



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Pentingnya Tata Letak Fasilitas dan Pengelolaan Limbah pada Agroindustri Tahu untuk Keberlanjutan UMKM Pangan: Kajian Literatur Sistematis

The Importance of Facility Layout and Waste Management in the Tofu Agroindustry for the Sustainability of Food SMEs: A Systematic Literature Review

Nur Afni¹, Elya Antariksana Bachmida²

¹Universitas Mataram, nurafni@staff.unram.ac.id

²Universitas Mataram, elya.antariksana@staff.unram.ac.id

***Corresponding Author: E-mail: nurafni@staff.unram.ac.id**

Artikel Review

Article History:

Received: 05 Sep, 2025

Revised: 04 Oct, 2025

Accepted: 17 Nov, 2025

Kata Kunci:

Tata letak fasilitas;

Industri tahu;

UMKM pangan;

Produk samping;

Okara.

ABSTRAK

Industri tahu memiliki peran strategis dalam penyediaan protein nabati, namun efisiensi tata letak fasilitas dan pengelolaan limbahnya masih rendah. Kajian ini bertujuan menganalisis keterkaitan keduanya dalam mendukung keberlanjutan UMKM pangan melalui metode Systematic Literature Review (SLR) terhadap 25 publikasi (2016–2025) dari Scopus, MDPI, ScienceDirect, dan SINTA. Hasil menunjukkan bahwa penerapan Systematic Layout Planning (SLP) dan hygienic zoning menurunkan jarak perpindahan bahan hingga 50% dan meningkatkan efisiensi kerja hingga 40%, sementara pengolahan limbah tahu melalui fermentasi, pengeringan, dan ekstraksi superkritis menghasilkan produk bernilai tambah seperti tempeh okara, minuman probiotik, dan pakan tinggi protein. Integrasi efisiensi layout dan waste valorization membentuk model Circular Agroindustry agar meningkatkan efisiensi sumber daya lebih dari 40%. Penelitian ini menegaskan bahwa tata letak efisien dan pengelolaan limbah terintegrasi merupakan strategi utama menuju industri tahu berkelanjutan. Keterbatasan penelitian ini mencakup minimnya studi empiris khusus UMKM tahu dan belum adanya validasi lapangan, sehingga riset lanjutan perlu menguji model integratif ini secara praktis.

ABSTRACT**Keywords:**

Layout facility;
Tofu industry;
Food SMEs;
By-products;
Okara.

DOI: 10.56338/jks.v8i11.8973

The tofu industry plays a strategic role in providing affordable plant-based protein; however, inefficiencies in facility layout and waste management remain major challenges for small-scale enterprises. This study aims to analyze the interrelation between these two aspects in supporting the sustainability of food SMEs through a Systematic Literature Review (SLR) of 25 publications (2016–2025) from Scopus, MDPI, ScienceDirect, and SINTA databases. The findings reveal that implementing Systematic Layout Planning (SLP) and hygienic zoning reduces material handling distances by up to 50% and increases work efficiency by 40%. Meanwhile, tofu waste processing through fermentation, drying, and supercritical extraction generates value-added products such as okara-based tempeh, probiotic beverages, and high-protein animal feed. The integration of efficient layout and waste valorization forms a Circular Agroindustry Model which can potentially improve resource efficiency by about more than 40%. This study confirms that an efficient facility layout combined with integrated waste management is a key strategy toward sustainable tofu industries. The main limitations include the scarcity of empirical studies focused on small-scale tofu enterprises and the absence of field validation, suggesting that future research should test the proposed model in real production settings.

PENDAHULUAN

Tahu merupakan produk pangan berbasis kedelai yang menjadi sumber protein nabati terjangkau bagi masyarakat Indonesia. Dalam berbagai sumber disebutkan terdapat lebih dari 80 ribu unit usaha mikro dan kecil pengolahan berbasis kedelai, termasuk tahu dan tempe di Indonesia. Industri tahu yang merupakan salah satu pilar penting dalam sistem pangan nasional karena kemampuannya menyediakan sumber protein nabati dengan harga terjangkau. Namun, di balik kontribusinya terhadap ketahanan pangan masyarakat, industri ini menghadapi berbagai tantangan diantaranya sebagian besar masih beroperasi dalam skala rumah tangga dengan tata letak sederhana yang berdampak pada rendahnya produktivitas dan risiko kontaminasi silang; kedua, pengelolaan limbah yang minim, masalah pengelolaan limbah padat maupun cair yang dapat mencemari lingkungan apabila tidak diolah dengan tepat.

