



Ketahanan Pangan dan Keberlanjutan Peternakan di Era Modern

(Food and Livestock Sustainability in the Modern Era)

Arif Rahman Azis^{1*}, Muhammad Subhan Hamka², Woki Bilyaro¹, Muhammad Dani¹

¹Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Jalan Raya WR Supratman, Kandang Limun, Kota Bengkulu,

²Akademi Komunitas Negeri Rejang Lebong

* Penulis Korespondensi (arifrahmanaziz@unib.ac.id)

Dikirim (*received*): 15 Oktober 2024; dinyatakan diterima (*accepted*): 13 November 2024; terbit (*published*): 30 November 2024. Artikel ini dipublikasi secara daring pada https://ejournal.unib.ac.id/index.php/buletin_pt/index

ABSTRACT

The article delves into the intricate relationship between food security and livestock sustainability in today's world. With the global population on the rise and evolving consumption patterns, the livestock sector is tasked with the dual challenge of meeting the growing demand for animal protein while minimizing environmental impacts. By conducting a thorough review of literature and analyzing recent case studies, this research investigates the crucial role of livestock farming in global food security and the sustainability hurdles it confronts. Key findings indicate that technological advancements like precision livestock farming, integrated food system approaches, and circular economy concepts hold promise as solutions to enhance production efficiency and decrease environmental impacts. Additionally, the article underscores the significance of effective policies, good governance, and shifts in consumer consumption patterns in propelling the transition towards more sustainable livestock systems. In conclusion, achieving a balance between food security and livestock sustainability necessitates a comprehensive approach that integrates technological innovation, appropriate policies, and collaborative efforts across sectors. This research offers valuable insights for policymakers, industry professionals, and researchers as they work towards establishing a sustainable, fair, and resilient food system in the modern era.

Key words: Food Security, Livestock Sustainability, Livestock Technology Innovation

ABSTRAK

Artikel ini mengkaji interaksi kompleks antara ketahanan pangan dan keberlanjutan peternakan di era modern. Seiring dengan pertumbuhan populasi global dan perubahan pola konsumsi, sektor peternakan menghadapi tantangan ganda: memenuhi permintaan protein hewani yang meningkat dan meminimalkan dampak lingkungan. Melalui tinjauan literatur komprehensif dan analisis studi kasus terkini, penelitian ini mengeksplorasi peran vital peternakan dalam ketahanan pangan global, serta tantangan keberlanjutan yang dihadapinya. Temuan utama menunjukkan bahwa inovasi teknologi seperti precision livestock farming, pendekatan sistem pangan terintegrasi, dan konsep ekonomi sirkular menawarkan solusi potensial untuk meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi dampak lingkungan. Artikel ini juga menyoroti pentingnya kebijakan yang efektif, tata kelola yang baik, dan perubahan pola konsumsi masyarakat dalam mendorong transformasi menuju sistem peternakan yang lebih berkelanjutan. Kesimpulannya, menyeimbangkan ketahanan pangan dan keberlanjutan peternakan memerlukan pendekatan holistik yang memadukan inovasi teknologi, kebijakan yang tepat, dan kolaborasi lintas sektor. Penelitian ini memberikan wawasan berharga bagi pembuat kebijakan, praktisi industri, dan peneliti dalam upaya mewujudkan sistem pangan yang berkelanjutan, adil, dan tangguh di era modern.

Kata kunci: Ketahanan Pangan, Keberlanjutan Peternakan, Inovasi Teknologi Peternakan.

PENDAHULUAN

Ketahanan pangan dan keberlanjutan sektor peternakan menjadi isu krusial yang menarik perhatian para pemangku kepentingan di seluruh dunia pada era global yang semakin kompleks. Seiring dengan pertumbuhan populasi yang pesat, perubahan pola konsumsi, dan tantangan lingkungan yang semakin mendesak, sektor peternakan dihadapkan pada tuntutan untuk tidak hanya memenuhi kebutuhan pangan, tetapi juga menjaga keberlanjutan ekosistem (Sari *et al.*, 2024). Era modern membawa serta peluang dan tantangan yang memerlukan pendekatan 188angguh188 dalam mengelola 188anggu pangan, khususnya di ranah peternakan.

