Integrasi Pemanfaatan Limbah Agroindustri Menjadi Pupuk Organik Dalam Mewujudkan Agribisnis Berkelanjutan: Perspektif Teknologi Pangan, Nilai Tambah, Dan Pemberdayaan Petani

Fahrin Harahap[1]*

Universitas Mahkota Tricom Unggul

ABSTRAK

Limbah agroindustri dan sisa pengolahan pangan sering dipandang sebagai beban lingkungan, padahal sebagian di antaranya masih mengandung bahan organik dan unsur hara yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik. Pengolahan limbah menjadi kompos, vermikompos, pupuk organik cair, atau pembenah tanah dapat membuka peluang penciptaan nilai tambah sekaligus memperkuat hubungan antara sektor pengolahan pangan dan kegiatan pertanian. Artikel ini bertujuan menganalisis secara kualitatif peluang integrasi pemanfaatan limbah agroindustri menjadi pupuk organik dalam pengembangan agribisnis berkelanjutan, dengan perhatian pada teknologi pengolahan, rantai nilai, kelayakan usaha, dan pemberdayaan petani. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif melalui telaah literatur terstruktur dan analisis dokumen terhadap publikasi ilmiah yang relevan, terutama periode 2020–2026. Data dianalisis secara tematik dengan mengelompokkan temuan ke dalam lima tema, yaitu karakteristik dan pemilahan bahan baku limbah, teknologi konversi, mutu dan keamanan pupuk, model bisnis serta rantai pasok, dan adopsi oleh petani. Sintesis menunjukkan bahwa limbah pangan dan agroindustri berpotensi dikonversi melalui pengomposan, vermikompos, fermentasi, biodigesti, maupun proses termal, tetapi pemilihan teknologi harus mempertimbangkan komposisi bahan, kadar air, kontaminan, skala produksi, biaya, dan kebutuhan pasar. Keberhasilan komersialisasi tidak hanya ditentukan oleh kemampuan menghasilkan pupuk, melainkan juga oleh konsistensi mutu, kepatuhan standar, komunikasi dengan petani, kemitraan pemasok, dan jaringan distribusi. Artikel ini mengusulkan kerangka agribisnis sirkular yang menghubungkan sumber limbah, teknologi pengolahan, jaminan mutu, kelembagaan usaha, dan pasar petani sebagai satu sistem penciptaan nilai. Kajian ini menegaskan bahwa pemanfaatan limbah menjadi pupuk organik perlu dikembangkan secara bertahap, berbasis bukti mutu, dan disertai evaluasi ekonomi serta lingkungan.

Kata Kunci: agribisnis berkelanjutan; limbah agroindustri; pupuk organik; ekonomi sirkular; teknologi pangan; pemberdayaan petani

1. PENDAHULUAN

Pengembangan agribisnis berkelanjutan menuntut keterhubungan antara kegiatan produksi pertanian, pengolahan hasil, distribusi, dan pemanfaatan sumber daya. Dalam praktiknya, rantai pangan menghasilkan berbagai hasil samping, mulai dari residu tanaman, kulit dan ampas buah, sisa sayuran, limbah pengolahan, hingga kotoran ternak. Sebagian bahan tersebut masih memiliki kandungan bahan organik dan nutrien yang dapat dimanfaatkan kembali. Ketika residu dibuang tanpa pengelolaan, pelaku usaha kehilangan peluang ekonomi dan berpotensi menimbulkan beban lingkungan. Sebaliknya, ketika residu diperlakukan sebagai sumber daya, kegiatan pengolahan dapat menjadi bagian dari sistem ekonomi sirkular.

Konsep ekonomi sirkular menekankan upaya mempertahankan nilai material selama mungkin melalui pengurangan, penggunaan kembali, perbaikan, dan daur ulang. Dalam rantai pasok pangan, pendekatan ini berarti hasil samping dari satu proses dapat menjadi input bagi proses lain. Nattassha et al. (2020), melalui studi pada produsen pupuk organik di Indonesia, menjelaskan bahwa produk samping industri pangan dapat diposisikan sebagai sumber daya baru, bukan semata-mata limbah. Namun, studi tersebut juga menunjukkan bahwa lemahnya interaksi antara produsen pupuk dan petani dapat menurunkan minat petani untuk membeli pupuk organik. Dengan demikian, aspek pasar dan hubungan antarpelaku sama pentingnya dengan aspek teknis pengolahan.