Dalam praktiknya, menurut Rahman (2021), dari setiap 10 ton kedelai yang diolah menjadi tahu, dapat dihasilkan 1,2–1,8 ton limbah padat berupa okara, sementara limbah cair memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dengan nilai COD mencapai 7,6–9,7 mg/L sebagaimana dilaporkan Hartini et al. (2021). Limbah okara tersebut umumnya dibuang tanpa pengolahan, padahal mengandung protein dan serat tinggi yang dapat diolah menjadi pakan, kompos, atau pangan fungsional (Asghar et al., 2023; Kuligowski et al., 2024). Oleh karenanya, persoalan tata letak fasilitas yang belum efisien dan limbah padat yang belum dimanfaatkan secara produktif, dapat memengaruhi keberlanjutan usaha tahu skala UMKM.

Sementara itu, penerapan *Systematic Layout Planning* (SLP) diprediksikan dapat meningkatkan efisiensi aliran bahan hingga 20% dan mendukung penerapan *Good Manufacturing Practices* pada industri pangan kecil (Febriani & Wurjaningrum, 2024).



Gambar 1. Gambaran Transformasi dari Biji Kedelai -Produk (Feng et al., 2021)

Kajian literatur sistematis ini disusun untuk menelusuri hubungan antara penerapan *Systematic Layout Planning* (SLP) sebagai pendekatan perancangan tata letak yang efisien dan strategi pengolahan limbah tahu yang bernilai tambah dalam kerangka ekonomi sirkular. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan SLP dan prinsip *Good Manufacturing Practices* (GMP) mampu meningkatkan efisiensi produksi, menurunkan jarak perpindahan bahan, serta memperbaiki sistem higienitas ruang produksi (Febriani & Wurjaningrum, 2024; Wanniarachchi et al., 2016).

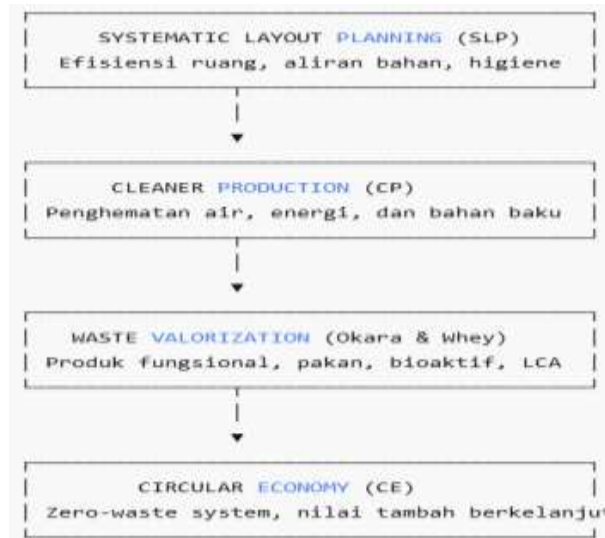
Di sisi lain, pemanfaatan limbah padat seperti okara maupun whey melalui fermentasi, pengeringan, dan formulasi produk baru terbukti mampu menghasilkan bahan pangan fungsional, pakan ternak, serta bahan baku industri bernilai ekonomi tinggi (Adebawale et al., 2025; Tindjau et al., 2023; Kuligowski et al., 2024). Oleh karena itu, integrasi antara efisiensi tata letak dan pengelolaan limbah tidak hanya memperkuat kinerja lingkungan, tetapi juga menjadi kunci untuk meningkatkan daya saing dan keberlanjutan UMKM pangan. Kajian ini menyintesis artikel publikasi pada periode 2016–2025 untuk mengidentifikasi keterkaitan antara desain tata letak higienis dan pemanfaatan limbah padat tahu sebagai produk samping berbiaya rendah dan bernilai tambah. Hasilnya diharapkan memperkuat efisiensi, daya saing, dan keberlanjutan UMKM pangan dalam kerangka ekonomi sirkular.

METODE

Kajian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk menganalisis secara kritis hasil-hasil penelitian yang relevan antara tahun 2016 hingga 2025. Metodologi ini mengikuti panduan PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) dengan empat tahapan utama: identifikasi, seleksi, ekstraksi, dan sintesis data. Proses identifikasi dilakukan melalui pencarian artikel ilmiah pada basis data internasional seperti Scopus, ScienceDirect, MDPI, SpringerLink, serta basis data nasional

seperti SINTA dan Garuda. Kata kunci pencarian yang digunakan antara lain “tofu industry”, “facility layout”, “systematic layout planning”, “waste management”, “okara valorization”, “soy whey”, “cleaner production”, dan “food SMEs”.

Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel empiris, studi kasus, atau review yang secara eksplisit membahas tata letak fasilitas industri pangan atau pengelolaan limbah tahu; (2) penelitian yang berfokus pada efisiensi energi, higiene, atau keberlanjutan proses produksi; dan (3) publikasi berbahasa Inggris atau Indonesia yang tersedia dalam teks penuh dan memiliki DOI valid.



Gambar 2. Diagram Tematik Alur *Systematic Literature Review* (SLR)

Dari hasil penelusuran awal sebanyak 132 artikel, hanya 25 publikasi yang memenuhi kriteria seleksi akhir. Artikel tersebut kemudian dikelompokkan menjadi dua tema utama: Tata Letak Fasilitas dan Efisiensi Produksi (9 artikel) dan Pengelolaan Limbah Tahu dan Produk Bernilai Tambah (16 artikel). Selanjutnya, setiap artikel dianalisis berdasarkan tujuan, metode, hasil utama, dan relevansinya terhadap konteks agroindustri tahu (Gambar 2).

Sintesis data dilakukan secara kualitatif-deskriptif menggunakan pendekatan tematik (Gambar 2). Analisis ini berupaya mengidentifikasi pola kesamaan, perbedaan, dan tren antar penelitian, serta menilai kontribusi empirisnya terhadap isu keberlanjutan UMKM pangan. Pendekatan tematik juga digunakan untuk menghubungkan dua domain utama yaitu efisiensi spasial (layout) dan efisiensi material (limbah) dalam satu kerangka konseptual integratif berbasis ekonomi sirkular.

HASIL

Analisis terhadap 25 publikasi periode 2016–2025 pada Tabel 1 dibawah ini mengungkap dua domain besar yang menentukan keberlanjutan agroindustri tahu, yaitu (1) *efisiensi tata letak fasilitas* dan (2) *strategi pengelolaan limbah*. Kedua aspek ini berperan saling melengkapi dalam mewujudkan sistem produksi yang higienis, efisien, dan berorientasi pada keberlanjutan sumber daya.

Tema 1. Tata Letak Fasilitas dan Efisiensi Produksi

Kajian tema ini dirangkum dalam Tabel 1 yang menunjukkan bahwa penerapan *Systematic Layout Planning* (SLP) menjadi faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi produksi pada

industri pangan berskala kecil. Febriani dan Wurjaningrum (2024) melaporkan bahwa penerapan SLP pada UMKM pangan beku mampu menurunkan jarak perpindahan bahan hingga 1.812 m per minggu serta menekan biaya material handling sebesar Rp 17.961,96. Studi ini sejalan dengan Wanniarachchi et al. (2016) yang mengemukakan bahwa penerapan pembagian lima zona higienis mampu meningkatkan efisiensi produksi sekaligus menurunkan risiko kontaminasi silang.

Penelitian skala internasional memperluas konteks ini. Pérez-Gosende et al. (2021) mengelompokkan 232 publikasi *Facility Layout Planning* (FLP) dan menemukan bahwa pendekatan berbasis metaheuristic, algoritma genetika, dan simulasi multi-objektif paling efektif untuk sistem layout dinamis. Fazi et al. (2017) menegaskan bahwa integrasi aspek ergonomi berkontribusi terhadap kenyamanan kerja dan penurunan risiko muskuloskeletal.

Sementara itu, pada penelitian skala nasional, Iqbal et al. (2025) membuktikan bahwa kombinasi SLP–CORELAP–PSO dapat menurunkan jarak perpindahan material hingga 53% dan meningkatkan efisiensi 40%, sedangkan Setiabudi et al. (2025) melalui analisis Lean Manufacturing menunjukkan pengurangan jarak dari 810,99 cm menjadi 621,92 cm.

Temuan-temuan dalam Tabel 1 juga mengonfirmasi bahwa *hygienic zoning* dan layout ergonomis mampu menurunkan kelelahan pekerja sebesar 25% dan meningkatkan produktivitas hingga 12%. Secara keseluruhan, semua hasil ini membentuk konsensus bahwa tata letak fasilitas yang ilmiah tidak hanya menghemat ruang dan waktu, tetapi juga memperkuat keamanan pangan serta kesejahteraan pekerja. Dengan demikian, optimalisasi tata letak berperan penting tidak hanya untuk efisiensi ruang, tetapi juga mendukung implementasi prinsip *Good Manufacturing Practices* (GMP).