Ketahanan pangan, sebagaimana didefinisikan oleh Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa-Bangsa (FAO), mencakup aspek ketersediaan, akses, pemanfaatan, dan stabilitas pangan. Peternakan memainkan peran vital sebagai sumber protein hewani yang esensial bagi nutrisi manusia (Adesogan *et al.*, 2020). Namun, sektor ini juga berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca dan degradasi lingkungan, menimbulkan tanggung antara pemenuhan kebutuhan pangan dan pelestarian ekosistem (Mustikaningrum *et al.*, 2021).

Keberlanjutan dalam peternakan modern tidak hanya terbatas pada aspek lingkungan, tetapi juga mencakup dimensi sosial dan ekonomi. Hal ini melibatkan upaya untuk meningkatkan efisiensi produksi, meminimalkan dampak ekologis, memastikan kesejahteraan hewan, dan mempertahankan mata pencaharian masyarakat pedesaan (Devendra & Chantalakhana, 2002). Integrasi teknologi canggih, seperti *precision livestock farming* dan *big data analytics*, membuka peluang baru untuk optimalisasi manajemen peternakan dan peningkatan produktivitas (Symeonaki *et al.*, 2022).

Artikel review ini bertujuan untuk mengeksplorasi interaksi kompleks antara ketahanan pangan dan keberlanjutan

peternakan di era modern. Dengan menggali literatur terkini dan menganalisis studi kasus dari berbagai belahan dunia, tulisan ini akan menyoroti strategi inovatif dan kebijakan yang diperlukan untuk menyeimbangkan tuntutan produksi pangan dengan keberlanjutan. Lebih lanjut, review ini akan membahas peran krusial dari kolaborasi multidisipliner dan pendekatan pangan yang terintegrasi dalam menghadapi tantangan global ini.

PERAN PETERNAKAN DALAM KETAHANAN PANGAN GLOBAL

Peternakan memainkan peran krusial dalam menjamin ketahanan pangan global. Sektor ini tidak hanya menyediakan sumber protein hewani yang penting, tetapi juga berkontribusi pada diversifikasi diet dan peningkatan status gizi masyarakat (Smith *et al.*, 2013). Namun, pertumbuhan populasi yang pesat dan perubahan pola konsumsi global menimbulkan tantangan baru bagi sektor peternakan untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat (Khade *et al.*, 2021).

Studi terbaru oleh Mountzouris (2021) menunjukkan bahwa produk peternakan menyumbang proporsi signifikan dari kalori dan protein yang dikonsumsi manusia secara global. Huis & Gasco (2023) Produk peternakan menyumbang sekitar 18% dari total kalori dan 25% dari total protein yang dikonsumsi manusia secara global. Riaz (2023) Di negara berkembang, produk peternakan menyumbang 17% dari energi dan 33% dari protein yang dikonsumsi. Meskipun demikian, distribusi konsumsi produk hewani tidak merata secara global, dengan negara-negara berpenghasilan tinggi cenderung mengonsumsi lebih banyak dibandingkan negara-negara berpenghasilan rendah (Godfray *et al.*, 2018).

Kondisi konsumsi produk hewani di Indonesia mencerminkan tren global yang lebih luas. Meskipun ada peningkatan konsumsi, masih terdapat kesenjangan yang signifikan antara kelompok masyarakat yang berbeda. Suwarti *et al* (2015) Masyarakat dengan tingkat ekonomi yang lebih tinggi cenderung mengonsumsi lebih banyak produk hewani dibandingkan dengan masyarakat dengan tingkat ekonomi yang lebih rendah. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan berbagai upaya, seperti meningkatkan produksi lokal, memperbaiki distribusi, dan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya gizi seimbang.

