



CHARACTERIZATION AND QUALITY IMPROVEMENT OF ORGANIC COMPOST USING GEOTHERMAL BRINE FROM PT PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY

Indra Permana¹, Yogi Nirwanto¹, Iis Ismawati², Rifan Nuriansyah², Gina Rahmawati², Nata Ardian Pratama², Syafiq Fadhlurrahman A.², Azzahra Nur Fadila², Yanuaris Dwi Cahyono³, Awaludin³, Muhammad Sabdian Harwanda³, Muhammad Yogi Alfarobi³, Muhammad Ilham Adhi Prabowo³

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Siliwangi, Kota Tasikmalaya, Indonesia;

²Mahasiswa Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Siliwangi, Kota Tasikmalaya, Indonesia;

³Pertamina Geothermal Energy Area Karaha, Kabupaten Tasikmalaya, Indonesia

*Corresponding author E-mail: indrapermana@unsil.ac.id

DOI : 10.30605/biogenerasi.v10i4.7388

Accepted : 15 November 2025 Approved : 27 November 2025 Published : 28 November 2025

Abstract

Compost is an organic amendment capable of improving soil physical, chemical, and biological properties, yet its relatively low nutrient content often requires high application rates. This research aimed to evaluate the effects of different compost formulations enriched with geothermal brine on macronutrient composition and to identify the best compost–brine formulation that meets the nutrient requirements set by the Indonesian Ministry of Agriculture Regulation No. 261/2016. The study employed seven compost formulations with three replications, each supplemented with 20% geothermal brine, arranged in a randomized block design. Observed parameters included compost temperature and weight during decomposition, as well as total N, total P₂O₅, total K₂O, and total CaO content. The geothermal brine used in this study contained high concentrations of essential minerals, particularly potassium and calcium, along with relevant micronutrients such as boron. Formulations containing higher proportions of sheep manure exhibited rapid temperature increases in the initial phase, followed by faster stabilization, whereas grass-dominant mixtures decomposed more slowly due to higher lignin content and elevated C/N ratios. Among all treatments, formulation G (15% sheep manure, 60% grass, 20% coffee husk, 2.5% dolomite, and 2.5% zeolite) produced the highest levels of macronutrients—N, P, K, and Ca—surpassing other formulations and aligning with compost quality standards. Overall, incorporation of geothermal brine effectively enhanced potassium and calcium levels across all compost mixtures.

Keywords : Brine geothermal, compost brine, combine, composting, organic fertilizer.

PENDAHULUAN

Pupuk organik, khususnya kompos, menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan untuk mengatasi berbagai permasalahan akibat penggunaan pupuk sintetis. Aplikasi kompos secara berkelanjutan mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah melalui peningkatan kandungan bahan organik dan aktivitas mikroorganisme (Yuniarti et al., 2020). Penggunaan kompos juga terbukti mengurangi serangan penyakit tertentu serta meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Selain menyediakan hara secara lebih stabil, pupuk organik dapat meminimalkan dampak negatif pupuk kimia terhadap lingkungan (Permana et al., 2023). Dengan demikian, pemanfaatan pupuk organik sejalan dengan prinsip pertanian berkelanjutan dan mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan di bidang ketahanan pangan dan konservasi lingkungan.

Meskipun kompos berperan penting dalam meningkatkan kualitas tanah secara jangka panjang, pemanfaatannya masih terkendala oleh rendahnya kandungan unsur hara. Kompos yang berasal dari limbah organik umumnya memiliki kadar N, P, dan K yang relatif rendah dan kerap tidak memenuhi standar mutu pupuk organik berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261 Tahun 2019 tentang Persyaratan Mutu Pupuk Organik Padat (Indonesian Minister of Agriculture, 2019; Sofyan et al., 2025). Penelitian menunjukkan bahwa kompos berbahan sampah organik hanya mengandung sekitar 0,15–0,30% N, 0,08–0,18% P, dan 0,10–0,13% K (Agustin et al., 2023; Idawati et al., 2017; Wahyono, 2010). Kondisi ini mengharuskan petani mengaplikasikan kompos dalam jumlah yang jauh lebih besar dibandingkan pupuk anorganik untuk mencapai efektivitas yang setara. Akibatnya, kebutuhan tenaga kerja dan biaya transportasi meningkat secara signifikan.

Untuk mengatasi kendala rendahnya kandungan hara pada kompos, diperlukan inovasi dalam memperkaya unsur nutrisi di dalamnya. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan brine geotermal sebagai sumber mineral tambahan. *Brine* geotermal merupakan fluida panas

bumi yang kaya akan mineral dan berpotensi dimanfaatkan secara berkelanjutan bersamaan dengan produksi energi geothermal (Smith, 2017). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa *brine* geotermal mengandung konsentrasi tinggi mineral penting seperti kalium, magnesium, dan kalsium yang dibutuhkan oleh tanaman (Ayari et al., 2023). Dengan demikian, integrasi *brine* geotermal dalam proses pengayaan kompos diharapkan dapat meningkatkan kualitas hara dan efektivitasnya sebagai pupuk organik.