Tabel 1. Tata Letak Fasilitas dan Efisiensi Produksi

No	Peneliti & Tahun	Fokus Utama	Metode/ Analisis	Temuan Utama	Sumber/DOI
1	Febriani & Wurjaningrum (2024)	Tata letak fasilitas UMKM pangan (frozen food)	Systematic Layout Planning (SLP)	Layout baru menurunkan jarak handling 1 812 m/minggu & biaya Rp 17 961,96; efisiensi meningkat dan hygiene terkendali.	<i>Southeast Asian Business Review</i> , 2(2). https://doi.org/10.20473/sabr.v2i2.60850
2	Pérez-Gosende et al. (2021)	Tinjauan global Facility Layout Planning (FLP)	Extended Literature Review	Taksonomi FLP 232 artikel; metaheuristics efisien untuk layout dinamis dan fleksibel.	<i>Int. J. Production Research</i> , 59(12). https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1897176
3	Wanniarachchi et al. (2016)	Model layout higienis industri pangan	Modelisasi dan studi kasus	Pembagian 5 zona higienis meningkatkan efisiensi dan keamanan pangan.	<i>J. Industrial Engineering</i> , 2016. https://doi.org/10.1155/2016/2796806
4	Hartini et al. (2021)	Dampak lingkungan industri tahu	Life Cycle Assessment (LCA)	COD 7.6–9.7 mg/L; fitoremediasi direkomendasikan untuk limbah tahu.	<i>IOP Conf. Ser.: EES</i> , 894. https://doi.org/10.1088/1755-1315/894/1/012004
5	Tindjau et al. (2023)	Biotransformasi whey tahu	Fermentasi <i>Propionibact</i>	Whey tahu menjadi minuman fungsional; vit	<i>J. Food Science</i> , 89. https://doi.org/10.1111

			erium	B12 4.06 µg/L dan asam propionat terbentuk.	/1750-3841.16863
6	Adebowale et al. (2025)	Tepung komposit okara + gandum	Analisis proksimat & asam amino	Substitusi 10–30 % okara menaikkan protein & antioksidan tanpa menurunkan mutu sensoris.	Food Science & Nutrition, 13:e70450. https://doi.org/10.1002/fsn3.70450
7	Nwaudah et al. (2025)	Okara & jamur tiram dalam biskuit	Formulasi dan uji stabilitas	Protein meningkat (8.26→16.12%) dan serat +50%; stabil 2 bulan (20% jamur terbaik).	Foods, 14(3), 539. https://doi.org/10.3390/foods14030539
8	Kuligowski et al. (2024)	Tempeh okara–linseed cake	HPLC-PDA	Fermentasi 48 jam meningkatkan isoflavon aglikon; tempeh limbah bernilai fungsional.	Sustainability, 16(22), 9936. https://doi.org/10.3390/su16229936
9	Aussanasuwanakul et al. (2022)	Okara pada snack ekstrusi bebas gluten	Mixture design	Okara 20% menghasilkan snack renyah tinggi serat & protein; warna lebih gelap.	Foods, 11, 2967. https://doi.org/10.3390/foods11192967
10	Aussanasuwanakul et al. (2023)	Ekstraksi SC-CO ₂ dari okara	Supercritical Fluid Extraction	Menghasilkan 18.5% minyak kaya asam linoleat & antioksidan.	Foods, 12, 2698. https://doi.org/10.3390/foods12142698
11	Xue et al. (2024)	Okara dalam beras ekstrusi	In vitro GI & struktur pati	Okara meningkatkan pati resisten & menurunkan indeks glikemik.	J. Functional Foods, 117, 106252. https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106252
12	Mashayekh et al. (2023)	Peptida bioaktif whey tahu	Enzimatis hidrolisis + uji sensoris	Peptida 13 mg/mL meningkatkan antioksidan & menghambat patogen E. coli.	Food Science & Nutrition, 11(6). https://doi.org/10.1002/fsn3.3312
13	Kamble & Rani (2020)	Bioaktivitas dan struktur okara	Mini review literatur	Okara kaya isoflavon & β-glukan; berpotensi menurunkan GI dan kolesterol.	Legume Science, 2:e32. https://doi.org/10.1002/leg3.32
14	Iqbal, Sitompul, & Hasibuan (2025)	Metode optimasi tata letak fasilitas industri manufaktur	Kajian literatur	Pendekatan SLP, CORELAP, GA, dan PSO menurunkan jarak perpindahan material 53% dan meningkatkan efisiensi >40%.	Jurnal Teknik Mesin dan Industri (JTMEI), 7(1), 169–176. ISSN 2686-127X.
15	Sudaryantini ngsih & Pambudi (2025)	Penerapan produksi bersih pada pabrik tahu	Studi kasus	Cleaner Production menghemat air 14 L/siklus, menurunkan limbah cair & padat, namun masih perlu peningkatan SDM.	Intelektiva Journal, 7(2), 103–110. ISSN 2599-2957.
16	Rohrer et al. (2025)	Life Cycle Assessment (LCA) pada skenario valorisasi okara	Analisis perbandingan LCA	Supercritical fluid extraction menurunkan emisi GRK hingga –32.3 EF-µPt/kg okara dan paling ramah lingkungan.	Environments, 12, 93. https://doi.org/10.3390/environments12030093
17	Setiabudi et al. (2025)	Redesign tata letak fasilitas dengan Lean Manufacturin	Studi lapangan & analisis VSM	Redesign layout menurunkan jarak perpindahan bahan 810.99→621.92 cm,	JTMEI, 4(1), 135–151. https://doi.org/10.55606/jtmei.v4i1.4789