TANTANGAN KEBERLANJUTAN DALAM PRODUKSI PETERNAAN

Meskipun peternakan penting untuk ketahanan pangan, sektor ini juga menghadapi kritik terkait dampak lingkungannya. Leip *et al.* (2015) menyatakan bahwa peternakan memberikan kontribusi substansial terhadap total emisi gas rumah kaca antropogenik global. Kaur (2019) Peternakan menyumbang sekitar 14.5% dari total emisi gas rumah kaca antropogenik global, dengan emisi berasal dari berbagai sumber seperti fermentasi enterik, pengelolaan kotoran, produksi pakan, dan perubahan penggunaan lahan. Selain itu, ekspansi lahan untuk pakan ternak dan penggembalaan berkontribusi pada deforestasi dan degradasi habitat (Li & Jiang, 2021).

Penggunaan air yang intensif dalam produksi peternakan juga menjadi perhatian, terutama di daerah yang mengalami kelangkaan air. Bruce *et al.* (2024) memperkirakan bahwa produksi daging sapi memerlukan volume air yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan produksi tanaman pangan. Lakamp (2021) Memelihara kawanan sapi-sapi muda sebanyak 100 ekor di Dataran Besar Utara Tengah selama setahun rata-rata memerlukan 103,5 juta liter untuk irigasi dan 1.288,5 ha untuk produksi tanaman.

Penggunaan air dalam skala besar dapat mengurangi ketersediaan untuk keperluan lain, seperti konsumsi manusia, pertanian tanaman pangan, dan kelestarian ekosistem. Hal ini berpotensi memicu konflik pemanfaatan air, terutama di wilayah dengan ketersediaan terbatas. Menurut Andithama (2014), ketika sumber daya air semakin langka, persaingan untuk mendapatkan air minum, irigasi, dan kebutuhan lainnya akan meningkat, terutama di daerah dengan musim kemarau panjang atau struktur hidrologi yang tidak stabil, seperti Indonesia.

Pengalihan air dalam jumlah besar dapat mengganggu keseimbangan ekologi di daerah aliran sungai, menyebabkan penurunan kualitas air, dan mengancam keberlangsungan habitat berbagai spesies. Selain itu, penggunaan air yang berlebihan dapat menurunkan muka air tanah, yang pada akhirnya memicu intrusi air laut di wilayah pesisir dan merusak lahan. Su *et al* (2023) Ekstraksi air garam dengan intensitas tinggi di wilayah pesisir menyebabkan perubahan signifikan pada muka air tanah, dengan penghentian dan dimulainya kembali ekstraksi yang menyebabkan peningkatan masing-masing sebesar 93,4 cm dan penurunan sebesar 122,5 cm.

Pengelolaan limbah peternakan yang tidak memadai juga berpotensi mencemari sumber air dan tanah, sehingga mengancam kesehatan manusia dan lingkungan. Parihar *et al* (2019) Kotoran ternak yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan kontaminasi pada air sehingga membahayakan manusia dan lingkungan.

Dampak-dampak ini saling berkaitan dan dapat menimbulkan masalah lingkungan yang kompleks. Oleh karena itu, diperlukan solusi berkelanjutan dalam pengelolaan sumber daya air, termasuk di sektor peternakan.

INOVASI TEKNOLOGI UNTUK PETERNAKAN BERKELANJUTAN

Era modern telah membawa transformasi signifikan dalam sektor peternakan melalui integrasi teknologi canggih yang mengubah cara kita mengelola dan mengembangkan usaha peternakan. Inovasi teknologi seperti sensor pintar, *Internet of Things* (IoT), kecerdasan buatan, dan analisis data besar (*big data*) telah membuka jalan bagi pendekatan yang lebih presisi dan efisien dalam manajemen peternakan. Menurut Mekonnen *et al* (2020) Algoritma pembelajaran mesin dalam analisis data sensor dapat meningkatkan pengambilan keputusan, peramalan, dan manajemen sensor yang andal dalam prototipe pertanian pintar berbasis data IoT. Hal ini tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga memungkinkan peternak untuk memantau kesehatan ternak, pola makan, dan kondisi lingkungan secara real-time, sehingga dapat mengambil keputusan yang lebih tepat dan cepat.

