Transformasi Limbah Hasil Pertanian Menjadi Produk Pupuk Organik Bernilai Ekonomi: Perspektif Ekonomi Sirkular dan Inovasi Agroindustri Berkelanjutan

Josuandy Simanjuntak

Sekolah Tinggi Ilmu Manajemen Sukma

ABSTRAK

Limbah hasil pertanian dan hasil samping agroindustri sering dipandang sebagai residu yang harus dibuang, padahal sebagian di antaranya mengandung bahan organik dan unsur hara yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk. Pemanfaatan tersebut relevan dengan penguatan agribisnis karena dapat menciptakan sumber pendapatan baru, mengurangi biaya pengelolaan limbah, serta mendukung perbaikan kualitas tanah. Artikel ini bertujuan menganalisis peluang dan tantangan transformasi limbah hasil pertanian menjadi produk pupuk organik melalui perspektif ekonomi sirkular dan inovasi agroindustri berkelanjutan. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif melalui kajian literatur terarah dan sintesis tematik terhadap publikasi ilmiah mengenai pemulihan hara, pengomposan, pupuk hayati, pupuk organik cair, biochar, pupuk organomineral, dan rantai nilai agribisnis. Analisis dikelompokkan ke dalam tema karakteristik bahan baku, pilihan teknologi, mutu dan keamanan produk, kelayakan ekonomi, kelembagaan, serta akses pasar. Hasil sintesis menunjukkan bahwa residu tanaman, jerami, sekam, tandan kosong kelapa sawit, kulit buah, ampas pertanian, dan limbah organik terpilah berpotensi diolah menjadi kompos, vermikompos, pupuk organik cair, pupuk hayati, digestat, biochar, atau pupuk organomineral. Namun, potensi bahan tidak otomatis menghasilkan pupuk bermutu. Kualitas produk ditentukan oleh komposisi bahan, proses dekomposisi atau fermentasi, kematangan, kandungan hara, stabilitas, cemaran, dan kesesuaian dengan standar yang berlaku. Keberhasilan usaha juga bergantung pada kontinuitas pasokan, teknologi yang sesuai, biaya produksi, pembuktian manfaat agronomis, serta kepercayaan petani. Artikel ini menawarkan kerangka "Pemetaan Residu–Karakterisasi Bahan–Pengolahan dan Pengujian Mutu–Kelayakan Usaha–Kemitraan Pasar" sebagai dasar pengembangan agroindustri pupuk berbasis ekonomi sirkular. Kajian ini menegaskan bahwa limbah pertanian dapat menjadi sumber nilai tambah apabila diolah secara aman, terstandar, dan sesuai kebutuhan pertanian.

Kata Kunci: limbah hasil pertanian; pupuk organik; pupuk hayati; ekonomi sirkular; valorisasi; agribisnis

1. PENDAHULUAN

Sektor agribisnis menghasilkan produk utama sekaligus hasil samping dari kegiatan budidaya, panen, sortasi, penyimpanan, dan pengolahan. Jerami, sekam, batang dan daun tanaman, kulit buah, ampas pengolahan, tandan kosong kelapa sawit, serta kotoran ternak merupakan contoh bahan organik yang dalam kondisi tertentu dapat dimanfaatkan kembali. Sebagian bahan tersebut mengandung karbon organik dan unsur hara, seperti nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, serta unsur mikro. Karakteristiknya berbeda menurut komoditas, lokasi, musim, dan cara penanganan sehingga pemanfaatannya perlu didasarkan pada identifikasi bahan dan tujuan produk.

Model produksi linear yang mengambil bahan baku, mengolah, kemudian membuang residu dapat meningkatkan tekanan terhadap lingkungan dan menyebabkan hilangnya sumber daya. Ekonomi sirkular menawarkan pendekatan untuk mempertahankan nilai material melalui pengurangan limbah, pemanfaatan kembali, dan pemulihan sumber daya. Dalam agribisnis, salah satu penerapannya adalah mengembalikan bahan organik dan unsur hara ke sistem produksi melalui pengomposan, vermikompos, fermentasi, pencernaan anaerob, atau teknologi termal yang sesuai. Dengan demikian, residu tidak hanya dipandang sebagai masalah pembuangan, tetapi juga sebagai sumber bahan baku bagi industri pupuk dan pembenah tanah.

Transformasi limbah hasil pertanian menjadi pupuk organik merupakan salah satu bentuk valorisasi yang berpotensi mendukung pertanian berkelanjutan. Chojnacka (2023) menjelaskan bahwa residu biorefinery dan limbah organik dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan pupuk organik maupun organomineral, tetapi kandungan hara total tidak selalu menunjukkan ketersediaan hara bagi tanaman. Bahan yang belum terolah juga dapat mengandung senyawa penghambat pertumbuhan atau memiliki karakteristik yang belum stabil. Oleh sebab itu, proses pengolahan dan pengujian mutu perlu menjadi bagian utama pengembangan produk.

