketidakseimbangan data, representasi fitur yang tidak memadai, maupun proses pembelajaran model itu sendiri. Literatur terkini menunjukkan bahwa bias algoritmik dapat berdampak signifikan terhadap kelompok tertentu jika tidak dievaluasi secara memadai[18]. Oleh karena itu, upaya untuk meningkatkan transparansi dan fairness perlu menjadi perhatian utama dalam pengembangan sistem pengambilan keputusan berbasis machine learning, termasuk pada sistem pendukung keputusan produksi pangan [16].

C. Pembelajaran Mesin Ringan dalam Sistem Pendukung Keputusan

Pembelajaran mesin merupakan metode analitik data yang digunakan untuk mengidentifikasi pola dan hubungan antarvariabel. Dalam konteks penelitian terapan, pembelajaran mesin ringan lebih sesuai karena mudah diimplementasikan dan diinterpretasikan[19]. Salah satu metode yang umum digunakan adalah decision tree, yang merepresentasikan proses pengambilan keputusan dalam struktur yang mudah dipahami[20]. Secara prinsip, decision tree bekerja dengan membagi ruang data secara rekursif berdasarkan atribut yang paling informatif, sehingga menghasilkan aturan keputusan berbentuk if-then yang intuitif bagi pengguna non-teknis[20].

Dalam bidang pangan, pembelajaran mesin ringan telah digunakan untuk mendukung evaluasi kualitas dan prediksi hasil produksi[21]. Pendekatan ini sejalan dengan konsep human-in-the-loop, di mana teknologi berfungsi sebagai alat bantu, sementara keputusan akhir tetap berada pada manusia.

Selain decision tree, teknik penambangan data (data mining) secara umum juga banyak diterapkan untuk mengekstraksi pola tersembunyi dari data produksi berskala besar[22]. Meskipun demikian, kompleksitas model yang lebih tinggi tidak selalu diperlukan pada konteks praktik boga, sehingga pendekatan yang sederhana namun mudah diinterpretasikan menjadi pilihan yang lebih tepat, khususnya bagi praktisi yang tidak memiliki latar belakang teknis[17].

D. Standar Keamanan Pangan dan Sistem Cerdas dalam Rantai Produksi

Penerapan sistem cerdas pada rantai produksi pangan tidak dapat dilepaskan dari kepatuhan terhadap standar keamanan dan mutu, seperti kerangka ISO 22000 maupun standar mutu dan keamanan lain pada industri pangan. Sistem berbasis Industry 4.0 yang diterapkan pada proses

pengolahan pangan dilaporkan mampu meningkatkan konsistensi mutu produk sekaligus mempercepat identifikasi penyimpangan proses[23].

Studi inovasi pada industri pangan menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital dan analitik data menjadi salah satu pendorong utama daya saing perusahaan pangan, baik pada skala besar maupun skala kecil dan menengah[24]. Sistem cerdas berbasis data historis produksi juga terbukti membantu optimalisasi proses, misalnya dalam menentukan parameter proses yang paling berpengaruh terhadap hasil akhir produk. Pendekatan berbasis data semacam ini konsisten dengan temuan bahwa pengambilan keputusan yang didukung analitik cenderung lebih objektif dibandingkan pengambilan keputusan yang semata-mata mengandalkan pengalaman[25].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain penelitian terapan. Objek penelitian adalah proses produksi makanan pada praktik boga yang melibatkan parameter proses utama, yaitu suhu pemasakan, waktu pemasakan, dan hasil kualitas produk. Data dikumpulkan melalui pencatatan digital selama proses produksi berlangsung.

Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, praproses data, analisis menggunakan pembelajaran mesin ringan, dan interpretasi hasil untuk mendukung pengambilan keputusan produksi makanan. Metode pembelajaran mesin yang digunakan adalah decision tree karena kemampuannya menghasilkan aturan keputusan yang mudah dipahami oleh praktisi non-teknis.



Gambar 1. Alur Penelitian Pemanfaatan Teknologi Digital dan Pembelajaran Mesin Ringan

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian yang dimulai dari pengumpulan data produksi makanan berbasis teknologi digital, dilanjutkan dengan praproses data, analisis menggunakan metode decision tree, dan pemanfaatan hasil analisis sebagai dasar pengambilan keputusan produksi makanan.

E. Instrumen dan Prosedur Pengumpulan Data

Data produksi dikumpulkan menggunakan lembar pencatatan digital yang diisi oleh praktisi boga pada setiap siklus produksi. Parameter yang dicatat meliputi suhu pemasakan, waktu pemasakan, jenis produk, dan hasil kualitas produk akhir yang dinilai berdasarkan kriteria sensori sederhana (baik, cukup, dan kurang). Pencatatan dilakukan secara konsisten pada setiap sesi produksi untuk memastikan data yang terkumpul dapat merepresentasikan variasi kondisi proses yang sebenarnya terjadi di lapangan.