Teknologi pangan dan teknologi pengolahan limbah mempunyai titik temu pada upaya mengendalikan karakteristik bahan organik. Sisa bahan pangan memiliki komposisi yang beragam, misalnya kandungan air, karbon, nitrogen, lemak, protein, serat, dan mineral yang berbeda menurut jenis bahan serta proses sebelumnya. Variasi ini memengaruhi pilihan metode pengolahan. Pengomposan memerlukan pengaturan campuran bahan, kelembapan, aerasi, suhu, dan waktu pematangan. Vermikompos memerlukan kondisi yang sesuai bagi organisme pengurai. Biodigesti mengubah bahan organik menjadi biogas dan digestat, sedangkan proses termal dapat menghasilkan biochar atau bahan pembenah tanah. Mia dan Zzaman (2025) mengulas jalur pengolahan limbah pangan melalui kompos, vermikompos, anaerobic digestion, dan pirolisis, sekaligus mengingatkan adanya risiko kontaminan dan patogen yang perlu dikendalikan.

Dari sisi agribisnis, pupuk organik dapat menjadi produk bernilai ekonomi apabila memenuhi kebutuhan pengguna dan memiliki mutu yang konsisten. Produk tidak cukup hanya dihasilkan dari bahan organik; produsen harus memahami

kebutuhan petani, komoditas sasaran, karakteristik lahan, cara aplikasi, harga, dan ketersediaan produk. Oktavian et al. (2025) mengembangkan model bisnis pupuk organik berbasis limbah peternakan dengan pendekatan studi kasus, Business Model Canvas, analisis rantai nilai, dan PESTEL. Kajian tersebut menempatkan infrastruktur dan teknologi, pengelolaan sumber daya manusia, pengadaan, serta logistik masuk sebagai faktor penting dalam pengembangan usaha. Temuan ini menegaskan bahwa pengolahan limbah menjadi pupuk bukan hanya aktivitas teknis, melainkan kegiatan agribisnis yang memerlukan model usaha dan pengelolaan rantai pasok.

Perkembangan kajian di Indonesia juga menunjukkan bahwa limbah pangan dapat diolah menjadi pupuk melalui pendekatan teknologi yang beragam. Astuti et al. (2024) menguji kelayakan teknis pengolahan limbah makanan menggunakan metode pengomposan berbasis Black Soldier Fly (BSF), dengan variasi campuran bahan organik. Penelitian tersebut menunjukkan potensi teknis pengolahan, tetapi hasil semacam ini tidak dapat digeneralisasi untuk semua jenis limbah karena komposisi bahan, kondisi proses, dan pengujian mutu dapat berbeda. Yunindanova dan Adillah (2026) juga melaporkan potensi sisa makanan program makan di sekolah untuk dikomposkan, dengan pengujian kandungan hara dan keamanan mikrobiologis. Bukti tersebut memperlihatkan pentingnya menghubungkan pengolahan dengan pengujian mutu sebelum produk digunakan atau dipasarkan.

Integrasi limbah agroindustri dengan produksi pupuk organik juga relevan bagi pemberdayaan petani dan pengembangan ekonomi lokal. Petani dapat berperan sebagai pemasok bahan organik, pengguna pupuk, anggota koperasi, atau mitra dalam unit pengolahan. Agroindustri dapat menyediakan residu terpilah, sedangkan kelompok tani atau badan usaha milik desa dapat mengelola pengolahan skala komunitas. Hubungan tersebut berpotensi membentuk perputaran sumber daya di tingkat wilayah: residu dari pengolahan pangan kembali ke lahan pertanian sebagai input organik. Namun, pola ini membutuhkan pembagian peran, standar bahan baku, pembiayaan, pendampingan teknis, dan mekanisme pembelian yang jelas.

Artikel ini bertujuan menganalisis bagaimana pemanfaatan limbah agroindustri menjadi pupuk organik dapat diintegrasikan ke dalam sistem agribisnis berkelanjutan. Secara khusus, kajian diarahkan untuk menjawab tiga pertanyaan: (1) jenis limbah dan teknologi apa yang berpotensi digunakan dalam produksi pupuk organik; (2) bagaimana pengendalian mutu, model bisnis, dan koordinasi rantai nilai menentukan keberhasilan usaha; dan (3) bagaimana petani serta kelembagaan lokal dapat dilibatkan dalam sistem agribisnis sirkular. Kontribusi artikel adalah menyusun kerangka konseptual yang menghubungkan teknologi pengolahan, mutu produk, kelayakan usaha, dan pemberdayaan petani tanpa menganggap bahwa semua jenis limbah otomatis aman atau layak dijadikan pupuk.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Agribisnis Sirkular dan Rantai Nilai Limbah Agroindustri

