

Formulasi Teoretis Bahan Baku Pupuk Organik dari Filter Aid, Residu Rumput Laut, dan Kotoran Sapi

Theoretical Formulation of Organic-Fertilizer Feedstocks from Filter Aid, Seaweed Residue, and Cattle Manure

Dipa Aditya^{1*}, Dedy Sekarmaji², Desy Ratnaningrum³

^{1,2}Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Mayjen Sungkono, Mojokerto, Indonesia.

³Program Studi Kimia Murni, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia.

*email korespondensi: dipa.aditya.dosen@gmail.com

Info Artikel

Diajukan:

9 Agustus 2026

Diterima:

26 Agustus 2026

Diterbitkan:

16 September 2026

Abstract

Agro-industrial and livestock residues are potential organic-fertilizer feedstocks, but their composition must be screened before experimental composting. This study developed a theoretical formulation of filter aid, seaweed-processing residue, and cattle manure using a linear mixture model and mass-balance calculations based on existing laboratory characterization data. Under a screening scenario targeting an initial C/N ratio of 24 and an equal share of seaweed residue and cattle manure, the candidate proportion was 0.278:0.361:0.361 (approximately 1:1.30:1.30). The mixture was projected to contain 17.19% organic carbon, 0.85% nitrogen, a C/N ratio of 24.00, 281.71 ppm available Fe, 14,010.74 ppm total Fe, and an estimated pH of 5.76. These values fall within the screening limits used for the available parameters, but they do not demonstrate compliance of a finished organic-fertilizer product because P, K, moisture, heavy metals, maturity, and other required parameters were not evaluated. The study therefore provides a proof-of-concept formulation and identifies total Fe and raw-material variability as critical issues for subsequent composting, laboratory validation, and plant testing.

Keywords:

circular economy, mass balance, organic fertilizer, seaweed residue, theoretical formulation.

Abstrak

Limbah agroindustri dan peternakan berpotensi menjadi bahan baku pupuk organik, tetapi komposisinya perlu disaring sebelum pengomposan eksperimental. Penelitian ini menyusun formulasi teoretis filter aid, residu pengolahan rumput laut, dan kotoran sapi menggunakan model campuran linier dan neraca massa berdasarkan data karakterisasi laboratorium yang telah tersedia. Pada skenario skrining dengan target rasio C/N awal 24 dan proporsi residu rumput laut serta kotoran sapi yang dibuat sama, diperoleh formula kandidat 0,278:0,361:0,361 atau sekitar 1:1,30:1,30. Campuran diproyeksikan memiliki C-organik 17,19%, N 0,85%, rasio C/N 24,00, Fe tersedia 281,71 ppm, Fe total 14.010,74 ppm, dan estimasi pH 5,76. Nilai tersebut berada dalam batas skrining untuk parameter yang tersedia, tetapi belum membuktikan kesesuaian produk pupuk organik jadi karena P, K, kadar air, logam berat, kematangan, dan parameter lain belum dievaluasi. Studi ini memberikan bukti konsep formulasi awal serta mengidentifikasi Fe total dan variabilitas bahan baku sebagai aspek kritis untuk validasi pengomposan, analisis laboratorium, dan uji tanaman.

Kata Kunci:

ekonomi sirkular, formulasi teoretis, neraca massa, pupuk organik, residu rumput laut.

PENDAHULUAN

Jawa Timur merupakan salah satu wilayah penting bagi produksi dan pengolahan rumput laut di Indonesia. Aktivitas pengolahan menghasilkan residu padat dan cair yang memerlukan pengelolaan produktif agar tidak hanya menjadi beban lingkungan (Syofia et al., 2014). Data produksi daerah dan laporan sektor rumput laut menunjukkan skala aktivitas yang besar,

sehingga pemanfaatan residu sebagai sumber daya menjadi relevan dalam agenda industri hijau dan ekonomi sirkular (Statistik, 2020).

volume limbah industri rumput laut yang besar pada tingkat nasional. Estimasi kontribusi Jawa Timur yang pernah digunakan dalam naskah awal bersifat asumptif karena belum didukung verifikasi kapasitas setiap industri; oleh sebab itu, penelitian ini tidak menggunakan estimasi tersebut sebagai dasar kuantitatif utama, melainkan sebagai konteks perlunya pengelolaan residu yang lebih sistematis (Sedayu et al., 2014).