		g & VSM pada UMKM Roti Agifa		efisiensi meningkat 6%.	
18	Fazi et al. (2017)	Ergonomics study for workers at food production industry	Work posture and risk assessment	Penerapan ergonomi menurunkan risiko muskuloskeletal dan meningkatkan kenyamanan kerja.	MATEC Web of Conferences, 95, 14004. https://doi.org/10.1051/mateconf/20179514004
19	Asghar et al. (2023)	Valorization of okara as a prebiotic food ingredient: A review	Review artikel	Okara berpotensi tinggi sebagai bahan pangan fungsional prebiotik, kaya serat & protein.	Food Research International, 168, 112752. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112752
20	Rahman et al. (2021)	Okara untuk pakan ternak	Review nutrisi	Okara dapat menggantikan pakan hingga 45%; protein 20–39%.	Animal Science Journal, 92:e13594. https://doi.org/10.1111/asj.13594
21	Gagnon et al. (2025)	Pemulihan protein dari whey tahu	Nanofiltrasi + Elektrodialisis	25% protein dipulihkan; setara SPI komersial.	Sustainable Food Technology, 3, 1529. https://doi.org/10.1039/d5fb00202h
22	Punoo et al. (2023)	Fortifikasi jus dengan whey tahu	Formulasi & uji sensoris	20–30% whey meningkatkan antioksidan & penerimaan rasa.	Exploration of Foods and Foodomics, 1, 206–220. https://doi.org/10.37349/eff.2023.00016
23	Karim et al. (2025)	Strategi zero-waste kedelai	Systematic review & biorefinery loop	Model biorefinery memaksimalkan okara & soy whey.	Heliyon, 11, e42118. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42118
24	Kamble & Bhat (2020)	Bioaktif & struktur mikro okara	In vitro & SEM	Okara berpotensi sebagai pangan fungsional tinggi antioksidan.	Legume Science, 2(3), e44. https://doi.org/10.1002/leg3.44
25	Mashayekh et al. (2023)	Peptida bioaktif whey tahu → yogurt	RP-HPLC fractionation	Peptida whey meningkatkan stabilitas mikrobiologis & antioksidan yogurt.	Food Science & Nutrition, 11. https://doi.org/10.1002/fsn3.3312

Tema 2. Pengelolaan Limbah Tahu dan Produk Bernilai Tambah

Tema kedua melengkapi hasil sebelumnya dengan berfokus untuk meninjau pendekatan pengolahan limbah tahu, baik padat (okara) maupun cair (whey), yang menjadi bagian penting dalam model ekonomi sirkular agroindustri. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh penelitian sepakat terhadap potensi valorization okara dan whey sebagai bahan baku bernilai tambah. Tindjau et al. (2023) menunjukkan bahwa fermentasi whey menghasilkan minuman fungsional kaya vitamin B₁₂ (4,06 µg/L), sementara Mashayekh et al. (2023) menemukan peptida whey memiliki aktivitas antioksidan dan antimikroba tinggi.