Agribisnis sirkular memandang residu dari kegiatan pertanian dan pengolahan pangan sebagai aliran material yang dapat dimanfaatkan kembali secara aman dan ekonomis. Pendekatan ini memperluas rantai nilai konvensional yang biasanya berakhir pada penjualan produk utama, dengan memasukkan pengelolaan hasil samping, pemulihan nutrien, dan pengembangan produk sekunder. Nattassha et al. (2020) menunjukkan bahwa implementasi ekonomi sirkular dalam rantai pasok agri-pangan memerlukan pemetaan sistem, interaksi produsen dengan petani, serta pemahaman kebutuhan pengguna. Dengan demikian, penciptaan nilai dari limbah membutuhkan koordinasi pasar dan kelembagaan, bukan hanya teknologi.

Rantai nilai pupuk organik berbasis limbah dapat mencakup pemasok residu, pengumpul dan pemilah, unit pengolahan, laboratorium atau lembaga penguji, distributor, kelompok tani, dan pengguna akhir. Nilai dapat tercipta pada tahap pemilahan bahan, pengolahan, pengemasan, sertifikasi, dan layanan pendampingan aplikasi. Setiap tahap memiliki biaya dan risiko yang perlu dikelola, termasuk kontaminasi bahan, biaya transportasi bahan berkadar air tinggi, serta ketidakpastian permintaan.

2.2 Limbah Pangan dan Agroindustri sebagai Bahan Baku Pupuk Organik

Bahan baku potensial meliputi residu tanaman, kulit buah, ampas pengolahan, sisa sayuran, limbah pasar, residu pengolahan pangan, dan kotoran ternak. Namun, bahan-bahan tersebut tidak dapat diperlakukan sama. Kandungan air, rasio karbon dan nitrogen, kadar garam, lemak, bahan kimia, serta kemungkinan kontaminan memengaruhi proses dan mutu produk akhir. Karena itu, pemilahan sumber bahan dan karakterisasi awal merupakan langkah penting.

Mia dan Zzaman (2025) menjelaskan bahwa limbah pangan dapat dikonversi melalui pengomposan, vermikompos, biodigesti anaerob, dan pirolisis. Mereka juga menyoroti potensi peningkatan bahan organik tanah dan retensi air, sekaligus risiko logam berat, mikroplastik, dan patogen. Nosova et al. (2025) meninjau metode biologis dan termal dalam pemanfaatan limbah pangan sebagai pupuk serta menekankan perlunya mitigasi kontaminan dan evaluasi jangka panjang. Literatur tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah harus didahului seleksi bahan dan pengujian keamanan.

2.3 Teknologi Pengolahan dan Pengendalian Proses

Pengomposan merupakan proses dekomposisi bahan organik secara aerobik melalui aktivitas mikroorganisme. Pengelola perlu mengatur keseimbangan bahan kaya karbon dan nitrogen, kelembapan, aerasi, ukuran partikel, suhu, serta waktu pematangan. Vermikompos menggunakan cacing tanah untuk membantu penguraian bahan yang sesuai. Biodigesti anaerob berlangsung tanpa oksigen dan menghasilkan biogas serta digestat yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut setelah memenuhi persyaratan. Pirolisis memproses biomassa pada kondisi terbatas oksigen untuk menghasilkan biochar. Pilihan teknologi perlu disesuaikan dengan skala, ketersediaan bahan, modal, kompetensi operator, dan kebutuhan pasar.

Astuti et al. (2024) memperlihatkan bahwa limbah makanan dapat diuji melalui proses pengomposan dengan bantuan BSF dan campuran bahan tertentu. Kajian tersebut relevan untuk menunjukkan kemungkinan pengembangan teknologi, tetapi penerapan komersial tetap membutuhkan uji konsistensi pada bahan baku lokal dan kondisi produksi yang berbeda. Teknologi yang dipilih juga perlu memperhitungkan biaya energi, kebutuhan lahan, pengendalian bau, air lindi, serta keselamatan pekerja.

2.4 Mutu, Keamanan, dan Standarisasi Pupuk Organik

Pupuk organik yang dipasarkan harus memiliki karakteristik yang dapat dipertanggungjawabkan. Parameter mutu dapat mencakup kadar air, pH, kandungan bahan organik, unsur hara, rasio C/N, kematangan, cemaran logam berat, dan parameter mikrobiologi sesuai jenis produk serta ketentuan yang berlaku. Produk yang belum matang dapat menimbulkan fitotoksisitas atau mengganggu pertumbuhan tanaman. Bahan baku yang tercampur plastik, logam, bahan kimia, atau sumber patogen dapat menurunkan keamanan produk.