Pemanfaatan residu organik sebagai bahan pengomposan berpotensi mengembalikan material ke sistem produksi pertanian. Dalam perspektif ekonomi sirkular, pendekatan tersebut dapat mengurangi aliran limbah sekaligus menciptakan input baru apabila mutu bahan, proses, dan produk akhir dapat dikendalikan (Paes et al., 2019).

Literatur pengomposan menunjukkan bahwa mutu kompos dipengaruhi oleh komposisi bahan baku, keseimbangan unsur hara, serta dinamika transformasi karbon dan nitrogen. Pentingnya komposisi pada co-composting limbah agroindustri; manfaat pengaturan nutrisi; karakter bahan memengaruhi dinamika nitrogen; sedangkan potensi kompos limbah agroindustri bagi sifat tanah dan produktivitas tanaman (Erana et al., 2019). Temuan-temuan tersebut mendukung penggunaan campuran bahan dengan karakter yang saling melengkapi, tetapi juga menuntut verifikasi pada produk kompos aktual (Estrella-González et al., 2020; Nkansah et al., 2022; Siles-Castellano et al., 2020).

memformulasikan filter aid dan kotoran sapi sebagai bahan baku pupuk organik. Pendekatan dua bahan tersebut belum memasukkan residu pengolahan rumput laut yang tersedia pada rantai industri terkait. Penambahan residu rumput laut relevan karena bahan ini memiliki N relatif lebih tinggi, tetapi juga Fe total yang tinggi, sehingga dapat memperbaiki sebagian parameter sekaligus menambah batasan formulasi (Aditya et al., 2026).

Kebaruan studi ini bukan sekadar penggunaan tiga bahan, melainkan pengujian konseptual kombinasi spesifik filter aid-residu rumput laut-kotoran sapi dengan model campuran linier dan neraca massa, disertai evaluasi Fe total sebagai parameter pembatas. Studi ini ditempatkan sebagai proof of concept berbasis data sekunder, bukan sebagai uji produksi atau verifikasi mutu pupuk organik jadi.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian bertujuan: (1) mengevaluasi secara teoretis apakah karakteristik ketiga bahan dapat saling melengkapi sebagai campuran bahan baku; (2) menghasilkan formula kandidat dengan target rasio C/N awal 24; dan (3) mengevaluasi sensitivitas formula terhadap batas parameter yang tersedia. Hasil penelitian dimaksudkan sebagai dasar bagi eksperimen pengomposan dan pengujian produk akhir pada tahap berikutnya.

Dengan batasan tersebut, setiap perbandingan dengan SNI 7763:2024 dalam artikel ini diperlakukan sebagai skrining terhadap parameter yang tersedia, bukan sebagai klaim bahwa campuran bahan baku atau produk akhir telah memenuhi seluruh persyaratan SNI.

METODE PENELITIAN

Desain Studi, Lokasi, dan Periode

Penelitian ini merupakan studi formulasi teoretis/deskriptif-analitis berbasis data sekunder, bukan penelitian eksperimental. Penyusunan dan penelusuran data dilakukan pada Mei-Juli 2026 dengan konteks bahan yang berasal dari PT Nuansa Cipta Indowarna Mandiri dan CV Gulma Gemilang di Desa Sumberkramat, Kecamatan Tongas, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur. Tidak dilakukan pengambilan sampel baru, proses pengomposan, maupun pengujian produk jadi dalam penelitian ini.

Sumber Data dan Pemilihan Bahan

Bahan dipilih secara purposif berdasarkan tiga kriteria: (1) merupakan residu non-B3 dari kegiatan industri atau peternakan; (2) tersedia data karakterisasi yang mencakup C-organik, N,

rasio C/N, Fe tersedia, Fe total, dan pH; dan (3) sumber bahan serta dokumen analisis dapat ditelusuri. Data filter aid dan kotoran sapi mengacu pada sertifikat pengujian (Hamidi et al., 2011), sedangkan data residu rumput laut mengacu pada dokumen yang tersedia pada naskah sumber tidak memuat secara lengkap informasi metode analisis, replikasi, dan ketidakpastian pengukuran; hal ini diperlakukan sebagai keterbatasan data input (Sedayu et al., 2014).