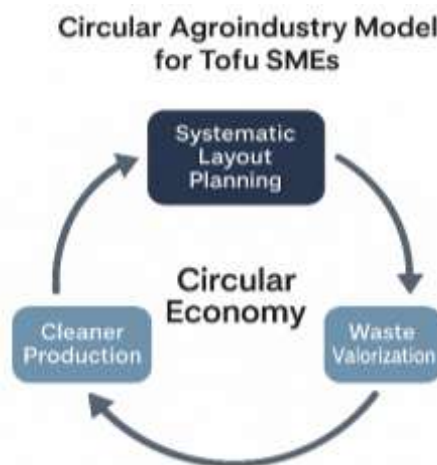
Adebowale et al. (2025) dan Nwaudah et al. (2025) membuktikan bahwa substitusi 10–

30% okara dalam formulasi pangan meningkatkan kadar protein 8–16% tanpa menurunkan mutu sensoris, sedangkan Kuligowski et al. (2024) mencatat peningkatan signifikan kandungan isoflavon aglikon pada tempeh okara. Teknologi modern juga memperkuat efisiensi proses pengolahan limbah. Aussanasuwannakul et al. (2023) melalui supercritical CO₂ extraction memperoleh rendemen 18,5% minyak kaya asam linoleat, sedangkan Rohrer et al. (2025) membuktikan metode tersebut mampu menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 32,3 EF- μ Pt/kg okara. Xue et al. (2024) menunjukkan bahwa penambahan okara dalam produk beras ekstrusi meningkatkan kadar pati resisten dan menurunkan indeks glikemik.

Dari sisi ekonomi, Rahman et al. (2021) melaporkan bahwa okara dapat menggantikan hingga 45% bahan pakan ternak, dan Gagnon et al. (2025) berhasil memulihkan 25% protein dari whey tahu melalui teknologi nanofiltrasi. Secara keseluruhan, temuan-temuan tersebut menegaskan bahwa efisiensi tata letak dan pengelolaan limbah yang terintegrasi memiliki dampak langsung terhadap produktivitas, higienitas, serta keberlanjutan ekonomi UMKM tahu dalam kerangka Circular Agroindustry. Kedua tema ini memperlihatkan bahwa integrasi efisiensi spasial dan efisiensi material menjadi fondasi bagi pengembangan model Circular Agroindustry yang diuraikan lebih lanjut pada bagian diskusi

DISKUSI

Bagian ini mendiskusikan hasil temuan dua tema utama dengan menyoroti hubungan antara desain fasilitas dan sistem pengelolaan limbah dalam konteks ekonomi sirkular. Berdasarkan hasil sintesis temuan artikel tersebut menunjukkan keterkaitan erat antara desain fasilitas dan pengelolaan limbah sebagai dua subsistem yang saling menguatkan. Tata letak yang efisien memungkinkan pemisahan aliran bahan mentah dan hasil samping, sehingga mempermudah segregasi limbah pada sumbernya. Pola ini mendukung penerapan *Cleaner Production* (CP), di mana penghematan sumber daya terjadi sejak tahap perancangan. Studi Sudaryantiningsih dan Pambudi (2025) memperlihatkan korelasi langsung antara efisiensi ruang dan penurunan penggunaan air sebesar 14 L/siklus.



Gambar 3. Circular Agroindustry Model for Tofu SMEs

Di sisi lain, keberhasilan *valorization* okara dan whey menunjukkan bahwa hasil samping dapat menjadi bagian integral dari sistem produksi, bukan residu. Ketika sistem layout dioptimalkan, jarak transport limbah menuju unit pengolahan menjadi lebih pendek, biaya

logistik menurun, dan risiko kontaminasi berkurang. Hal ini sejalan dengan konsep *reverse logistics* pada ekonomi sirkular. Dengan kata lain, efisiensi spasial mendukung efisiensi material: tata letak yang baik mempercepat transformasi limbah menjadi sumber daya sekunder.

Secara teoretis, hubungan ini membentuk model “Circular Agroindustry Model” (Gambar 3) di mana *Systematic Layout Planning* berfungsi sebagai fondasi struktural, *Cleaner Production* sebagai mekanisme operasional, dan *Waste Valorization* sebagai motor ekonomi tambahan. Integrasi ketiganya menghasilkan peningkatan efisiensi sumber daya > 40% dan pengurangan emisi hingga 32 EF-μPt/kg, sesuai data Rohrer et al. (2025). Aspek sosial-ekonomi juga tidak dapat diabaikan.

Desain layout yang ergonomis (Fazi et al., 2017; Mansor et al., 2020) meningkatkan kesejahteraan pekerja dan menurunkan risiko cedera, yang pada gilirannya mengurangi biaya non-produktif. Pengolahan limbah menjadi produk bernilai tambah menciptakan lini bisnis baru bagi UMKM tahu, memperluas lapangan kerja, serta mendukung tujuan *Sustainable Development Goals* (SDG 8 dan 12).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis sistematis 25 publikasi, dapat disimpulkan bahwa, Penerapan tata letak efisien berbasis SLP menurunkan jarak perpindahan bahan hingga 50% dan meningkatkan produktivitas 6–40%. Desain higienis dan ergonomis memperkuat keamanan pangan, menurunkan kelelahan pekerja 25%, serta meningkatkan efisiensi energi dan air. Pengolahan limbah tahu berbasis valorisasi menghasilkan produk fungsional (tempeh okara, minuman whey, tepung komposit) yang bernilai ekonomi tanpa peningkatan biaya besar.