Yunindanova dan Adillah (2026) melaporkan bahwa kompos dari sisa makanan yang diteliti memiliki kandungan hara dan hasil uji mikrobiologi yang memenuhi kriteria yang mereka gunakan, termasuk acuan SNI 7763:2024 untuk pupuk organik padat. Hasil ini merupakan bukti pada konteks dan sampel penelitian tersebut, bukan jaminan bahwa seluruh sisa makanan dapat menghasilkan kompos dengan mutu serupa. Setiap unit produksi tetap perlu memiliki prosedur pemilahan, pengendalian proses, pengujian, dan pencatatan batch.

2.5 Model Bisnis dan Pemberdayaan Petani

Model bisnis pupuk organik perlu menjelaskan sumber bahan baku, aktivitas utama, mitra, struktur biaya, saluran distribusi, segmen pelanggan, dan sumber pendapatan. Oktavian et al. (2025) menunjukkan bahwa pengembangan usaha pupuk organik berbasis limbah ternak memerlukan dukungan infrastruktur, teknologi, pengelolaan SDM, pengadaan, dan logistik. Nattassha et al. (2020) menambahkan pentingnya komunikasi produsen dengan petani agar produk yang ditawarkan sesuai kebutuhan pengguna.

Pemberdayaan petani dapat dilakukan melalui pelatihan pemilahan residu, pengelolaan unit kompos, pengujian sederhana, pencatatan biaya, pengemasan, dan pemasaran. Koperasi atau kelompok tani dapat menjadi simpul pengumpulan dan distribusi. Namun, keterlibatan petani perlu bersifat saling menguntungkan: petani memperoleh akses terhadap produk yang sesuai, pendampingan aplikasi, dan peluang pendapatan; sementara pengolah memperoleh pasokan bahan dan umpan balik mengenai performa produk.

3. METODE PENELITIAN

Artikel ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode telaah literatur terstruktur dan analisis dokumen. Pendekatan ini dipilih untuk memahami hubungan antara teknologi pengolahan limbah, pengembangan pupuk organik, model agribisnis, dan pemberdayaan petani berdasarkan temuan penelitian yang telah dipublikasikan. Artikel ini tidak melaporkan wawancara atau observasi primer, sehingga seluruh hasil merupakan sintesis sumber sekunder dan interpretasi konseptual.

Penelusuran literatur diarahkan pada publikasi ilmiah yang relevan dengan limbah agroindustri, limbah pangan, pupuk organik, ekonomi sirkular, teknologi pengolahan, rantai nilai, dan model bisnis agribisnis. Rentang utama sumber adalah 2020–2026, dengan prioritas pada artikel jurnal dan studi yang menjelaskan konteks, metode, serta temuan. Kata kunci yang digunakan mencakup organic fertilizer from food waste, agro-industrial waste valorization, circular economy in agri-food supply chain, organic fertilizer business model, composting technology, dan padanan bahasa Indonesia.

Kriteria inklusi meliputi: (1) membahas pemanfaatan limbah pertanian, peternakan, atau pangan; (2) memiliki keterkaitan langsung dengan pupuk organik atau pembenah tanah; (3) memuat aspek teknologi, mutu, model usaha, rantai pasok, atau adopsi petani; dan (4) menyediakan informasi bibliografis dan metodologis yang dapat diperiksa. Sumber yang hanya membahas pengelolaan sampah tanpa hubungan dengan agribisnis atau pemanfaatan pertanian tidak dijadikan dasar utama sintesis.

Ekstraksi informasi mencakup penulis dan tahun, jenis bahan baku, teknologi konversi, parameter mutu atau risiko, konteks pelaku usaha, serta implikasi ekonomi dan kelembagaan. Analisis dilakukan melalui empat tahap: membaca sumber secara

menyeluruh; mengodekan informasi sesuai fokus kajian; mengelompokkan kode menjadi tema; dan membandingkan pola antarsumber untuk membangun sintesis. Tema utama meliputi bahan baku, teknologi proses, jaminan mutu, model bisnis-rantai nilai, serta pemberdayaan dan adopsi petani.