Teknologi yang dapat digunakan meliputi pengomposan aerob, vermikomposting, fermentasi untuk pupuk organik cair, pencernaan anaerob yang menghasilkan digestat, pirolisis untuk biochar, serta pencampuran bahan organik dan mineral untuk menghasilkan pupuk organomineral. Xie et al. (2023) menempatkan pengomposan sebagai teknologi

penting untuk menstabilkan limbah organik pertanian dan menghasilkan pupuk. Bouhia et al. (2022) juga menguraikan perkembangan teknologi konversi limbah menjadi pupuk organomineral. Pemilihan teknologi harus mempertimbangkan jenis bahan, skala produksi, biaya, mutu produk, dan dampak lingkungan.

Di Indonesia, pemanfaatan residu pertanian menjadi pupuk memiliki relevansi dengan ketersediaan bahan organik lokal dan kebutuhan pengelolaan tanah. Kajian Dewi et al. (2025) membahas peran pupuk organik dalam konteks pertanian berkelanjutan di Indonesia. Penelitian Siahaan et al. (2023) juga mengkaji karakteristik kimia limbah organik sebagai bahan potensial pupuk organik cair. Meskipun demikian, produk pupuk yang dihasilkan tidak dapat langsung diasumsikan memenuhi standar atau efektif bagi semua tanaman. Karakterisasi, pengujian mutu, dan uji aplikasi tetap diperlukan.

Dari perspektif agribisnis, transformasi residu menjadi pupuk berkaitan dengan pembentukan rantai nilai baru. Petani, kelompok tani, pengumpul residu, pengolah, pemasok aktivator dan peralatan, laboratorium, distributor, serta kios sarana produksi pertanian dapat terlibat dalam ekosistem usaha. Aziz dan Ariyanti (2026), dalam kajian mengenai tandan kosong kelapa sawit, menggambarkan potensi pengomposan residu perkebunan sebagai sumber pupuk organik dan peluang ekonomi. Oleh karena itu, kajian perlu menghubungkan teknologi pengolahan dengan organisasi pasokan, mutu produk, biaya, dan kebutuhan petani.

Berdasarkan latar belakang tersebut, artikel ini diarahkan untuk menjawab tiga pertanyaan: (1) jenis limbah hasil pertanian apa yang berpotensi diolah menjadi produk pupuk; (2) faktor apa yang menentukan mutu, keamanan, kelayakan, dan keberlanjutan teknologi pengolahannya; serta (3) bagaimana integrasi rantai nilai dapat mendorong penciptaan nilai ekonomi bagi pelaku agribisnis. Tujuan artikel adalah menyusun sintesis kualitatif mengenai transformasi limbah hasil pertanian menjadi produk pupuk bernilai ekonomi serta merumuskan kerangka pengembangan agroindustri pupuk berbasis ekonomi sirkular.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Ekonomi Sirkular dalam Agribisnis

Ekonomi sirkular merupakan pendekatan sistem produksi yang berupaya mempertahankan nilai sumber daya, mengurangi pemborosan, dan meminimalkan residu yang berakhir sebagai limbah. Dalam agribisnis, prinsip ini dapat diterapkan melalui pemanfaatan residu tanaman dan hasil samping agroindustri untuk menghasilkan kompos, pupuk organik cair, pupuk hayati, digestat, biochar, atau pupuk organomineral. Pendekatan sirkular tidak sekadar memindahkan limbah dari satu tempat ke tempat lain, tetapi memastikan bahan diolah menjadi produk yang aman, stabil, bermanfaat, dan memiliki pasar.

Alonso-Muñoz et al. (2022) menunjukkan bahwa praktik ekonomi sirkular pada pengelolaan limbah pangan memerlukan kolaborasi berbagai pemangku kepentingan, dukungan institusi, serta indikator untuk mengevaluasi pencapaian. Ouro-Salim dan Guarnieri (2022) juga menempatkan pengelolaan limbah dalam rantai pasok agrifood sebagai isu manajerial dan ekonomi, bukan hanya persoalan teknis.

2.2 Limbah Hasil Pertanian dan Konsep Valoriasi

Limbah hasil pertanian dalam artikel ini merujuk pada residu tanaman dan hasil samping pengolahan yang tidak menjadi produk utama pada proses awal. Bahan tersebut mencakup jerami, sekam, tongkol jagung, batang dan daun, kulit buah, ampas pengolahan, tandan kosong kelapa sawit, serta bahan organik lain yang dapat dikumpulkan secara terpisah. Kotoran ternak dan digestat dapat dibahas sebagai bahan pendamping dalam formulasi tertentu. Setiap bahan memiliki kadar air, rasio karbon-nitrogen, kandungan hara, tingkat biodegradabilitas, dan potensi cemaran yang berbeda.