Precision Livestock Farming (PLF) hadir sebagai solusi revolusioner yang mengintegrasikan berbagai teknologi modern untuk menciptakan sistem peternakan yang lebih cerdas dan berkelanjutan. Menurut Morrone (2022) Peternakan presisi (PLF) dan teknologi Industri 4.0 dapat menciptakan sistem manajemen hewan ternak yang lebih efisien, berdampak pada penilaian kesejahteraan dan kesehatan, dan berpotensi memungkinkan pembangunan berkelanjutan dalam industri *agri-food*. Pendekatan ini menggunakan kombinasi sensor canggih, sistem pemantauan otomatis, dan algoritma pembelajaran mesin untuk mengumpulkan dan menganalisis data tentang berbagai aspek produksi peternakan. Misalnya, sistem PLF dapat memantau pola makan ternak, tingkat stres, suhu tubuh, dan parameter kesehatan lainnya secara kontinyu, memungkinkan deteksi dini masalah kesehatan dan optimalisasi pemberian pakan.

Implementasi PLF telah menunjukkan dampak positif yang signifikan terhadap lingkungan, seperti yang diungkapkan dalam penelitian Tullo *et al* (2019) Sistem ini mampu mengurangi jejak karbon peternakan melalui optimalisasi penggunaan sumber daya dan pengurangan limbah. Penggunaan teknologi PLF memungkinkan peternak untuk mengatur pemberian pakan dengan lebih presisi, yang mengarah pada pengurangan emisi gas metana dari proses pencernaan ternak. Selain itu, sistem manajemen limbah yang lebih efisien dapat mengurangi emisi amonia dan mencegah pencemaran nitrat serta fosfor ke dalam tanah dan air tanah.

Keberhasilan implementasi PLF dalam mengurangi dampak lingkungan juga didukung oleh kemampuannya dalam mengoptimalkan penggunaan input produksi. Melalui pemantauan yang presisi, peternak dapat mengatur penggunaan air, pakan, dan energi dengan lebih efisien, yang pada gilirannya mengurangi pemborosan dan meningkatkan keberlanjutan operasional peternakan. Menurut Tedeschi & Mendes (2023) Peralatan PLF dalam operasi peternakan dapat mengoptimalkan efisiensi pakan, meminimalkan limbah, dan meningkatkan kesejahteraan hewan, mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan profitabilitas. Sistem ini juga membantu dalam manajemen kesehatan ternak yang lebih baik, mengurangi penggunaan antibiotik dan bahan kimia lainnya yang dapat mencemari lingkungan. Dengan demikian, PLF tidak hanya menguntungkan dari segi ekonomi tetapi juga memberikan kontribusi positif terhadap upaya pelestarian lingkungan dan pengembangan peternakan berkelanjutan.

SISTEM PANGAN TERINTEGRASI DAN EKONOMI SIRKULAR

Pendekatan pangan terintegrasi telah muncul sebagai solusi holistik dalam mengatasi berbagai tantangan keberlanjutan di sektor peternakan modern. Sebagaimana yang diungkapkan oleh Yang *et al.* (2022), konsep ini tidak hanya berfokus pada integrasi produksi tanaman dan ternak, tetapi juga mencakup aspek yang lebih luas seperti optimalisasi penggunaan lahan, efisiensi sumber daya air, dan minimalisasi dampak lingkungan. Sistem terintegrasi ini memungkinkan terciptanya siklus nutrisi yang tertutup, di mana limbah dari satu komponen sistem dapat dimanfaatkan sebagai input berharga untuk komponen lainnya, menciptakan ekosistem pertanian yang lebih berkelanjutan.

Implementasi ekonomi sirkular dalam peternakan memberikan berbagai manfaat yang saling terkait, mulai dari aspek lingkungan hingga ekonomi. Pemanfaatan limbah peternakan sebagai pupuk organik tidak hanya mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, tetapi juga meningkatkan kesehatan tanah dan produktivitas tanaman. Produksi biogas dari kotoran ternak menawarkan solusi energi terbarukan yang dapat memenuhi kebutuhan energi peternakan, sementara penggunaan sisa-sisa pangan sebagai pakan ternak membantu mengurangi pemborosan makanan dan menekan biaya produksi peternakan.