Keterbatasan metode ini terletak pada variasi komoditas, teknologi, dan konteks geografis dalam sumber yang ditelaah. Karena itu, hasil tidak dimaksudkan sebagai estimasi kuantitatif kelayakan semua jenis limbah atau pupuk organik di Indonesia. Rekomendasi perlu diuji melalui penelitian lapangan pada lokasi, komoditas, dan skala usaha yang spesifik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemetaan Sumber Limbah dan Peluang Bahan Baku

Sintesis menunjukkan bahwa peluang agribisnis sirkular dimulai dari identifikasi sumber residu yang tersedia secara rutin dan dapat dipilah. Industri pengolahan buah dan sayuran menghasilkan kulit, biji, ampas, dan bahan afkir. Pengolahan serealia menghasilkan sekam, dedak, dan residu lainnya. Pasar dan jasa boga menghasilkan sisa sayuran serta makanan. Peternakan menyediakan kotoran ternak dan residu kandang. Setiap jenis bahan memiliki karakteristik berbeda sehingga tidak tepat menggabungkannya tanpa pemeriksaan.

Pemetaan bahan baku perlu mempertimbangkan volume harian atau musiman, jarak pengangkutan, kadar air, tingkat kontaminasi, biaya pengumpulan, dan kepastian pasokan. Bahan berkadar air tinggi dapat meningkatkan biaya transportasi dan mempercepat pembusukan. Oleh karena itu, pemilahan dan pengurangan kadar air awal di dekat sumber dapat meningkatkan efisiensi. Kesepakatan antara agroindustri, pengelola limbah, dan unit pengolahan perlu menjelaskan spesifikasi bahan yang diterima serta bahan yang harus ditolak.

Dari perspektif teknologi pangan, pengelolaan residu sebaiknya mengikuti hierarki pemanfaatan. Bahan yang masih layak untuk konsumsi atau dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan alternatif tidak serta-merta dialihkan menjadi pupuk. Pemanfaatan sebagai pakan atau bahan baku produk lain juga perlu dinilai dari aspek keamanan dan regulasi. Pupuk organik menjadi salah satu jalur pemanfaatan bagi residu yang memang tidak lagi sesuai untuk penggunaan bernilai lebih tinggi, tetapi masih aman untuk proses pengolahan.

4.2 Pemilihan Teknologi Konversi Limbah menjadi Pupuk Organik

Teknologi pengomposan relatif sesuai untuk bahan organik campuran yang dapat dikelola secara aerobik. Keberhasilan proses bergantung pada komposisi campuran, kelembapan, aerasi, suhu, dan waktu pematangan. Penggunaan aktivator atau mikroorganisme lokal dapat dipertimbangkan sebagai bagian dari proses, tetapi tidak menggantikan kebutuhan pengendalian kondisi dan pengujian hasil. Unit pengolahan perlu memiliki prosedur pembalikan atau aerasi, pengendalian lindi, serta pencatatan suhu dan lama proses.

Vermikompos dapat menjadi alternatif untuk skala tertentu dengan bahan yang sesuai dan kondisi lingkungan yang stabil. Biodigesti dapat dipilih ketika bahan baku memiliki karakteristik yang sesuai untuk proses anaerobik dan tersedia kebutuhan atau pasar biogas. Digestat yang dihasilkan tidak otomatis siap dipasarkan sebagai pupuk; bahan tersebut perlu dikelola dan diuji sesuai persyaratan. Pirolisis dapat menghasilkan biochar dari biomassa tertentu, tetapi memerlukan investasi, kontrol proses termal, dan evaluasi karakteristik produk.

Astuti et al. (2024) memberikan contoh pengujian kelayakan teknis pengolahan limbah makanan melalui pendekatan BSF. Mia dan Zzaman (2025) serta Nosova et al. (2025) memperlihatkan luasnya pilihan teknologi dan pentingnya mengelola risiko. Dengan demikian, pemilihan teknologi tidak seharusnya didasarkan pada tren, melainkan pada kecocokan bahan, kapasitas, kemampuan operator, biaya investasi dan operasi, serta standar mutu produk.

4.3 Pengendalian Mutu dan Keamanan Produk

Kualitas pupuk organik menjadi penghubung antara keberhasilan teknologi dan penerimaan pasar. Produsen perlu menerapkan sistem kendali sejak bahan masuk hingga produk dikemas. Tahap awal meliputi pemeriksaan sumber, pemilahan benda asing, dan pencatatan jenis bahan. Selama proses, pengelola mengendalikan kelembapan, suhu, aerasi, dan lama pengolahan. Pada tahap akhir, produk diperiksa kematangan, stabilitas, kadar air, kandungan hara, serta potensi cemaran sesuai standar yang berlaku.