Sebelum dianalisis, data mentah melalui tahap praproses yang meliputi pemeriksaan data yang hilang atau tidak konsisten, standarisasi satuan pengukuran, serta pengategorian variabel hasil kualitas produk. Tahap ini penting untuk memastikan bahwa data yang digunakan dalam proses pemodelan bersih dan siap dianalisis menggunakan algoritma decision tree.

F. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan algoritma decision tree dengan variabel suhu pemasakan dan waktu pemasakan sebagai atribut prediktor, serta hasil kualitas produk sebagai variabel target. Pemilihan atribut pemisah pada setiap simpul pohon keputusan didasarkan pada ukuran impuritas data, sehingga menghasilkan struktur pohon yang merepresentasikan aturan keputusan secara hierarkis dan mudah ditelusuri.

Hasil pohon keputusan selanjutnya diinterpretasikan untuk menghasilkan aturan keputusan dalam bentuk pernyataan kondisional (jika-maka) yang dapat langsung digunakan oleh praktisi boga sebagai panduan operasional. Interpretasi dilakukan secara kualitatif dengan mempertimbangkan relevansi aturan terhadap praktik produksi sehari-hari, sehingga hasil analisis tidak hanya bersifat teknis tetapi juga aplikatif.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

G. Karakteristik Data Produksi

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa parameter utama yang dicatat secara digital selama proses produksi makanan.

TABEL 1. PARAMETER DATA PRODUKSI MAKANAN

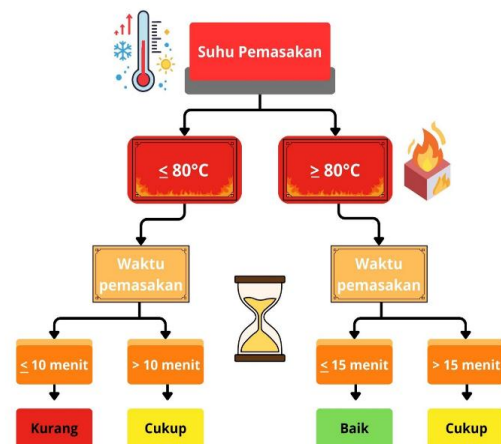
No	Parameter	Satuan	Keterangan
----	-----------	--------	------------

1	Suhu pemasakan	°C	Suhu selama proses pemasakan
2	Waktu pemasakan	Menit	Durasi pemasakan
3	Jenis produk	Kategori	Jenis menu/produk boga
4	Hasil kualitas	Kategori	Baik / Cukup / Kurang

Tabel 1 menunjukkan bahwa data produksi yang digunakan bersifat sederhana dan relevan dengan praktik boga, sehingga sesuai untuk dianalisis menggunakan pembelajaran mesin ringan. Kesederhanaan struktur data ini juga menjadi salah satu alasan utama pemilihan decision tree sebagai metode analisis, karena algoritma tersebut tidak memerlukan volume data yang besar untuk menghasilkan aturan keputusan yang bermakna.

H. Hasil Analisis Decision Tree

Analisis menggunakan metode decision tree menghasilkan aturan keputusan yang menggambarkan hubungan antara parameter proses dan kualitas produk makanan.



Gambar 2. Struktur Pohon Keputusan (Decision Tree) Produksi Makanan

Gambar 2 menunjukkan struktur pohon keputusan yang menghubungkan parameter suhu dan waktu pemasakan dengan kategori kualitas produk. Setiap percabangan merepresentasikan aturan keputusan yang dapat digunakan sebagai panduan dalam proses produksi. Struktur pohon yang relatif dangkal (shallow tree) pada penelitian ini sengaja dipertahankan agar aturan yang dihasilkan tetap mudah dibaca dan diterapkan langsung oleh praktisi boga tanpa memerlukan keahlian analisis data yang mendalam.

I. Contoh Aturan Keputusan

Berdasarkan hasil analisis decision tree, diperoleh beberapa aturan keputusan sebagai berikut.

TABEL 2. CONTOH ATURAN KEPUTUSAN PRODUKSI MAKANAN

No	Aturan Keputusan
1	Jika suhu 80–90 °C dan waktu 10–15 menit, maka kualitas produk Baik
2	Jika suhu <80 °C dan waktu <10 menit, maka kualitas produk Kurang
3	Jika suhu >90 °C dan waktu >15 menit, maka kualitas produk Cukup

Tabel 2 menunjukkan bahwa metode decision tree mampu menghasilkan aturan keputusan yang mudah dipahami dan dapat digunakan langsung oleh praktisi boga sebagai panduan produksi. Aturan-aturan tersebut memberikan rentang parameter proses yang jelas, sehingga dapat dijadikan acuan standar operasional dalam menjaga konsistensi kualitas produk pada setiap sesi produksi.