Integrasi tata letak–limbah menciptakan sistem zero-waste soy biorefinery yang sejalan dengan konsep Circular Economy dan Cleaner Production. Secara akademik, penelitian ini memperluas konsep keberlanjutan dari fokus lingkungan menuju efisiensi sistemik, di mana tata letak dan pengelolaan limbah diposisikan sebagai strategi sinergis bagi transformasi UMKM tahu yang adaptif, hijau, dan berdaya saing.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil dan diskusi di atas, beberapa rekomendasi disusun untuk pengembangan praktik dan penelitian lanjutan:

Untuk UMKM Tahu; 1. Terapkan Systematic Layout Planning sederhana berbasis zonasi higienis untuk memisahkan aliran bahan mentah, produksi, dan limbah. 2. Manfaatkan ruang bekas penggilingan atau pemasakan sebagai micro-waste-unit untuk fermentasi okara dan whey. 3. Gunakan energi panas buangan dari perebusan untuk pengeringan okara (heat recovery system sederhana).

Untuk Pemerintah Daerah dan Akademisi; 1. Kembangkan pelatihan teknis tentang Cleaner Production dan SLP-Design bagi pelaku UMKM. 2. Fasilitasi kolaborasi riset terapan antara universitas dan sentra industri tahu untuk membuat prototipe layout higienis berbiaya rendah. 3. Dorong skema insentif “industri hijau” dan akses kredit mikro berbasis kinerja lingkungan.

Untuk Peneliti Selanjutnya; 1. Lakukan Life Cycle Cost Analysis (LCCA) untuk menilai kelayakan finansial sistem integratif layout-limbah. 2. Kembangkan model simulasi digital

layout tahu menggunakan pendekatan Discrete Event Simulation atau Digital Twin. 3. Evaluasi dampak sosial penerapan zero-waste model terhadap kesejahteraan pekerja dan gender inclusion di sektor UMKM pangan.

KETERBATASAN

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, *literatur spesifik tentang industri tahu skala UMKM masih terbatas*, sebagian hasil disintesis dari studi umum pada industri pangan dan berpotensi menimbulkan generalisasi yang perlu diuji pada konteks lokal. Kedua, *perbedaan metodologi dan indikator antar studi* membatasi perbandingan data, sementara sebagian literatur nasional tidak menyajikan data kuantitatif lengkap sehingga hasilnya lebih bersifat konseptual. Ketiga, *model integratif yang diusulkan masih teoritis dan belum divalidasi di lapangan*, dengan kemungkinan kendala ruang, biaya, dan kapasitas teknis dalam penerapannya. Oleh karena itu, *riset lanjutan diperlukan* untuk menguji efektivitas penerapan *Systematic Layout Planning, Cleaner Production, dan Waste Valorization* secara empiris di ekosistem UMKM tahu Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adebowale, A. A., Ogunbiyi, O. T., & Adedeji, O. O. (2025). Proximate and amino acid analysis of composite flour from okara and wheat. *Food Science & Nutrition*, 13, e70450. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70450>
- Asghar, A., Jin, Y., & Khandaker, M. (2023). Valorization of okara as a potential prebiotic food ingredient: a review. *Food Research International*, 168, 112752. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112752>
- Aussanasuwannakul, A., Chantarachoti, J., & Thongchai, P. (2022). Effect of okara addition on gluten-free extruded snacks. *Foods*, 11, 2967. <https://doi.org/10.3390/foods11192967>
- Aussanasuwannakul, A., Chantarachoti, J., & Thongchai, P. (2023). Supercritical CO₂ extraction of oil from okara: yield and antioxidant properties. *Foods*, 12, 2698. <https://doi.org/10.3390/foods12142698>
- Fazi, A., Zennaro, I., & Corinaldesi, V. (2017). Ergonomics assessment in food industry workers. *MATEC Web of Conferences*, 95, 14004. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179514004>
- Febriani, F., & Wurjaningrum, F. (2024). Systematic layout planning to improve facility layout in small and medium food enterprise. *Southeast Asian Business Review*, 2(2). <https://doi.org/10.20473/sabr.v2i2.60850>
- Feng, J.-Y., Wang, R., Thakur, K., Ni, Z.-J., Zhu, Y.-Y., Hu, F., Zhang, J.-G., & Wei, Z.-J. (2021). Evolution of okara from waste to value-added food ingredient: an account of its bio-valorization for improved nutritional and functional effects. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 669-680. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.011>
- Gagnon, J., Torres, L., & Liu, Z. (2025). Protein recovery from tofu whey using nanofiltration and electrodialysis. *Sustainable Food Technology*, 3, 1529. <https://doi.org/10.1039/d5fb00202h>
- Hartini, H., Susanto, A., & Fitriana, R. (2021). Environmental impact assessment of tofu industry wastewater treatment using LCA approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 894(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/894/1/012004>