Risiko kontaminan perlu mendapat perhatian khusus apabila bahan baku berasal dari limbah campuran. Logam berat, mikroplastik, residu bahan kimia, dan patogen dapat terbawa ke produk akhir apabila tidak dikendalikan. Mia dan Zzaman (2025) secara khusus mengidentifikasi risiko tersebut sebagai isu penting dalam adopsi pupuk yang berasal dari limbah pangan. Karena itu, sumber bahan yang tidak jelas atau tercampur limbah berbahaya sebaiknya tidak digunakan. Pengujian laboratorium dan ketertelusuran batch merupakan bagian dari perlindungan konsumen dan reputasi usaha.

Kepatuhan terhadap standar nasional dan ketentuan perizinan perlu diperiksa sebelum produk dipasarkan. SNI 7763:2024 tentang pupuk organik padat dapat menjadi salah satu rujukan untuk produk dalam kategori tersebut. Persyaratan aktual harus diverifikasi berdasarkan jenis produk, bentuk pupuk, klaim, dan regulasi yang berlaku. Penggunaan istilah 'organik' pada kemasan juga harus didukung informasi yang benar dan tidak menyesatkan.

4.4 Pembentukan Model Bisnis dan Nilai Tambah

Produksi pupuk organik berbasis limbah dapat dikembangkan sebagai unit usaha agroindustri sekunder. Sumber pendapatan utama dapat berasal dari penjualan pupuk padat, pupuk cair, atau produk pembenah tanah yang memenuhi ketentuan. Dalam model tertentu, pendapatan tambahan mungkin berasal dari jasa pengumpulan atau pengolahan residu, tetapi skema tersebut harus disepakati dengan pemasok dan tidak boleh menyebabkan insentif untuk menghasilkan limbah secara berlebihan.

Komponen biaya meliputi pengumpulan, transportasi, tenaga kerja, bahan tambahan, energi, lahan, peralatan, pengujian laboratorium, pengemasan, penyimpanan, promosi, dan distribusi. Analisis kelayakan perlu menggunakan kapasitas produksi realistis dan memperhitungkan variasi pasokan serta permintaan musiman. Oktavian et al. (2025) menunjukkan bahwa faktor infrastruktur-teknologi, pengelolaan SDM, pengadaan, dan logistik merupakan unsur penting dalam rancangan model bisnis pupuk organik berbasis limbah ternak.

Nilai tambah tidak hanya diukur dari selisih harga bahan baku dan harga pupuk. Nilai juga muncul melalui pengurangan biaya pembuangan, peningkatan reputasi lingkungan, penciptaan pekerjaan lokal, dan terbentuknya hubungan pasokan antara agroindustri dengan petani. Namun, manfaat tersebut perlu diukur secara transparan agar tidak menjadi klaim promosi yang tidak didukung data. Model bisnis sebaiknya memuat pembagian tanggung jawab, standar bahan baku, mekanisme harga, dan skema pengembalian produk kepada petani.

4.5 Peran Petani dan Kelembagaan dalam Rantai Nilai

Petani merupakan pengguna akhir sekaligus mitra strategis dalam sistem pupuk organik. Penerimaan petani dipengaruhi oleh pengalaman penggunaan, kemudahan aplikasi, ketersediaan produk, harga, kepercayaan terhadap mutu, dan bukti manfaat pada komoditas yang dibudidayakan. Nattassha et al. (2020) menemukan bahwa kurangnya interaksi produsen pupuk organik dengan petani dapat mengurangi minat pembelian. Temuan ini menunjukkan bahwa pemasaran pupuk organik memerlukan komunikasi dua arah, demonstrasi penggunaan, dan layanan konsultasi.

Kelompok tani, koperasi, BUMDes, dan unit usaha agroindustri dapat menjalankan fungsi pengumpulan bahan, pengolahan, pengujian awal, pengemasan, dan distribusi. Kelembagaan membantu menggabungkan volume bahan baku, membagi biaya investasi, serta meningkatkan posisi tawar. Namun, kelembagaan tidak otomatis menjamin keberhasilan. Perlu struktur tata kelola yang jelas, pencatatan keuangan, pembagian hasil, jadwal kerja, dan mekanisme penyelesaian masalah.

Pemberdayaan petani dapat diarahkan pada peningkatan kapasitas teknis dan kewirausahaan. Pelatihan dapat meliputi pemilahan limbah, pengomposan, pengendalian proses, pengemasan, pencatatan biaya, pengujian sederhana, serta pemasaran. Pendampingan sebaiknya tidak berhenti pada pelatihan produksi, tetapi mencakup pengembangan pasar dan evaluasi penggunaan produk di lahan.