J. Implikasi Praktis bagi Praktik Boga

Hasil penelitian ini memiliki sejumlah implikasi praktis bagi pelaku praktik boga, terutama pada lingkungan pendidikan vokasi dan unit produksi kecil. Aturan keputusan yang dihasilkan dapat diintegrasikan ke dalam prosedur operasional standar (SOP) sebagai acuan cepat bagi praktisi dalam menentukan parameter proses yang tepat, tanpa harus bergantung sepenuhnya pada intuisi atau pengalaman individu.

Selain itu, pendekatan berbasis pembelajaran mesin ringan yang digunakan dalam penelitian ini memungkinkan replikasi pada konteks produksi lain dengan parameter yang berbeda, selama data pencatatan digital tersedia secara konsisten. Hal ini membuka peluang bagi institusi pendidikan vokasi untuk mengembangkan sistem pendukung keputusan sederhana sebagai bagian dari kurikulum pelatihan berbasis teknologi.

K. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, jumlah parameter yang digunakan masih terbatas pada suhu dan waktu pemasakan, sehingga belum mencakup faktor lain yang berpotensi memengaruhi kualitas produk, seperti kelembapan bahan baku atau teknik pengolahan. Kedua, data yang digunakan berasal dari lingkup produksi yang relatif kecil, sehingga

generalisasi aturan keputusan pada skala produksi yang lebih besar perlu diuji lebih lanjut.

L. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi digital memungkinkan pencatatan data produksi yang lebih konsisten dan terstruktur. Integrasi pembelajaran mesin ringan berfungsi sebagai alat bantu analisis untuk mengidentifikasi pola hubungan antara parameter proses dan kualitas produk makanan.

Pendekatan ini sejalan dengan konsep human-in-the-loop, di mana teknologi mendukung pengambilan keputusan tanpa menggantikan peran keahlian manusia. Hasil penelitian ini memperkuat temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa pembelajaran mesin terapan lebih efektif ketika digunakan sebagai sistem pendukung keputusan dalam konteks produksi pangan[26].

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital dan pembelajaran mesin ringan dapat mendukung pengambilan keputusan produksi makanan yang aman dan efisien dalam praktik boga. Penggunaan metode decision tree memungkinkan analisis data yang transparan dan mudah dipahami oleh praktisi non-teknis. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan pendekatan terapan dalam praktik boga berbasis teknologi digital, serta membuka peluang penelitian lanjutan dengan data dan konteks yang lebih luas.

REFERENSI

- [1] N. Adamashvili, G. Ganci, F. Colantuono, G. P. Agnusdei, and A. Galati, "How digital solutions are transforming food traceability: a systematic literature review of managerial perspectives, advantages and challenges," *Br. Food J.*, vol. 128, no. 6, pp. 2187–2213, Dec. 2025, doi: 10.1108/BFJ-08-2025-1013.
- [2] M. Braggio, T. Y. Melesse, S. Arena, P. F. Orrù, and F. Briatore, "Sensor technologies in the food industry under industry 4.0: A systematic review," *Food Control*, vol. 187, no. January, p. 112183, 2026, doi: 10.1016/j.foodcont.2026.112183.
- [3] A. Panghal, N. Chhikara, N. Sindhu, and S. Jaglan, "Role of Food Safety Management Systems in safe food production: A review," *J. Food Saf.*, vol. 38, no. 4, p. e12464, Aug. 2018, doi: <https://doi.org/10.1111/jfs.12464>.
- [4] T. T. B. Nguyen and D. Li, "A systematic literature review of food safety management system implementation in global supply chains," *Br. Food J.*, vol. 124, no. 10, pp. 3014–3031, 2021, doi: <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2021-0476>.
- [5] A. Siddique, A. Gupta, J. T. Sawyer, T.-S. Huang,