Valorisasi adalah proses meningkatkan nilai guna dan nilai ekonomi bahan sisa melalui pemanfaatan atau pengolahan. Dalam konteks pupuk, valorisasi dapat menghasilkan kompos, vermikompos, pupuk organik cair, pupuk hayati, digestat, biochar, maupun pupuk organomineral. Chojnacka (2023) menekankan bahwa residu biorefinery dapat menjadi bahan baku pupuk, tetapi diperlukan pengolahan dan penyesuaian komposisi agar produk memiliki sifat agronomis yang dapat dibuktikan. Dengan demikian, kandungan bahan organik atau hara saja belum cukup untuk menyatakan suatu produk layak dipasarkan sebagai pupuk.

2.3 Teknologi Pengolahan dan Mutu Produk Pupuk

Teknologi pengolahan mencakup metode biologis, mekanis, dan termal yang dirancang untuk menstabilkan bahan organik atau mengubah bentuk serta ketersediaan unsur hara. Pengomposan aerob membutuhkan pengaturan

kelembapan, aerasi, ukuran bahan, rasio karbon-nitrogen, dan suhu. Vermikomposting memanfaatkan aktivitas cacing untuk mengolah bahan organik yang sesuai. Fermentasi pupuk organik cair memerlukan pengendalian bahan, mikroorganisme, waktu, dan kondisi proses. Pirolisis dapat menghasilkan biochar dengan karakteristik yang dipengaruhi suhu dan bahan baku. Pemilihan proses harus sesuai dengan produk yang dituju.

Mutu pupuk perlu dinilai berdasarkan kategori produknya. Parameter yang relevan dapat meliputi kadar air, pH, bahan organik, karbon organik, unsur hara makro dan mikro, rasio C/N, kematangan atau stabilitas, kepadatan mikroba fungsional untuk pupuk hayati, serta cemaran logam berat atau patogen sesuai ketentuan yang berlaku. Palansooriya et al. (2023) menegaskan bahwa efektivitas bahan pembenah tanah berbasis limbah dipengaruhi oleh jenis bahan, metode konversi, dosis aplikasi, jenis tanah, dan tanaman. Karena itu, klaim mutu dan manfaat agronomis perlu didukung pengujian, bukan hanya berdasarkan bahan baku.

2.4 Nilai Tambah dan Model Bisnis Agroindustri

Nilai tambah menggambarkan peningkatan nilai ekonomi yang dihasilkan melalui proses produksi atau pengolahan setelah memperhitungkan biaya input. Dalam valorisasi residu menjadi pupuk, analisis perlu memasukkan biaya pengumpulan, pemilahan, pencacahan, pencampuran, aktivator atau inokulan, tenaga kerja, lahan dan wadah pengolahan, pengendalian kelembapan, pengujian laboratorium, pengemasan, penyimpanan, serta pemasaran. Bahan baku yang murah belum tentu menghasilkan keuntungan apabila prosesnya lama, rendemen rendah, atau biaya distribusi tinggi.

Model bisnis perlu menjelaskan sumber residu, proses pengolahan, spesifikasi pupuk, pengguna sasaran, saluran distribusi, struktur biaya, dan mitra utama. Bouhia et al. (2022) menunjukkan bahwa pupuk organomineral dapat dikembangkan melalui pengolahan bersama matriks organik dan mineral, tetapi penerimaan pasar dan aksesibilitas produk tetap menjadi tantangan. Dalam konteks UMKM, kemitraan dengan kelompok tani, koperasi, perguruan tinggi, laboratorium, dan kios pertanian dapat membantu mengurangi hambatan pengembangan usaha.

3. METODE PENELITIAN

Artikel ini menggunakan pendekatan kualitatif melalui kajian literatur terarah (qualitative structured literature review) dengan sintesis tematik. Pendekatan ini dipilih karena tujuan kajian adalah memahami peluang, tantangan, dan mekanisme pengembangan valorisasi limbah hasil pertanian menjadi produk pupuk dalam perspektif agribisnis dan teknologi pengolahan. Artikel ini bukan penelitian lapangan dan tidak menyajikan hasil wawancara, observasi, pengujian laboratorium, atau pengukuran nilai tambah primer.

Penelusuran literatur diarahkan pada publikasi ilmiah yang membahas ekonomi sirkular, agricultural waste valorization, organic fertilizer, composting, vermicomposting, biofertilizer, digestate, biochar, organo-mineral fertilizer, nutrient recovery, dan rantai nilai agribisnis. Kata kunci digunakan dalam bahasa Inggris dan Indonesia, antara lain “agricultural waste valorization”, “organic fertilizer from agricultural residues”, “composting”, “biofertilizer”, “circular economy”, “nutrient recovery”, dan “limbah pertanian menjadi pupuk”. Sumber yang diprioritaskan adalah artikel jurnal dan publikasi ilmiah yang memiliki informasi bibliografis serta isi yang dapat ditelusuri.