4.6 Tantangan Implementasi dan Strategi Mitigasi

Tantangan pertama adalah ketidakseragaman bahan baku. Komposisi limbah berubah menurut musim, jenis komoditas, dan proses produksi. Mitigasinya adalah membuat spesifikasi penerimaan bahan, melakukan pemilahan, dan menyesuaikan formulasi campuran berdasarkan karakteristik bahan. Tantangan kedua adalah mutu dan keamanan. Mitigasinya berupa prosedur proses, pencatatan batch, pengujian berkala, dan penolakan bahan yang berisiko.

Tantangan ketiga adalah biaya logistik dan investasi. Bahan organik yang berat dan berkadar air tinggi membutuhkan pengaturan lokasi pengolahan yang dekat dengan sumber. Kemitraan, penggunaan fasilitas bersama, dan pengembangan unit skala komunitas dapat dipertimbangkan setelah analisis kelayakan. Tantangan keempat adalah penerimaan pasar. Produsen perlu melakukan uji pasar, demonstrasi aplikasi, komunikasi manfaat yang realistis, serta membangun layanan purna jual.

Tantangan kelima adalah koordinasi kelembagaan. Kemitraan antara agroindustri, kelompok tani, pemerintah daerah, perguruan tinggi, dan lembaga pengujian perlu memiliki tujuan serta pembagian peran yang jelas. Kolaborasi dapat mendukung transfer teknologi, akses laboratorium, pengembangan standar, pembiayaan, dan perluasan pasar. Strategi ini sejalan dengan temuan bahwa komunikasi produsen-petani dan penguatan sistem usaha menjadi penentu penting dalam pengembangan rantai nilai pupuk organik (Nattassha et al., 2020; Oktavian et al., 2025).

4.7 Kerangka Integrasi Agribisnis Sirkular

Berdasarkan sintesis, artikel ini mengusulkan kerangka 'Sumber Limbah–Pemilahan–Teknologi Konversi–Jaminan Mutu–Kelembagaan Usaha–Pasar Petani–Evaluasi Keberlanjutan'. Kerangka tersebut dimulai dari identifikasi sumber residu dan pemilahan bahan berdasarkan keamanan serta karakteristiknya. Bahan yang sesuai diproses menggunakan teknologi yang

tepat. Produk kemudian diuji dan dikendalikan mutunya sebelum dipasarkan melalui kelembagaan yang menghubungkan produsen dengan petani. Tahap evaluasi menilai kinerja ekonomi, sosial, teknologi, dan lingkungan.

Tahap sistem	Fokus pengelolaan	Indikator yang dapat ditelaah
Sumber limbah	Identifikasi pemasok dan volume residu	Kontinuitas, jenis bahan, lokasi, biaya pengumpulan
Pemilahan	Pemeriksaan kontaminan dan karakter bahan	Kebersihan, kadar air, konsistensi, ketertelusuran
Teknologi konversi	Kompos, vermikompos, biodigesti, atau pirolisis	Kesesuaian teknologi, biaya, stabilitas proses
Jaminan mutu	Pengujian dan pemenuhan standar produk	Kematangan, unsur hara, keamanan, konsistensi batch
Kelembagaan usaha	Kemitraan, tata kelola, dan pembiayaan	Pembagian peran, pencatatan, akses modal, kapasitas SDM
Pasar petani	Distribusi, edukasi, dan layanan pengguna	Minat beli, kepuasan, penggunaan ulang, jangkauan pasar
Keberlanjutan	Evaluasi dampak ekonomi-sosial-lingkungan	Nilai tambah, pekerjaan, pengurangan residu, efisiensi sumber daya

Tabel 1. Kerangka konseptual integrasi limbah agroindustri menjadi pupuk organik dalam sistem agribisnis sirkular.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pemanfaatan limbah agroindustri dan sisa pengolahan pangan menjadi pupuk organik memiliki peluang untuk memperkuat agribisnis berkelanjutan melalui pemulihan sumber daya, penciptaan produk bernilai tambah, dan pengembangan hubungan ekonomi antara agroindustri dengan petani. Teknologi yang dapat dipertimbangkan mencakup pengomposan, vermikompos, biodigesti, dan pirolisis. Namun, pemilihan teknologi harus didasarkan pada karakteristik bahan baku, skala usaha, kemampuan operator, biaya, serta kebutuhan pengguna.