- and A. Morey, "Big data analytics in food industry: a state-of-the-art literature review," *npj Sci. Food*, vol. 9, no. 1, p. 36, 2025, doi: 10.1038/s41538-025-00394-y.
- [6] *Promoting the digitalization of small and medium-sized agrifood enterprises in Asia and the Pacific*. 2023. doi: 10.4060/cc8826en.
- [7] M. del M. Benavides-Espinosa, D. Ribeiro-Soriano, and C. Gieure, "How can agrifood businesses improve their performance? The role of digital transformation," *Br. Food J.*, vol. 126, no. 4, pp. 1682–1697, 2024, doi: <https://doi.org/10.1108/BFJ-06-2022-0541>.
- [8] B. Bisht *et al.*, "Industry 4.0 digital transformation: Shaping the future of food quality," *Food Control*, vol. 170, p. 111030, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.111030>.
- [9] M. Gottschald, "Advancing food safety through digital traceability, interoperability, harmonized data and collaborative partnerships," *J. Consum. Prot. Food Saf.*, vol. 19, no. 3, pp. 257–258, 2024, doi: 10.1007/s00003-024-01522-8.
- [10] Q. Yu, M. Zhang, and A. S. Mujumdar, "Blockchain-based fresh food quality traceability and dynamic monitoring: Research progress and application perspectives," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 224, p. 109191, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109191>.
- [11] M. S. Hadi, B. S. R. Sugiono, M. A. Mizar, A. Witjoro, and M. Irvan, "Enhancing low-temperature long-time milk pasteurization process with a C4.5 algorithm-driven AIoT system for real-time decision-making," *J. Food Process Eng.*, vol. 47, no. 4, p. e14606, 2024, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpe.14606>.
- [12] A. Hassoun, I. Dankar, Z. Bhat, and Y. Bouzembrak, "Unveiling the relationship between food unit operations and food industry 4.0: A short review," *Heliyon*, vol. 10, no. 20, p. e39388, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e39388.
- [13] E. Beducci, F. Acerbi, T. Y. Melesse, A. De Carolis, and P. F. Orrù, "Assessing industry 4.0 readiness and maturity in the dairy sector: a case study in Sardinia," *Oper. Manag. Res.*, vol. 19, no. 1, p. 16, 2026, doi: 10.1007/s12063-026-00583-2.
- [14] S. Elkady, J. Hernantes, and L. Labaka, "Decision-making for community resilience: A review of decision support systems and their applications," *Heliyon*, vol. 10, no. 12, p. e33116, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33116>.
- [15] S. Kurpiela and F. Teuteberg, "Linking business analytics affordances to corporate strategic planning and decision making outcomes," *Inf. Syst. E-bus. Manag.*, vol. 22, no. 1, pp. 33–60, 2024, doi: 10.1007/s10257-023-00661-z.
- [16] B. C. Cheong, "Transparency and accountability in AI systems: safeguarding wellbeing in the age of algorithmic decision-making," *Front. Hum. Dyn.*, vol. Volume 6-2024, 2024, [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/journals/human-dynamics/articles/10.3389/fhumd.2024.1421273>
- [17] W. Saeed and C. Omlin, "Explainable AI (XAI): A systematic meta-survey of current challenges and future opportunities," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 263, p. 110273, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2023.110273>.
- [18] M. Colacci *et al.*, "Sociodemographic bias in clinical machine learning models: a scoping review of algorithmic bias instances and mechanisms," *J. Clin. Epidemiol.*, vol. 178, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.jclinepi.2024.111606.
- [19] Z. Ersozlu, S. Taheri, and I. Koch, "A review of machine learning methods used for educational data," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 29, no. 16, pp. 22125–22145, 2024, doi: 10.1007/s10639-024-12704-0.
- [20] H. Blockeel, L. Devos, B. Frénay, G. Nanfack, and S. Nijssen, "Decision trees: from efficient prediction to responsible AI," *Front. Artif. Intell.*, vol. Volume 6-2023, 2023, [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/journals/artificial-intelligence/articles/10.3389/frai.2023.1124553>
- [21] S. Puttero, E. Verna, G. Genta, and M. Galetto, "Improved quality control and sustainability in food production by machine learning," *Procedia CIRP*, vol. 122, pp. 533–538, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.078>.
- [22] A. de Araújo Gomes, S. M. Azcarate, I. Špánik, L. Khvalbota, and H. C. Goicoechea, "Pattern recognition techniques in food quality and authenticity: A guide on how to process multivariate data in food analysis," *TrAC Trends Anal. Chem.*, vol. 164, p. 117105, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117105>.
- [23] A. S. Semercioz-Oduncuoglu and P. A. Luning, "Industry 4.0 technologies in quality and safety control systems in food manufacturing: A systematic techno-managerial analysis on benefits and barriers," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 163, p. 105144, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105144>.
- [24] M. V. Ciasullo, M. Ferrara, and W. M. Lim, "Dynamic capabilities and data-driven culture for digital transformation: evidence from agri-food SMEs," *Br. Food J.*, vol. 128, no. 8, pp. 3377–3393, 2026, doi: <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2025-0119>.
- [25] Á. Szukits and P. Móricz, "Towards data-driven decision making: the role of analytical culture and centralization efforts," *Rev. Manag. Sci.*, vol. 18, no. 10, pp. 2849–2887, 2024, doi: 10.1007/s11846-023-00694-1.
- [26] C. Jin *et al.*, "Human-model interaction-based decision support system for optimizing food safety assessment," *Food Res. Int.*, vol. 208, p. 116156, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116156>.