Batas Acuan dan Ruang Lingkup Evaluasi

Enam parameter yang tersedia dibandingkan dengan batas acuan yang digunakan pada naskah, yaitu C-organik, N, rasio C/N, Fe tersedia, Fe total, dan pH. Perbandingan ini hanya berfungsi sebagai skrining teoritis. Parameter penting lain untuk penilaian pupuk organik padat, seperti P dan K, kadar air, logam berat, bahan asing, serta indikator stabilitas/kematangan tidak tersedia; karena itu, penelitian ini tidak menyimpulkan kesesuaian produk akhir terhadap seluruh SNI 7763:2024 (Syofia et al., 2014).

Model Formulasi dan Analisis Sensitivitas

Model campuran linier digunakan untuk menghitung proyeksi karakteristik berdasarkan fraksi massa setiap bahan. Bentuk persamaannya mengikuti prinsip model campuran linier Scheffé, yaitu proporsi komponen berjumlah satu dan tidak bernilai negatif (Cornell, 1943). Namun, karena tidak terdapat run eksperimen, replikasi, regresi, atau ANOVA, pendekatan pada penelitian ini tidak diperlakukan sebagai mixture experiment penuh dan tidak digunakan untuk mengklaim optimum statistic (Scheffe, 1963).

Kendala dasar campuran ditetapkan sebagai:

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1; X_i \geq 0$$

dengan:

X_1 = proporsi filter aid

X_2 = proporsi residu rumput laut

X_3 = proporsi kotoran sapi

Model campuran linier untuk parameter Y:

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$$

Y = nilai parameter campuran yang diproyeksikan

b_1, b_2, b_3 = nilai parameter masing-masing bahan baku

Target skrining utama ditetapkan pada rasio C/N awal 24. Karena rasio C/N residu rumput laut (14,14) dan kotoran sapi (14,52) relatif berdekatan, formula awal dihitung dengan asumsi penyederhanaan $X_2 = X_3$. Asumsi ini hanya menghasilkan satu formula kandidat dan tidak meniadakan kemungkinan proporsi X_2 dan X_3 yang berbeda.

Dengan asumsi tersebut: $X_2 = X_3 = (1 - X_1)/2$.

Nilai campuran untuk setiap parameter dihitung dengan neraca massa:

$$Y_{\text{campuran}} = X_1Y_1 + X_2Y_2 + X_3Y_3$$

Perhitungan menggunakan proporsi tidak dibulatkan pada tahap kalkulasi; nilai ditampilkan dengan pembulatan yang sesuai pada tabel.

Analisis sensitivitas dilakukan terhadap target rasio C/N 22,1-25,0 pada asumsi $X_2 = X_3$ untuk melihat perubahan Fe total dan parameter lain. Selain itu, pada X_1 sekitar 0,28 dilakukan pemeriksaan skenario alternatif pembagian $X_2:X_3$ untuk menunjukkan bahwa formula 1:1,3:1,3 bukan satu-satunya kombinasi yang secara teoretis dapat berada dalam batas skrining.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Bahan Baku dan Batas Skrining

Ketiga bahan menunjukkan karakteristik yang berbeda dan tidak seluruhnya berada dalam batas acuan jika dilihat secara tunggal. Filter aid memiliki C-organik tinggi, tetapi rasio C/N 49,15 dan pH 3,20 berada di luar batas skrining yang digunakan. Residu rumput laut memiliki C-organik 14,14%, Fe tersedia 676 ppm, dan Fe total 21.658,10 ppm, sedangkan kotoran sapi memiliki C-

organik 13,79% dan Fe total 16.856 ppm. Perbedaan ini memberikan dasar bagi pencampuran, tetapi juga menunjukkan bahwa Fe total merupakan parameter yang perlu diawasi.

Secara konseptual, co-composting memanfaatkan perbedaan karakteristik bahan untuk memperoleh campuran yang lebih seimbang. Literatur menegaskan bahwa komposisi bahan, dinamika C/N, dan pengelolaan proses berpengaruh terhadap stabilitas serta mutu akhir kompos (Estrella-González et al., 2020; Huzir et al., 2026; Jia et al., 2025). Karena studi ini belum menjalankan pengomposan, evaluasi berikut hanya menggambarkan kelayakan komposisi awal secara teoritis.