Kriteria inklusi meliputi: (1) publikasi relevan dengan ekonomi sirkular atau valorisasi residu pertanian dan limbah organik; (2) membahas teknologi produksi pupuk, karakteristik bahan, mutu, manfaat agronomis, aspek ekonomi, kelembagaan, atau rantai nilai; (3) memiliki informasi yang cukup untuk mengidentifikasi fokus dan kontribusinya; dan (4) relevan dengan pengembangan agroindustri pupuk dan usaha pertanian. Literatur yang tidak berkaitan dengan pemanfaatan residu organik atau produk pembenah tanah tidak menjadi fokus utama.

Analisis dilakukan melalui empat tahap, yaitu membaca tujuan dan temuan publikasi, mengodekan informasi berdasarkan tema, mengelompokkan kode menjadi kategori, dan menyusun interpretasi lintas tema. Tema analisis meliputi karakteristik residu, pilihan teknologi, mutu dan keamanan produk, kelayakan ekonomi, kelembagaan, serta akses pasar. Sintesis disajikan secara naratif-tematik. Karena tidak dilakukan pencarian sistematis yang terdokumentasi secara menyeluruh dan penilaian risiko bias formal, kajian ini tidak diklaim sebagai systematic review atau meta-analisis.

Komponen	Kriteria/Prosedur
Pendekatan	Kajian literatur kualitatif dengan sintesis tematik

Fokus	Valorisasi limbah hasil pertanian menjadi produk pupuk bernilai ekonomi
Sumber	Artikel jurnal dan publikasi ilmiah yang dapat ditelusuri
Kata kunci	Ekonomi sirkular, limbah pertanian, pupuk organik, pengomposan, pemulihan hara
Unit analisis	Bahan baku, teknologi, mutu pupuk, manfaat agronomis, nilai tambah, kelembagaan, pasar
Teknik analisis	Pengodean tematik, kategorisasi, dan sintesis naratif
Batasan	Tidak menggunakan data primer dan tidak melakukan pengujian laboratorium atau uji aplikasi

Tabel 1. Prosedur dan fokus analisis literatur

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Ragam Limbah Hasil Pertanian dan Peluang Pengembangan Produk Pupuk

Sintesis literatur memperlihatkan bahwa residu pertanian memiliki karakteristik yang beragam sehingga tidak dapat diperlakukan sebagai satu kelompok bahan yang seragam. Jerami, sekam, tongkol jagung, batang dan daun, kulit buah, ampas pengolahan, serta tandan kosong kelapa sawit memiliki kadar air, kandungan karbon, unsur hara, dan tingkat pelapukan yang berbeda. Sebagian bahan kaya karbon dan memerlukan pencampuran dengan bahan yang lebih kaya nitrogen, sedangkan bahan lain dapat digunakan sebagai komponen campuran atau sumber bahan organik. Penentuan jalur pemanfaatan harus dimulai dari identifikasi sumber, komposisi, dan kondisi bahan.

Jerami dan residu tanaman dapat dimanfaatkan sebagai bahan kompos setelah pencacahan dan pengaturan kelembapan serta keseimbangan karbon-nitrogen. Sekam dan biomassa berkayu dapat digunakan sebagai bahan pembenah tanah atau diolah menjadi biochar melalui proses termal terkendali. Kulit buah dan ampas organik dapat dikaji sebagai bahan kompos atau pupuk organik cair setelah pemilahan dan pengendalian proses. Tandan kosong kelapa sawit merupakan salah satu residu perkebunan yang dapat dikomposkan. Siahaan et al. (2023) mengkaji potensi sejumlah limbah organik sebagai bahan pupuk organik cair, sedangkan Aziz dan Ariyanti (2026) membahas potensi kompos dari tandan kosong kelapa sawit.

Palansooriya et al. (2023) menjelaskan bahwa bahan pembenah tanah yang berasal dari limbah dapat membantu memulihkan unsur hara dan memperbaiki sifat tanah, tetapi hasilnya dipengaruhi oleh bahan baku, teknologi konversi, dosis, tanah, dan jenis tanaman. Chojnacka (2023) juga menekankan bahwa residu perlu diolah dan disesuaikan komposisinya agar menjadi pupuk dengan karakter agronomis yang terukur. Oleh karena itu, peluang pemanfaatan perlu dipetakan berdasarkan karakteristik bahan dan spesifikasi pupuk yang dituju.