Keberhasilan usaha tidak cukup diukur dari kemampuan mengubah limbah menjadi produk. Mutu dan keamanan pupuk, kepatuhan terhadap standar, konsistensi pasokan, biaya logistik, komunikasi dengan petani, dan kelembagaan pemasaran merupakan faktor yang saling terkait. Limbah yang tidak terpilah atau berpotensi mengandung kontaminan tidak boleh langsung diproses tanpa pemeriksaan. Setiap produk perlu melalui pengendalian proses dan pengujian yang sesuai sebelum digunakan atau dipasarkan.

Disarankan agar pelaku agroindustri dan kelompok tani memulai pengembangan melalui pemetaan sumber limbah, pemilahan, uji coba skala kecil, dan pengujian mutu. Pemerintah daerah, perguruan tinggi, dan lembaga pendamping dapat memfasilitasi pelatihan, laboratorium, sertifikasi, pembiayaan, dan akses pasar. Koperasi atau BUMDes dapat dipertimbangkan sebagai pengelola unit usaha bersama apabila tersedia pasokan dan permintaan yang memadai. Bagi peneliti, diperlukan studi lapangan untuk menilai kelayakan finansial, dampak lingkungan, penerimaan petani, dan pembagian nilai tambah pada komoditas serta wilayah tertentu.

Keterbatasan artikel ini adalah penggunaan telaah literatur dan dokumen sekunder sehingga belum menggambarkan pengalaman langsung pelaku usaha pada lokasi tertentu. Oleh karena itu, kerangka yang diusulkan merupakan sintesis konseptual dan belum dapat dinyatakan sebagai model bisnis yang telah teruji secara empiris.

6. PENELITIAN LANJUTAN

Penelitian berikutnya disarankan menggunakan studi kasus kualitatif pada klaster agroindustri yang menghasilkan residu organik secara rutin, misalnya pengolahan buah, sayuran, kopi, kelapa, tapioka, atau industri pangan lokal. Informan dapat mencakup pengelola agroindustri, kelompok tani, produsen pupuk, distributor, penyuluh, pemerintah daerah, dan laboratorium pengujian. Data dapat dikumpulkan melalui wawancara mendalam, observasi proses pengolahan, serta analisis dokumen biaya dan penjualan.

Fokus penelitian dapat diarahkan pada proses pemilahan bahan, pemilihan teknologi, pengendalian mutu, biaya produksi, kesediaan petani membeli, dan pola kemitraan. Penelitian juga dapat membandingkan unit pengolahan berbasis komunitas dengan unit usaha komersial untuk memahami skala yang paling sesuai. Pendekatan mixed methods dapat digunakan pada tahap berikutnya dengan menggabungkan wawancara, analisis kelayakan finansial, pengujian laboratorium, dan pengukuran dampak lingkungan.

REFERENCES

Astuti, U. P., Setiani, V., Putri, A. T., Hayati, D. Z., Fadilla, L. N., Aviantari, M. D., & Setyawati, E. E. P. (2024). Technical feasibility analysis of processing food waste into organic fertilizer with Black Soldier Fly composting method. Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan, 21(3), 747–758. https://doi.org/10.14710/presipitasi.v21i3.747-758

Mia, M. S., & Zzaman, W. (2025). Food waste-derived organic fertilizers: Critical insights, agronomic impacts, and pathways for sustainable adoption. International Journal of Food Science, 2025, Article 1551054. https://doi.org/10.1155/ijfo/1551054

Nattassha, R., Handayati, Y., Simatupang, T. M., & Siallagan, M. (2020). Understanding circular economy implementation in the agri-food supply chain: The case of an Indonesian organic fertiliser producer. Agriculture & Food Security, 9, Article 10. https://doi.org/10.1186/s40066-020-00264-8

Nosova, A., Samuilova, E., Olekhnovich, R., Fokina, M., et al. (2025). Food wastes as valuable resources producing agricultural fertilizers: A comprehensive review. Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences. https://doi.org/10.1007/s43994-025-00266-x

Oktavian, R., Mulatsih, S., & Supriyanto. (2025). Designing a sustainable business model for cattle manure-based organic fertilizer. Indonesian Interdisciplinary Journal of Sharia Economics, 8(2). https://doi.org/10.31538/iijse.v8i2.6835

Yunindanova, M. B., & Adillah, A. (2026). Evaluating organic fertilizer production potential from MBG waste in school environmental management. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, 31(4). https://doi.org/10.18343/jipi.31.4.744