Data karakterisasi yang digunakan sebagai input perhitungan disajikan pada Tabel 1. Kolom batas acuan merupakan parameter skrining yang tersedia dan tidak dimaksudkan sebagai pernyataan kesesuaian produk akhir.

Tabel 1. Karakteristik bahan baku dan batas acuan skrining

No	Kandungan	Filter Aid %	Rumput Laut %	Kotoran Sapi %	Batas acuan skrining Nilai acuan
1	C Organik	25,56	14,14	13,79	≥15
2	N	0,52	1,00	0,95	NPK total >=2*
3	C/N Ratio	49,15	14,14	14,52	≤25
4	Fe Tersedia	83,30	676,00	40,00	Maks 500
5	Fe Total	366,00	21.658,10	16.856,00	Maks 15.000
6	pH	3,20	8,10	5,40	4-9

Sumber: (Aditya et al., 2026; Sedayu et al., 2014).

Berdasarkan Tabel 1, rasio C/N filter aid, C-organik pada residu rumput laut dan kotoran sapi, serta Fe pada residu rumput laut dan kotoran sapi merupakan pembatas utama. Oleh karena itu, target C/N 24 digunakan sebagai titik skrining untuk menghasilkan formula kandidat yang masih memberi ruang terhadap batas C/N dan Fe total yang digunakan.

Penentuan Formula Kandidat

Dengan target rasio C/N 24, nilai input C/N ketiga bahan adalah:

Filter aid (b1) = 49,15

Residu rumput laut (b2) = 14,14

Kotoran sapi (b3) = 14,52

Target Y = 24

Untuk memperoleh formula awal, digunakan asumsi penyederhanaan $X_2 = X_3$. Rata-rata C/N kedua komponen tersebut adalah $(14,14 + 14,52)/2 = 14,33$.

Dengan $X_2 + X_3 = 1 - X_1$, persamaan target menjadi:

$$24 = 49,15X_1 + 14,33(1 - X_1)$$

$$24 - 14,33 = (49,15 - 14,33)X_1$$

$$X_1 = 9,67/34,82 = 0,2777$$

$$X_2 + X_3 = 0,7223$$

Karena $X_2 = X_3$, maka $X_2 = X_3 = 0,3611$.

Formula kandidat:

$$X_1:X_2:X_3 = 0,278:0,361:0,361 \text{ atau sekitar } 1:1,30:1,30$$

Tabel 2. Proporsi formula kandidat bahan baku

No	Bahan	Proporsi	%	Ratio
1	X_1 (Filter Aid)	0,278	27,8	1,00
2	X_2 (Rumput Laut)	0,361	36,1	1,30
3	X_3 (Kotoran Sapi)	0,361	36,1	1,30
Jumlah		1,00	100	3,60

Sumber: Data sekunder diolah, 2026.

Hasil perhitungan menghasilkan satu formula kandidat, bukan optimum statistik. Pada basis 100 kg, komposisi tersebut setara dengan sekitar 27,8 kg filter aid, 36,1 kg residu rumput laut, dan 36,1 kg kotoran sapi.

Normalisasi rasio 1:1,30:1,30 menghasilkan proporsi massa:

$$X1 = 1/3,60 = 0,2778; X2 = X3 = 1,30/3,60 = 0,3611$$

Tabel 3. Normalisasi rasio formula kandidat

No	Bahan	Ratio	Proporsi campuran
1	X ₁ (Filter Aid)	1,00	0,278
2	X ₂ (Rumput Laut)	1,30	0,361
3	X ₃ (Kotoran Sapi)	1,30	0,361
Jumlah		3,60	

Sumber: Data sekunder diolah, 2026.

Komposisi pada basis 100 kg disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi formula kandidat pada basis 100 kg

No	Bahan	Satuan
1	X ₁ (Filter Aid)	27,8 kg
2	X ₂ (Rumput Laut)	36,1 kg
3	X ₃ (Kotoran Sapi)	36,1 kg
Jumlah		100 kg

Sumber: Data sekunder diolah, 2026.