Jenis hasil samping	Peluang pemanfaatan	Prasyarat utama
Jerami dan residu tanaman	Kompos atau bahan organik pembenah tanah	Pencacahan, pengaturan kelembapan, rasio C/N, kematangan
Sekam dan biomassa berkayu	Biochar atau komponen campuran kompos	Proses termal terkendali, karakterisasi, pengujian mutu
Kulit buah dan limbah sayuran terpilah	Kompos, vermikompos, atau pupuk organik cair	Sortasi, formulasi, pengendalian fermentasi/dekomposisi
Tandan kosong kelapa sawit	Kompos atau pupuk organik berbasis residu perkebunan	Pencacahan, pengomposan, pematangan, pengujian hara
Ampas pertanian dan residu agroindustri	Kompos, digestat, atau bahan pupuk organomineral	Karakterisasi bahan, penyesuaian formulasi, kendali cemaran

Tabel 2. Contoh pemetaan hasil samping dan opsi pemanfaatan

4.2 Teknologi Pengolahan sebagai Pengungkit Nilai Tambah

Teknologi pengolahan berfungsi mengubah residu yang tidak memiliki pasar langsung menjadi produk pupuk atau pembenah tanah yang lebih stabil, mudah disimpan, dan dapat diaplikasikan. Tahapan umum dapat meliputi pengumpulan, sortasi, pencacahan, pencampuran bahan, pengaturan kadar air, pengomposan atau fermentasi, pematangan, pengayakan, pengujian mutu, dan pengemasan. Tidak semua tahapan diperlukan untuk setiap bahan. Rancangan proses harus disesuaikan dengan karakteristik bahan baku dan jenis produk yang dituju.

Pengomposan aerob memerlukan pengaturan aerasi, kelembapan, suhu, ukuran partikel, dan rasio karbon-nitrogen agar dekomposisi berlangsung secara terkendali. Xie et al. (2023) menguraikan bahwa proses pengomposan mengubah bahan organik dan fosfor serta memerlukan indikator untuk menilai kematangan kompos. Fermentasi pupuk organik cair membutuhkan bahan baku yang terpilah, wadah yang sesuai, pengendalian proses, dan pengujian hasil. Pirolisis untuk biochar memerlukan kendali suhu dan kondisi oksigen, sedangkan produksi pupuk organomineral memerlukan formulasi dan pencampuran yang terukur (Bouhia et al., 2022).

Untuk UMKM dan kelompok tani, teknologi sebaiknya dikembangkan secara bertahap. Peralatan awal dapat berupa pencacah, wadah atau area komposting, alat pengukur suhu dan pH, alat ukur kelembapan, ayakan, serta perlengkapan pengemasan. Peningkatan alat harus didasarkan pada kapasitas bahan baku, kebutuhan proses, standar mutu, dan permintaan petani. Pengadaan mesin tanpa perencanaan pasokan, operator, lahan, pengendalian proses, dan pasar berisiko menimbulkan aset menganggur.

4.3 Mutu, Keamanan, dan Standardisasi Produk Pupuk

Mutu dan keamanan pupuk merupakan prasyarat penting sebelum produk diaplikasikan atau dipasarkan. Bahan baku dapat membawa kontaminan fisik, kimia, atau biologis, termasuk residu pestisida, logam berat, patogen, atau benda asing, bergantung pada sumber dan penanganannya. Pengolah perlu menetapkan kriteria penerimaan bahan, melakukan pemilahan, mengendalikan proses, serta memastikan produk matang atau stabil sesuai karakteristik dan kategori pupuk.

Palansooriya et al. (2023) menekankan perlunya standar mutu untuk mengurangi risiko kontaminan pada bahan pembenah tanah berbasis limbah. Chojnacka (2023) juga menunjukkan bahwa kandungan hara dan ketersediaannya perlu diperhatikan dalam pengembangan pupuk dari residu. Implikasinya, pengujian dapat mencakup kadar air, pH, bahan organik, karbon organik, rasio C/N, unsur hara, kematangan, cemaran logam berat, dan parameter mikrobiologi sesuai kategori produk serta ketentuan yang berlaku.

Standardisasi dapat dimulai dengan prosedur operasional yang mencatat pemasok, jenis dan jumlah bahan, tanggal penerimaan, formulasi, kondisi proses, lama pengolahan, hasil pengujian, dan identitas batch. Dokumentasi membantu menjaga konsistensi serta menelusuri sumber masalah. Sebelum dipasarkan, produsen perlu memeriksa ketentuan pendaftaran, label, klaim, dan standar mutu pupuk yang berlaku melalui instansi berwenang. Klaim peningkatan hasil panen atau pengurangan pupuk kimia tidak boleh dibuat tanpa bukti uji yang relevan.

4.4 Kelayakan Ekonomi dan Penciptaan Nilai Tambah

Valorisasi residu berpotensi menciptakan sumber pendapatan tambahan, tetapi tidak otomatis menguntungkan. Bahan baku yang tersedia di sekitar lahan dapat tetap memerlukan biaya pengumpulan, pencacahan, transportasi, pencampuran, aktivator, tenaga kerja, area pengolahan, pengujian, penyimpanan, dan pengemasan. Proses pengomposan juga membutuhkan waktu dan ruang, sedangkan mutu bahan baku yang berubah-ubah dapat meningkatkan biaya pengendalian. Karena itu, analisis kelayakan perlu dimulai sejak pemilihan bahan dan produk.