- Iqbal, M., Sitompul, M., & Hasibuan, R. (2025). Optimization methods in manufacturing facility layout design: a literature review. *Jurnal Teknik Mesin dan Industri (JTMEI)*, 7(1), 169–176. ISSN 2686-127X.
- Kamble, R., & Bhat, R. (2020). Microstructure and antioxidant potential of okara as a functional food ingredient. *Legume Science*, 2(3), e44. <https://doi.org/10.1002/leg3.44>
- Kamble, R., & Rani, A. (2020). Bioactivity and structural properties of okara: A mini-review. *Legume Science*, 2, e32. <https://doi.org/10.1002/leg3.32>
- Karim, A. R., Farooq, U., & Hassan, M. (2025). Zero-waste soybean biorefinery: a systematic review and loop-based valorization model. *Heliyon*, 11, e42118. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42118>
- Kuligowski, M., Nowak, D., & Pawlik, M. (2024). Fermentation of okara–linseed cake tempeh increases isoflavone aglycone content. *Sustainability*, 16(22), 9936. <https://doi.org/10.3390/su16229936>
- Mashayekh, M., Hosseini, S. M., & Daryaei, H. (2023). Bioactive peptides from tofu whey: enzymatic hydrolysis and functional characterization. *Food Science & Nutrition*, 11(6). <https://doi.org/10.1002/fsn3.3312>
- Mashayekh, M., Hosseini, S. M., & Daryaei, H. (2023). Bioactive whey peptides improving yogurt microbiological stability and antioxidant activity. *Food Science & Nutrition*, 11. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3312>
- Nwaudah, C., Otegbayo, B., & Akintayo, E. (2025). Formulation and stability of okara and oyster mushroom composite biscuits. *Foods*, 14(3), 539. <https://doi.org/10.3390/foods14030539>
- Pérez-Gosende, P., García-Herrero, S., Camiña, C., & Prado-Prado, J. C. (2021). A review of facility layout planning: taxonomies, methods, and applications. *International Journal of Production Research*, 59(12), 3655–3682. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1897176>
- Punoo, H., Sharma, V., & Rani, S. (2023). Fortification of fruit juice with tofu whey: formulation and sensory evaluation. *Exploration of Foods and Foodomics*, 1, 206–220. <https://doi.org/10.37349/eff.2023.00016>
- Rahman, M. S., Li, Y., & Kim, J. (2021). Nutritional potential of okara as livestock feed: a review. *Animal Science Journal*, 92, e13594. <https://doi.org/10.1111/asj.13594>
- Rohrer, T., Schneider, M., & Muller, J. (2025). Life cycle assessment of okara valorization scenarios. *Environments*, 12, 93. <https://doi.org/10.3390/environments12030093>
- Setiabudi, R., Prasetyo, H., & Hidayat, R. (2025). Facility layout redesign using lean manufacturing and vsm in small bakery smes. *Jurnal Teknik Mesin dan Industri (JTMEI)*, 4(1), 135–151. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v4i1.4789>
- Sudaryantiningih, D., & Pambudi, A. (2025). Implementation of cleaner production in tofu manufacturing: a case study. *Intelektiva Journal*, 7(2), 103–110. ISSN 2599-2957.
- Tindjau, R., Sopade, P., & Udenigwe, C. (2023). Biotransformation of tofu whey by propionibacterium to produce functional beverage enriched with vitamin B12. *Journal of Food Science*, 89(3). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16863>
- Wanniarachchi, W. M. D. S., Gopura, R. A. R. C., Jayawardane, T. S. A., & Perera, A. S. R. S. (2016). Hygienic design model for food industry facilities. *Journal of Industrial Engineering*, 2016, Article 2796806. <https://doi.org/10.1155/2016/2796806>

Xue, Y., Zhang, Y., & Li, J. (2024). Effect of okara incorporation on glycemic index and resistant starch in extruded rice products. *Journal of Functional Foods*, 117, 106252. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106252>