Tabel 5. Proyeksi karakteristik formula kandidat berdasarkan neraca massa

No	Kandungan	Filter Aid %	Rasio (X ₁) %	Rumput Laut %	Rasio (X ₂) %	Kotoran Sapi %	Rasio (X ₃) %	Hasil Mix %	Batas acuan %	Catatan
1	C Organik	5,56	0,278	14,14	0,361	13,79	0,361	17,19	≥15	Sesuai acuan*
2	N	0,52	0,278	1,00	0,361	0,95	0,361	0,85	NPK≥2	NPK belum dinilai
3	C/N Ratio	9,15	0,278	14,14	0,361	14,52	0,361	24,00	≤25	Sesuai acuan*
4	Fe Tersedia	3,30	0,278	676,00	0,361	40,00	0,361	281,71	Maks 500	Sesuai acuan*
5	Fe Total	366,00	0,278	21.658,10	0,361	16.856,00	0,361	14.010,74	Maks 15.000	Sesuai acuan; kritis
6	pH	3,20	0,278	8,10	0,361	5,40	0,361	5,76	4-9	Perlu verifikasi

Sumber: Data sekunder diolah, 2026.

*Batas acuan pada tabel hanya digunakan untuk skrining teoritis terhadap parameter yang tersedia; status tersebut tidak menyatakan kesesuaian produk akhir terhadap seluruh SNI 7763:2024.

Evaluasi Teoretis, Trade-off, dan Sensitivitas

Dengan proporsi tidak dibulatkan, formula kandidat memproyeksikan C-organik sekitar 17,19%, N 0,85%, rasio C/N 24,00, Fe tersedia 281,71 ppm, Fe total 14.010,74 ppm, dan estimasi pH 5,76. Lima parameter selain NPK total berada dalam batas skrining yang digunakan. Namun, P dan K tidak tersedia sehingga NPK total tidak dapat dinilai; selain itu, pH merupakan estimasi campuran yang tetap harus dikonfirmasi secara eksperimental karena pH produk dapat berubah selama pengomposan.

Analisis sensitivitas menunjukkan trade-off yang jelas. Pada target C/N 22,1, proporsi filter aid menurun dan Fe total diproyeksikan sekitar 15.041,56 ppm, sedikit di atas batas skrining

15.000 ppm. Pada target 22,2, Fe total turun menjadi sekitar 14.987,30 ppm, sedangkan pada target 25 menjadi sekitar 13.468,21 ppm. Karena itu, target C/N 24 dipilih sebagai kompromi yang mempertahankan C-organik di atas batas minimum, C/N di bawah batas maksimum, dan Fe total dengan margin sekitar 989 ppm di bawah batas skrining.

Asumsi $X_2 = X_3$ memudahkan perhitungan awal tetapi tidak membuktikan bahwa rasio tersebut unik atau optimal. Pada $X_1 = 0,28$, skenario $X_2:X_3 = 0,30:0,42$ dan $0,42:0,30$ masih menghasilkan proyeksi C-organik sekitar 17,19-17,23%, C/N sekitar 24,06-24,10, dan Fe total sekitar 13.679-14.256 ppm. Temuan ini menunjukkan adanya lebih dari satu komposisi yang layak secara skrining, sehingga optimasi yang sebenarnya memerlukan mixture experiment dengan beberapa run, replikasi, dan validasi statistik.

Dibandingkan studi dua bahan, penambahan residu rumput laut memperluas sumber bahan baku dan meningkatkan kompleksitas formulasi karena Fe pada residu rumput laut relatif tinggi. Kontribusi ini penting secara praktis: bahan ketiga dapat membantu menyeimbangkan N dan C/N, tetapi sekaligus mempersempit ruang formulasi akibat batas Fe total. Dengan demikian, nilai utama studi ini adalah mengidentifikasi konflik antar-parameter yang perlu diuji lebih lanjut, bukan menetapkan formula final (Aditya et al., 2026).

Rasio C/N awal sekitar 20-30 lazim digunakan untuk mendukung aktivitas mikroba dan cenderung menurun selama pengomposan akibat mineralisasi karbon (Ji et al., 2023; Jia et al., 2025). Oleh karena itu, target awal 24 dapat digunakan sebagai titik uji, tetapi tidak boleh disamakan dengan rasio C/N produk matang.