Perhitungan nilai tambah dapat dilakukan dengan mengidentifikasi jumlah residu yang diolah, rendemen produk, harga jual, biaya bahan tambahan, tenaga kerja, energi, air, pengujian, kemasan, distribusi, serta biaya penyusutan peralatan dan lahan. Analisis perlu membandingkan beberapa pilihan teknologi dan skala produksi. Manfaat agronomis harus dinilai melalui uji aplikasi yang sesuai, sebab kandungan hara total tidak selalu sama dengan jumlah hara yang tersedia bagi tanaman.

Selain nilai ekonomi langsung, pemanfaatan residu dapat mengurangi volume limbah yang dibuang, mengembalikan bahan organik ke tanah, dan menciptakan peluang kerja lokal. Indikator lingkungan dapat meliputi jumlah residu yang diolah, proporsi bahan baku yang berhasil dimanfaatkan, konsumsi energi dan air per unit pupuk, serta perubahan kebutuhan input eksternal yang dapat dibuktikan. Palansooriya et al. (2023) mengaitkan pemanfaatan bahan pembenah tanah berbasis limbah dengan pemulihan hara dan perbaikan kualitas tanah, meskipun dampaknya bergantung pada kondisi aplikasi.

4.5 Rantai Nilai dan Kelembagaan Agroindustri

Rantai nilai pupuk berbasis residu melibatkan pemasok bahan, pengumpul, kelompok tani, pengolah, penyedia aktivator atau inokulan, pemasok peralatan, laboratorium, distributor, kios pertanian, dan petani pengguna. Petani atau pengolah primer dapat menyediakan residu terpilah, koperasi dapat mengorganisasi pengumpulan, UMKM dapat mengolah bahan, sedangkan perguruan tinggi dan laboratorium dapat mendukung karakterisasi, pengujian mutu, serta uji aplikasi.

Bouhia et al. (2022) menunjukkan bahwa pengembangan pupuk organomineral membutuhkan integrasi bahan organik dan mineral serta perhatian terhadap teknologi dan penerimaan pasar. Dengan demikian, kelembagaan perlu membangun kesepakatan tentang standar bahan, jadwal pengumpulan, harga, pembagian biaya, tanggung jawab mutu, dan pengelolaan residu proses. Tanpa kesepakatan tersebut, pengolah dapat mengalami ketidakpastian pasokan dan pemasok tidak memperoleh insentif yang memadai.

Fasilitas pengolahan bersama dapat menjadi alternatif bagi kelompok tani dan UMKM yang belum mampu berinvestasi secara mandiri. Akan tetapi, fasilitas kolektif memerlukan tata kelola penggunaan, biaya operasional, jadwal, pemeliharaan, pengendalian mutu, dan pembagian tanggung jawab. Model kemitraan yang baik perlu memastikan bahwa manfaat ekonomi tidak hanya diterima pengolah akhir, tetapi juga memberi insentif yang wajar kepada pemasok residu.

4.6 Penerimaan Petani dan Strategi Pemasaran

Pupuk berbasis residu perlu diterima petani berdasarkan mutu, konsistensi, kemudahan aplikasi, harga, ketersediaan, dan bukti manfaat pada tanaman. Klaim “organik”, “hayati”, atau “ramah lingkungan” harus sesuai kategori dan karakteristik produk serta didukung dokumen atau pengujian yang relevan. Kepercayaan petani tidak cukup dibangun melalui promosi, tetapi memerlukan informasi spesifikasi produk, petunjuk penggunaan, dan hasil uji yang dapat dipertanggungjawabkan.

Strategi pemasaran dapat menonjolkan penggunaan bahan baku lokal, pengurangan residu, dukungan terhadap ekonomi sirkular, dan kemitraan dengan kelompok tani, sepanjang klaim tersebut dapat dibuktikan. UMKM dapat memanfaatkan demonstrasi plot, penyuluhan, kios sarana pertanian, koperasi, dan media digital untuk menjangkau pengguna. Komunikasi pemasaran harus menyampaikan komposisi, dosis, cara aplikasi, penyimpanan, dan batas penggunaan secara jelas.

4.7 Hambatan Implementasi dan Strategi Penguatan

Berdasarkan sintesis, hambatan utama valorisasi residu menjadi pupuk dapat dikelompokkan menjadi enam dimensi. Pertama, variasi karakteristik bahan dan pasokan yang tidak stabil. Kedua, keterbatasan teknologi, lahan, peralatan, dan kemampuan operator. Ketiga, ketidakpastian mutu, kematangan, serta potensi kontaminan. Keempat, biaya produksi dan pembuktian manfaat agronomis. Kelima, lemahnya koordinasi antaraktor rantai nilai. Keenam, kepercayaan petani, standardisasi, dan akses pasar.