Duncan *et al.* (2023) menggarisbawahi pentingnya inovasi dalam praktik pemberian pakan ternak sebagai komponen kunci dari ekonomi sirkular peternakan. Pengembangan tanaman dwiguna yang dapat menghasilkan baik pangan manusia maupun pakan ternak merupakan terobosan penting dalam mengoptimalkan penggunaan lahan. Lebih lanjut, pemanfaatan sisa tanaman sebagai pakan tidak hanya mengurangi limbah pertanian tetapi juga memberikan alternatif pakan yang berkelanjutan. Pendekatan ini membutuhkan kolaborasi antara peneliti,

petani, dan peternak untuk mengembangkan varietas tanaman yang sesuai dan teknologi pengolahan yang efisien.

Studi kasus yang dilakukan oleh Wang *et al.* (2023) di Belanda memberikan bukti konkret tentang efektivitas pendekatan sirkular dalam sektor peternakan. Hasil penelitian menunjukkan pengurangan signifikan dalam ketergantungan pada impor pakan, yang secara langsung berdampak pada pengurangan jejak karbon industri peternakan. Penurunan emisi gas rumah kaca yang dicapai melalui implementasi sistem ini mendemonstrasikan potensi pendekatan sirkular dalam mendukung target mitigasi perubahan iklim global. Keberhasilan ini menjadi model yang dapat diadaptasi oleh negara-negara lain dengan mempertimbangkan kondisi lokal dan ketersediaan sumber daya setempat.

KEBIJAKAN DAN TATA KELOLA UNTUK PETERNAKAN BERKELANJUTAN

Implementasi kebijakan yang efektif dan tata kelola yang baik sangat penting untuk mewujudkan peternakan yang berkelanjutan. Mehrabi *et al.* (2020) mengusulkan pendekatan multi-level yang melibatkan pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat sipil untuk mengatasi kompleksitas tantangan yang dihadapi.

Beberapa negara telah menerapkan kebijakan inovatif untuk mendorong praktik peternakan berkelanjutan. Misalnya, program pembayaran untuk jasa lingkungan di Costa Rica memberikan insentif finansial kepada peternak yang mengadopsi praktik ramah lingkungan (Chapman *et al.*, 2020). Di Uni Eropa, Kebijakan Pertanian Bersama yang baru menekankan pada produksi peternakan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan (Guyomard *et al.*, 2021).

PERUBAHAN POLA KONSUMSI DAN PERAN KONSUMEN

Perubahan pola konsumsi masyarakat dan peran aktif konsumen menjadi faktor krusial bagi ketahanan pangan dan keberlanjutan peternakan. Tren global menunjukkan pergeseran signifikan menuju diet yang mempertimbangkan aspek kesehatan dan keberlanjutan lingkungan, terutama di negara-negara maju. Fenomena "*flexitarian*" atau "*reducetarian*" berpotensi mengurangi tekanan pada sumber daya alam dan sistem produksi peternakan (Dakin *et al.*, 2021). Permintaan akan produk peternakan yang diproduksi secara etis dan ramah lingkungan juga meningkat, mendorong industri untuk mengadopsi praktik yang lebih berkelanjutan. Pilihan diet individu memiliki potensi besar dalam mengurangi dampak lingkungan dari sistem pangan. Gibbs & Cappuccio (2022) menyatakan Transisi ke pola makan nabati dapat mengurangi penggunaan lahan terkait pola makan hingga 76%, emisi gas rumah kaca hingga 49%, eutrofikasi hingga 49%.

Edukasi konsumen dan transparansi informasi menjadi kunci dalam mendorong perubahan pola konsumsi yang mendukung ketahanan pangan dan keberlanjutan peternakan. Namun, implementasi perubahan ini harus mempertimbangkan kebutuhan nutrisi populasi, terutama di negara berkembang. Inovasi seperti pengembangan protein nabati atau daging yang diproduksi di laboratorium menawarkan peluang baru, meskipun masih menghadapi tantangan adopsi (Nowacka *et al.*, 2023).