C-organik sekitar 17,19% menunjukkan tersedianya bahan organik secara proyeksi. Meskipun demikian, karbon organik dapat berkurang selama dekomposisi, sehingga nilai produk akhir perlu diukur kembali setelah proses pengomposan (Gioacchini et al., 2024).

Estimasi pH 5,76 berada dalam rentang skrining, tetapi pH merupakan parameter dinamis yang dipengaruhi aktivitas mikroba dan transformasi nitrogen. Karena itu, nilai ini hanya digunakan sebagai indikator awal dan harus diverifikasi pada kompos matang (Reimer et al., 2023).

Fe total sekitar 14.010,74 ppm relatif dekat dengan batas skrining 15.000 ppm dan menjadi parameter kritis. Variasi komposisi residu antar-batch dapat mendorong nilai aktual melewati batas, sehingga karakterisasi bahan baku secara berulang dan pengendalian proporsi diperlukan sebelum formula diterapkan.

Variabilitas Bahan Baku dan Keterbatasan Penelitian

Data karakterisasi yang digunakan berasal dari dokumen pengujian yang tersedia dan tidak menyajikan replikasi antar-batch maupun ukuran ketidakpastian. Residu agroindustri dan kotoran sapi dapat berubah menurut bahan asal, proses produksi, umur bahan, dan kondisi penyimpanan. Karena itu, robustness formula belum dapat dinilai dari satu set nilai karakterisasi.

Keterbatasan lain meliputi tidak adanya proses pengomposan aktual, tidak lengkapnya parameter SNI, tidak adanya uji kematangan, keamanan, dan fitotoksisitas, serta tidak adanya mixture experiment dengan replikasi dan analisis statistik. Konsekuensinya, hasil hanya dapat diposisikan sebagai proof of concept untuk menyusun hipotesis formula yang akan diuji.

Implikasi bagi Industri Hijau dan Ekonomi Sirkular

Secara konseptual, integrasi filter aid, residu rumput laut, dan kotoran sapi dapat menghubungkan aliran residu industri dan peternakan dengan kebutuhan input pertanian, sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular (Paes et al., 2019). Implementasi praktis memerlukan koordinasi pasokan antar-pelaku, standar penerimaan bahan baku, fasilitas pengomposan, pengujian mutu per batch, serta kajian biaya dan pasar. Dengan demikian, studi ini baru menjawab tahap awal formulasi; aspek proses, agronomis, ekonomi, dan kelembagaan masih memerlukan pembuktian.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Filter aid, residu pengolahan rumput laut, dan kotoran sapi secara teoretis memiliki karakteristik yang saling melengkapi sebagai campuran bahan baku pupuk organik, meskipun beberapa parameter bahan tunggal berada di luar batas skrining. Dengan asumsi $X_2 = X_3$ dan target rasio C/N awal 24, diperoleh formula kandidat 0,278:0,361:0,361 (sekitar 1:1,30:1,30) dengan proyeksi C-organik 17,19%, N 0,85%, C/N 24,00, Fe tersedia 281,71 ppm, Fe total 14.010,74 ppm, dan estimasi pH 5,76. Formula ini bukan optimum statistik dan belum membuktikan kesesuaian produk akhir terhadap SNI. Kontribusi studi adalah menyediakan kerangka skrining tiga residu dan mengidentifikasi Fe total serta variabilitas bahan sebagai parameter kritis untuk tahap validasi.