Dimensi hambatan	Permasalahan	Strategi penguatan
Bahan baku	Pasokan tidak stabil dan karakteristik bervariasi	Pemetaan sumber, pemilahan, standar penerimaan, kemitraan
Teknologi	Keterbatasan alat, lahan, dan kemampuan operator	Uji proses skala kecil, teknologi tepat guna, pelatihan
Mutu produk	Kematangan, kandungan hara, dan stabilitas tidak konsisten	Pengujian laboratorium, SOP, pencatatan batch, standardisasi
Keamanan	Potensi patogen, logam berat, atau kontaminan lain	Penilaian risiko, pengendalian proses, uji sesuai kategori produk
Ekonomi usaha	Biaya pengumpulan dan pengolahan belum dihitung	Analisis biaya penuh, rendemen, harga, dan titik impas
Pasar	Kepercayaan dan penerimaan petani belum terbentuk	Demonstrasi plot, bukti mutu, kemitraan kelompok tani dan kios

Tabel 3. Hambatan dan strategi penguatan valorisasi residu pertanian

Strategi penguatan perlu dimulai dari pemetaan jenis, volume, musim, dan lokasi residu yang tersedia. Tahap berikutnya adalah karakterisasi bahan, penentuan formulasi, pemilihan teknologi, uji proses skala kecil, serta pengujian mutu dan kematangan produk. Setelah itu, produsen perlu menghitung biaya, melakukan uji aplikasi pada tanaman atau lahan yang relevan, dan membangun kemitraan dengan kelompok tani serta distributor. Peningkatan kapasitas sebaiknya dilakukan setelah mutu, manfaat, dan kelayakan usaha dapat ditunjukkan.

4.8 Kerangka Pengembangan Agroindustri Berbasis Ekonomi Sirkular

Berdasarkan sintesis literatur, artikel ini mengusulkan kerangka "Pemetaan Residu–Karakterisasi Bahan–Pengolahan dan Pengujian Mutu–Kelayakan Usaha–Kemitraan Pasar". Kerangka ini merupakan hasil konseptualisasi literatur dan belum diuji sebagai model intervensi lapangan. Pemetaan residu bertujuan mengetahui volume, musim, sumber, dan kondisi penanganan bahan. Karakterisasi menentukan kandungan bahan organik, unsur hara, kadar air, serta potensi kontaminan. Tahap pengolahan memilih teknologi yang sesuai, diikuti pengujian mutu dan uji aplikasi. Kelayakan usaha menilai struktur biaya dan pasokan, sedangkan kemitraan pasar memastikan produk sesuai kebutuhan petani dan saluran distribusi.

Tahap kerangka	Pertanyaan utama	Indikator yang dapat diperiksa
Pemetaan residu	Apa jenis, jumlah, dan sumber residu yang tersedia?	Volume, musim, lokasi, kontinuitas, kondisi bahan
Karakterisasi bahan	Bagaimana komposisi dan potensi bahan untuk pupuk?	Kadar air, bahan organik, rasio C/N, unsur hara, potensi cemaran
Pengolahan dan pengujian mutu	Teknologi dan parameter mutu apa yang diperlukan?	Suhu/waktu proses, kematangan, pH, kadar air, kandungan hara, stabilitas
Kelayakan usaha	Apakah produksi pupuk menghasilkan nilai tambah?	Biaya penuh, rendemen, harga jual, margin, kebutuhan investasi
Kemitraan pasar	Siapa pengguna dan bagaimana produk disalurkan?	Uji aplikasi, penerimaan petani, saluran distribusi, pembelian ulang

Tabel 4. Kerangka pengembangan agroindustri berbasis ekonomi sirkular

Kerangka tersebut memperlihatkan bahwa transformasi residu menjadi pupuk bukan proses yang dimulai dari pembelian mesin, melainkan dari pemahaman sumber bahan, karakteristik, dan kebutuhan pengguna. Bahan yang belum stabil atau berisiko tercemar perlu melalui pengolahan dan pengujian sebelum digunakan. Pilihan teknologi seperti kompos, vermikompos, pupuk organik cair, pupuk hayati, digestat, biochar, atau pupuk organomineral harus ditentukan berdasarkan kesesuaian bahan dan mutu yang dapat dicapai. Ekonomi sirkular tidak berarti seluruh residu harus dipaksakan menjadi satu jenis pupuk, tetapi memilih jalur pemanfaatan yang paling aman, bernilai, dan berkelanjutan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kajian ini menunjukkan bahwa limbah hasil pertanian dan hasil samping agroindustri memiliki peluang untuk dikembangkan menjadi produk pupuk melalui pendekatan valorisasi dan ekonomi sirkular. Peluang tersebut mencakup kompos, vermikompos, pupuk organik cair, pupuk hayati, digestat, biochar, dan pupuk organomineral. Namun, tidak semua residu sesuai untuk setiap jenis produk. Komposisi bahan, ketersediaan unsur hara, kematangan, stabilitas, dan potensi kontaminan harus menjadi dasar pemilihan proses dan penggunaan.