Perubahan pola konsumsi dan peran aktif konsumen merupakan komponen integral dalam mewujudkan sistem peternakan berkelanjutan dan ketahanan pangan yang kuat. Melalui pilihan konsumsi yang bertanggung jawab, konsumen dapat menjadi katalis perubahan, mendorong inovasi dan praktik yang lebih berkelanjutan dalam industri peternakan.

PETERNAKAN DAN PERUBAHAN IKLIM: ADAPTASI DAN MITIGASI

Sektor peternakan tidak hanya berkontribusi pada perubahan iklim tetapi juga rentan terhadap dampaknya. Khurshid *et al.* (2023) mengidentifikasi bahwa peningkatan suhu dan variabilitas cuaca ekstrim dapat mempengaruhi produktivitas ternak, ketersediaan pakan, dan penyebaran penyakit.

Strategi adaptasi meliputi pengembangan *breed* ternak yang lebih tahan terhadap stres panas, diversifikasi produksi, dan perbaikan manajemen padang rumput wajib untuk dipertimbangkan dalam pengembangan peternakan berkelanjutan. Morgado *et al.* (2023) menyatakan Strategi manajemen, termasuk tindakan adaptasi dan mitigasi, mampu mengurangi separuh dampak negatif stres panas terhadap kinerja dan kesejahteraan ruminansia, meskipun efektivitasnya tetap rendah dalam kondisi ekstrem. Sementara itu, upaya mitigasi mencakup pengurangan emisi metana melalui manajemen pakan yang lebih baik dan teknologi pengolahan limbah ternak juga harus diperhatikan. Place (2023) menyatakan manajemen pakan, intervensi nutrisi, dan penggunaan aditif pakan merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk menurunkan emisi metana enterik pada ternak.

Menyeimbangkan ketahanan pangan dan keberlanjutan peternakan di era modern memerlukan pendekatan yang memadukan inovasi teknologi, kebijakan yang tepat, dan perubahan perilaku konsumen. Kolaborasi lintas sektor dan disiplin ilmu menjadi kunci dalam menghadapi tantangan kompleks ini. Dengan mengadopsi praktik peternakan berkelanjutan, memanfaatkan teknologi modern, dan mempertimbangkan seluruh rantai nilai pangan, sektor peternakan dapat berkontribusi positif terhadap

ketahanan pangan global meminimalkan dampak lingkungannya

KESIMPULAN

Ketahanan pangan dan keberlanjutan peternakan di era modern merupakan tantangan kompleks yang memerlukan pendekatan dan multidisipliner. Peternakan memainkan peran vital dalam menjamin ketahanan pangan global, namun juga menghadapi kritik terkait dampak lingkungannya. Inovasi teknologi seperti precision livestock farming, pendekatan pangan terintegrasi, dan ekonomi sirkular menawarkan solusi potensial untuk meningkatkan efisiensi produksi dan meminimalkan dampak lingkungan. Kebijakan yang efektif, tata yang baik, dan perubahan pola konsumsi masyarakat menjadi kunci dalam mendorong transformasi menuju peternakan yang lebih berkelanjutan. Adaptasi terhadap perubahan iklim dan upaya mitigasi juga harus menjadi bagian integral dari strategi pengembangan peternakan. Menyeimbangkan tuntutan produksi pangan dengan keberlanjutan membutuhkan kolaborasi lintas sektor, inovasi berkelanjutan, dan komitmen jangka dari semua pemangku kepentingan. Dengan pendekatan yang tepat, sektor peternakan dapat berkontribusi positif terhadap ketahanan pangan global meminimalkan dampak lingkungannya, mendukung terwujudnya pangan yang berkelanjutan, adil, dan di era modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Adesogan, A. T., A. H. Havelaar, S. L. McKune, M. Eilittä, and G. E. Dahl. 2020. Animal source foods: Sustainability problem or malnutrition and sustainability solution? Perspective matters. *Global Food Security* 25: 100325.
- Andithama, N. 2014. *Konflik Pemanfaatan Sumber Daya Air di Indonesia* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Bruce, M., C. Bellet, and J. Rushton. 2018. Successes and Problems with Measuring Water Consumption in Beef Systems. *The Oxford Handbook of Food, Water and Society*: 652–670. <https://doi.org/10.1093/OXFORDHB/9780190669799.013.49>.
- Chapman, M., Satterfield, T., Wittman, H., & Chan, K. 2020. A payment by any other name: Is Costa Rica's PES a payment for services or a support for stewards?. *World Development* 129: 104900. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104900>.
- Dakin, B., A. Ching, E. Teperman, C. Klebl, M. Moshel, and Bastian, B. 2021. Prescribing vegetarian or flexitarian diets leads to sustained reduction in meat intake. *Appetite* 164: 105285. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105285>.
- Devendra, C., and C. Chantalakhana. 2002. Animals, poor people and food insecurity: opportunities for improved livelihoods through efficient natural resource management. *Outlook on Agriculture* 31: 161 - 175. <https://doi.org/10.5367/000000002101294010>.
- Duncan, A., A. Ayantunde, M. Blummel, T. Amole, V. Padmakumar, and D. Moran. 2023. Applying circular economy principles to intensification of livestock production in Sub-Saharan Africa. *Outlook on Agriculture* 52: 327-338. <https://doi.org/10.1177/00307270231199116>.
- Gibbs, J., and F. Cappuccio. 2022. Plant-Based Dietary Patterns for Human and Planetary Health. *Nutrients* 14: 1614. <https://doi.org/10.3390/nu14081614>.
- Godfray, H., P. Aveyard, T. Garnett, J. Hall, T. Key, J. Lorimer, R. Pierrehumbert, P. Scarborough, M. Springmann, and S. Jebb. 2018. Meat consumption, health, and the environment. *Science* 361: 243.