Saran

Prioritas penelitian selanjutnya adalah melakukan mixture experiment dan pengomposan aktual pada beberapa formula, termasuk formula kandidat 0,28:0,36:0,36 serta skenario pembandingan dengan proporsi residu rumput laut dan kotoran sapi yang berbeda. Pada tahap laboratorium, proses perlu memantau suhu, kadar air, aerasi, dan lama pengomposan, lalu menguji produk jadi untuk C-organik, NPK total, C/N, pH, Fe, kadar air, logam berat, stabilitas/kematangan, dan fitotoksitas. Jika hasil konsisten antar-batch, pengujian dapat dilanjutkan ke skala pilot, uji tanaman, serta analisis biaya dan kelayakan kemitraan antar-industri. Pengujian Fe total dan karakterisasi bahan baku per batch perlu menjadi prioritas karena nilainya paling dekat dengan batas skrining.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, D., Ikka, N. D. A., Sekarmaji, D., & Suwanto, E. P. (2026). Pemanfaatan Limbah Industri dan Peternakan sebagai Bahan Baku Pupuk Organik Solusi Masalah Lingkungan dan Program Ketahanan Pangan. *Jurnal Riset Multidisiplin Agrisocso*, 4(2), 198–204. <https://doi.org/10.61316/jrma.v4i2.377>
- Cornell, J. A. (1843). *Experiments with mixtures: designs, models, and the analysis of mixture data* (Vol. 255). Wiley-interscience.
- Erana, F. G., Tenkegna, T. A., & Asfaw, S. L. (2019). Effect of agro industrial wastes compost on soil health and onion yields improvements: study at field condition. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(Suppl 1), 161–171.
- Estrella-González, M. J., López-González, J. A., Suárez-Estrella, F., López, M. J., Jurado, M. M., Siles-Castellano, A. B., & Moreno, J. (2020). Evaluating the influence of raw materials on the behavior of nitrogen fractions in composting processes on an industrial scale. *Bioresource Technology*, 303, 122945.
- Gioacchini, P., Baldi, E., Montecchio, D., Mazzon, M., Quartieri, M., Toselli, M., & Marzadori, C. (2024). Effect of long-term compost fertilization on the distribution of organic carbon and nitrogen in soil aggregates. *Catena*, 240, 107968.
- Hamidi, N., Wardana, I. N. G., & Sasmito, H. (2011). Pengaruh penambahan tongkol jagung terhadap performa pembakaran bahan bakar briket blotong (filter cake). *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(2), 92–97. <https://doi.org/10.21776/jrm.v2i2.122>
- Huzir, N. M., Asmadi, A. A., Rosly, M. B., Tamunaidu, P., & Amin, A. N. R. (2026). Composting as a pathway for organic waste valorization: substrate performance, process strategies, and quality benchmarks. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 28(2), 815–833.
- Ji, Z., Zhang, L., Liu, Y., Li, X., & Li, Z. (2023). Evaluation of composting parameters, technologies and maturity indexes for aerobic manure composting: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 886, 163929.

- Jia, P., Huang, Y., Wang, X., Zhu, Z., Dou, Y., Huang, Q., Zha, S., & Wang, A. (2025). Mechanisms of chemical polymers and microbial residues in affecting organic matter stabilization under varying carbon/nitrogen ratios during composting. *Chemical Engineering Journal*, 513, 162879.
- Nkansah, J. B., Oduro, K. S., Korkor, E. H. M., & Kuffuor, R. A. (2022). *Enhancing food waste compost quality with nutrient amendments*.
- Paes, L. A. B., Bezerra, B. S., Deus, R. M., Jugend, D., & Battistelle, R. A. G. (2019). Organic solid waste management in a circular economy perspective—A systematic review and SWOT analysis. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118086.
- Reimer, M., Kopp, C., Hartmann, T., Zimmermann, H., Ruser, R., Schulz, R., Müller, T., & Möller, K. (2023). Assessing long term effects of compost fertilization on soil fertility and nitrogen mineralization rate. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 186(2), 217–233. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200270>
- Scheffe, H. (1963). The simplex-centroid design for experiments with mixtures. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 25(2), 235–251.
- Sedayu, B. B., Erawan, I. M. S., & Assadad, L. (2014). Pupuk cair dari rumput laut *Eucheuma cottonii*, *Sargassum* sp. dan *Gracilaria* sp. menggunakan proses pengomposan. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 9(1), 61–68.
- Siles-Castellano, A. B., López, M. J., Jurado, M. M., Suárez-Estrella, F., López-González, J. A., Estrella-González, M. J., & Moreno, J. (2020). Industrial composting of low carbon/nitrogen ratio mixtures of agri-food waste and impact on compost quality. *Bioresource Technology*, 316, 123946.
- Statistik, B. P. (2020). Jawa Timur Dalam Angka 2022. *Surabaya: BPS Surabaya, Jawa Timur*.
- Syofia, I., Khair, H., & Anwar, K. (2014). Respon pertumbuhan dan produksi tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L) terhadap pemberian pupuk organik padat dan pupuk organik cair. *AGRIUM: Jurnal Ilmu Pertanian*, 19(1). <https://doi.org/10.30596/agrium.v19i1.334>