Keberhasilan valorisasi ditentukan oleh keterpaduan teknologi pengolahan, pengendalian mutu, pengujian manfaat agronomis, analisis biaya, kesinambungan pasokan, kelembagaan, dan penerimaan petani. Teknologi yang secara teknis mampu mengolah residu belum tentu menghasilkan usaha yang layak apabila biaya pengumpulan tinggi, proses terlalu lama, mutu tidak konsisten, atau pasar belum terbentuk. Karena itu, pendekatan bertahap mulai dari pemetaan residu, karakterisasi bahan, uji proses, pengujian mutu, analisis kelayakan, hingga pengembangan pasar lebih tepat bagi UMKM dan agroindustri lokal.

Pelaku usaha disarankan memulai dari residu yang sumber dan karakteristiknya dapat ditelusuri, melakukan pengujian mutu sesuai kategori pupuk, serta menghitung seluruh biaya sebelum meningkatkan kapasitas produksi.

Kelompok tani dan koperasi dapat berperan dalam pengumpulan dan standardisasi bahan. Pemerintah daerah dan perguruan tinggi dapat mendukung pemetaan potensi, pelatihan, pengujian laboratorium, uji aplikasi, pengembangan teknologi tepat guna, dan penguatan akses pasar. Penelitian ini terbatas pada sintesis literatur dan tidak menghasilkan data primer, uji laboratorium, atau estimasi nilai tambah baru. Oleh karena itu, kesimpulan dipahami sebagai kerangka konseptual untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut.

6. PENELITIAN LANJUTAN

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan studi kasus kualitatif pada sentra komoditas tertentu, misalnya padi, jagung, kelapa sawit, kopi, kakao, singkong, kelapa, atau hortikultura. Data dapat dikumpulkan melalui wawancara mendalam dengan petani, pengolah, pemasok residu, distributor pupuk, kelompok tani, dan pemerintah daerah; observasi proses pengumpulan serta pengolahan; dan analisis dokumen biaya. Penelitian tersebut dapat menjelaskan bagaimana keputusan pemanfaatan residu dibentuk, bagaimana manfaat ekonomi dibagi, serta hambatan apa yang dialami pelaku.

Penelitian lanjutan juga dapat menggabungkan pendekatan kualitatif dengan pengujian laboratorium dan uji aplikasi. Pengujian laboratorium diperlukan untuk memeriksa kandungan hara, bahan organik, kematangan, stabilitas, dan potensi kontaminan. Uji aplikasi dapat menilai respons tanaman dan tanah pada dosis serta kondisi yang terkontrol. Analisis ekonomi dapat menilai rendemen, biaya penuh, harga jual, margin, dan kelayakan investasi. Perbandingan beberapa komoditas dan wilayah akan membantu mengidentifikasi kondisi yang membuat produksi pupuk berbasis residu layak dikembangkan.

REFERENCES

Bouhia, Y., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., El Boukhari, M. E. M., Mphatso, C., Zeroual, Y., & Lyamlouli, K. (2022). Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: Current technological trends and prospects. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 21, 425–446. https://doi.org/10.1007/s11157-022-09619-y

Chojnacka, K. (2023). Valorization of biorefinery residues for sustainable fertilizer production: A comprehensive review. Biomass Conversion and Biorefinery, 13, 14359–14388. https://doi.org/10.1007/s13399-023-04639-2

Dewi, R. K., Mumpuni, R. P., Nurulhaq, M. I., Pratama, A. J., Wiraguna, E., Mardisiwi, R. S., Situmeang, W. H., Budiarto, T., & Saputra, H. K. H. (2025). Organic fertilizer: Indonesia's legacy for a sustainable future. In Organic Fertilizers – Their Role in Sustainable Agriculture. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.1008729

Palansooriya, K. N., Dissanayake, P. D., Igalavithana, A. D., Tang, R., Cai, Y., & Chang, S. X. (2023). Converting food waste into soil amendments for improving soil sustainability and crop productivity: A review. Science of the Total Environment, 881, 163311. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163311

Siahaan, F. R., Sembiring, M., Hasanah, Y., & Sabrina, T. (2023). Chemical characteristics and plant growth regulators of organic waste as liquid organic fertilizer. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1188(1), 012001. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1188/1/012001

Xie, S., Tran, H.-T., Pu, M., & Zhang, T. (2023). Transformation characteristics of organic matter and phosphorus in composting processes of agricultural organic waste: Research trends. Materials Science for Energy Technologies, 6, 331–342. https://doi.org/10.1016/j.mset.2023.02.006

Aziz, F. A., & Ariyanti, M. (2026). Review: Limbah tandan kosong kelapa sawit: Sumber pupuk organik untuk tanaman kelapa sawit. Paspalum: Jurnal Ilmiah Pertanian, 14(1), 380–389. https://doi.org/10.35138/paspalum.v14i1.1168