- Guyomard, H., Z. Bouamra-Mechemache, V. Chatellier, L. Delaby, C. Détang-Dessendre, J. Peyraud, and V. Réquillart. 2021. Review: Why and how to regulate animal production and consumption: The Case of the European Union. *Animal: an international journal of animal bioscience* 15: 100283. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100283>.
- Huis, A., and L. Gasco. 2023. Insects as feed for livestock production. *Science* 379: 138-139.
- Kaur, R., L. Dhaliwal, and S. Dhindsa. 2019. Livestock contribution to climate change – a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 8(9):1099-1107. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.809.127>.
- Khade, S., R. Khillare, and M. Dastagiri. 2021. Global livestock development: Policies and vision. *The Indian Journal of Animal Sciences* 91(9): 770-779.
- Khurshid, N., S. Ajab, M. Tabash, and M. Bărbulescu. 2023. Asymmetries in climate change and livestock productivity: non-linear evidence from autoregressive distribution lag mode. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7: 1139631. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1139631>.
- Lakamp, A., D. Aherin, D. Spencer, R. Larson, R. Weaber, J. Bormann, and M. Rolf. 2021. 235 resource use for beef cattle in the north central great plains. *Journal of Animal Science* 99: 12.
- Leip, A., G. Billen, J. Garnier, B. Grizzetti, L. Lassaletta, S. Reis, D. Simpson, M. Sutton, W. Vries, F. Weiss, and H. Westhoek. 2015. Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environmental Research Letters* 10: 115004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004>.
- Li, B., and B. Jiang. 2021. Responses of forest structure, functions, and biodiversity to livestock disturbances: A global meta-analysis. *Global Change Biology* 27: 4745-4757. <https://doi.org/10.1111/gcb.15781>.
- Mehrabi, Z., M. Gill, M. Wijk, M. Herrero, and N. Ramankutty. 2020. Livestock policy for sustainable development. *Nature Food* 1: 160-165.
- Mekonnen, Y., S. Namuduri, L. Burton, A. Sarwat, and S. Bhansali. 2020. Review—Machine learning techniques in wireless sensor network based precision agriculture. *Journal of The Electrochemical Society* 167: 037522. <https://doi.org/10.1149/2.0222003jes>.
- Morgado, J., Lamonaca, E., Santeramo, F., Caroprese, M., Albenzio, M., & Ciliberti, M. 2023. Effects of management strategies on animal welfare and productivity under heat stress: A synthesis. *Frontiers in Veterinary Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1145610>.
- Morrone, S., C. Dimauro, F. Gambella, and M. Cappai. 2022. Industry 4.0 and precision livestock farming (PLF): An up to date overview across animal productions. *Sensors* 22: 4319. <https://doi.org/10.3390/s22124319>.
- Mountzouris, K. 2016. Bioactive feed additives as alternatives to antimicrobial growth promoters : cases of probiotic and phytogetic applications in broilers : feed science. *AFMA Matrix* 25: 59-61.
- Mustikaningrum, D., K. Kristiawan, dan S. Suprayitno. 2021. Emisi gas rumah kaca sektor pertanian di Kabupaten Tuban: inventarisasi dan potensi aksi mitigasi. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan* 9(2): 155-171.
- Nowacka, M., M. Trusinska, P. Chraniuk, F. Drudi, J. Lukasiwicz, N. Nguyen, A. Przybyszewska, K. Pobiega, S. Tappi, U.

- Tylewicz, K. Rybak, and A. Wiktor. 2023. Developments in plant proteins production for meat and fish analogues. *Molecules* 28: 2966. <https://doi.org/10.3390/molecules28072966>.
- Parihar, S., K. Saini, G. Lakhani, A. Jain, B. Roy, S. Ghosh, and B. Aharwal. 2019. Livestock waste management: A review. *Journal of entomology and zoology studies* 7: 384-393.
- Place, S. 2023. 433 leveraging feed technologies to reduce methane emissions from livestock. *Journal of Animal Science* 101(3): 210-211.
- Riaz, M. 2022. Livestock integrated farming in rural area of pakistan. *Advances in Biological Sciences Research* 20:1-3.
- Sari, F. P., M. Munizu, M. Rusliyadi, I. Nuryanneti, dan L. Judijanto. 2024. *Agribisnis: Strategi, Inovasi dan Keberlanjutan*. PT. Green Pustaka Indonesia, Yogyakarta.
- Smith, J., K. Sones, D. Grace, S. Macmillan, S. Tarawali, and M. Herrero, 2013. Beyond milk, meat, and eggs: Role of livestock in food and nutrition security. *Animal Frontiers* 3: 6-13.
- Su, Q., Yu, Y., Yang, L., Chen, B., Fu, T., Liu, W., Chen, G., & Lyu, W. 2023. Study on the variation in coastal groundwater levels under high-intensity brine extraction conditions. *Sustainability* 15(23): 16199. <https://doi.org/10.3390/su152316199>.
- Suwarti, S. A., M. Masyhuri, dan D. Djamhari. 2015. Pengaruh faktor sosial ekonomi rumah tangga terhadap konsumsi produk peternakan di Kecamatan Kasihan Kabupaten Bantul. *Jurnal Agribisnis dan Sosial Ekonomi Pertanian* 1(1): 1-16.
- Symeonaki, E., K. Arvanitis, D. Piromalis, D. Tseles, and A. Balafoutis. 2022. Ontology-based IoT middleware approach for smart livestock farming toward agriculture 4.0: A case study for controlling thermal environment in a pig facility. *Agronomy* 12(3): 750.
- Tedeschi, L., and E. Mendes. 2023. 13 precision livestock farming tools for climate-smart feedyard operations. *Journal of Animal Science* 101(3): 326-327.
- Tullo, E., A. Finzi, and M. Guarino. 2019. Review: Environmental impact of livestock farming and precision livestock farming as a mitigation strategy. *The Science of the total environment* 650: 2751-2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>.
- Wang, S., F. Ang, and A. Lansink. 2023. Mitigating greenhouse gas emissions on Dutch dairy farms. An efficiency analysis incorporating the circularity principle. *Agricultural Economics* 54(6): 819-837. <https://doi.org/10.1111/agec.12804>.
- Yang, G., J. Li, Z. Liu, Y. Zhang, X. Xu, H. Zhang, and Y. Xu. 2022. Research trends in crop–livestock systems: a bibliometric review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(14): 8563. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148563>.