Penentuan formulasi pupuk compost–*brine* terbaik dilakukan berdasarkan komposisi bahan organik dan proporsi larutan *brine* geotermal yang digunakan. Setelah formulasi optimum diperoleh, tahap berikutnya adalah melakukan karakterisasi menyeluruh terhadap sifat fisik dan kimia pupuk yang dihasilkan untuk memastikan kesesuaiannya dengan parameter mutu berdasarkan Kepmentan No. 261/2016. Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan alternatif pemanfaatan limbah *brine* geotermal yang bernilai tambah. Selain itu, produk compost–*brine* yang dihasilkan diharapkan memiliki kualitas tinggi sehingga dapat mendukung pengembangan pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan.

METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus sampai dengan September 2025 di *Screen House* Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat, Indonesia, dengan ketinggian 325 mdpl. Temperatur harian rata-rata pada *screen house* 26–30°C dengan Tingkat kelembaban 80–85%. Analisis sifat kimia pupuk dilakukan di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi, sedangkan analisis kandungan mineral *brine* diuji Laboratorium Sucofindo.

Alat yang digunakan dalam proses pembuatan pupuk kompos *brine* diantaranya mesin pencacah, *composter bag*, pacul, sekop, garu, gelas ukur, ember, thermometer air raksa, timbangan digital dan terpal sebagai alas saat pencampuran pupuk. Adapun bahan-bahan yang digunakan sebagai bahan utama pembuatan kompos yakni *brine*, kotoran domba, rerumputan, kulit *cherry*, dolomit,

zeolite molase, dan aktivator mikroba EM4 (*Effective Microorganisms*) untuk mempercepat proses dekomposisi bahan organik,. Seluruh alat dan bahan dipersiapkan sebelum proses pembuatan kompos *brine*.

Instrumen laboratorium yang digunakan untuk menganalisis kandungan hara pada pupuk diantaranya *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)* untuk menganalisis kandungan K, Ca, dan Mg, *Spectrofotometer Uv-Vis* untuk mengukur kandungan P, dan *Automatic Kjeldahl distillation* untuk menguji kadar N yang dilanjutkan dengan proses titrasi.

Instrumen lainnya yakni pH meter, timbangan analitik, oven memmert, digestion block, *microwave digester* serta peralatan gelas laboratorium seperti gelas ukur, gelas kimia, labu destilasi, Erlenmeyer, pipet ukur dan volume serta buret.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktor tunggal dengan tujuh perlakuan yang berbeda berdasarkan komposisi bahan pupuk, khususnya pada variasi proporsi *brine* dan bahan organik. Adapun rancangan perlakuan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan perlakuan formulasi *compost brine*

Kode	Perlakuan
A	100% Rerumputan
B	45% Kohe domba+30% Serasah pinus+15% Arang sekam+10% Dolomit
C	50% Kohe domba+25% Rerumputan+10% Serasah pinus+10% Kulit kopi+5% Dolomit
D	50% Kohe domba+25% Rerumputan+10% Serasah pinus+10% Arang sekam+5% Dolomit
E	25% Kohe domba+40% Rerumputan+5% Serasah pinus+10% kulit kopi+5% Dolomit+5% Zeolit
F	20% Kohe domba+50% Rerumputan+20% Kulit kopi+2,5% Dolomit+2,5% Zeolit
G	15% Kohe domba+60% Rerumputan+20% Kulit kopi+2,5% Dolomit+2,5% Zeolit

Pengamatan dilakukan selama proses pengomposan pada hari ke-0, 5, 10, 15, 20, dan 25 Hari Setelah Inkubasi (HSI) untuk memantau dinamika parameter fisik, yaitu bobot kompos, suhu, kelembapan, dan pH. Proses pengomposan berlangsung selama 25 hari, setelah itu kompos dianggap matang dan dilakukan pengambilan sampel untuk dianalisis di laboratorium. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air, pH, C-organik, N-total, P₂O₅-total, K₂O-total, CaO-total, dan MgO-total, dengan metode analisis mengacu pada Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk (Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk, 2023). Data hasil pengukuran dianalisis menggunakan *Analisis Varian (ANOVA)* untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap karakteristik pupuk. Jika terdapat perbedaan nyata antarperlakuan, dilakukan uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test (DMRT)* pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik seperti SPSS atau R Studio.

HASIL PENELITIAN

Karakteristik Mineral Brine Geothermal

Brine Geothermal merupakan salah satu komponen utama dalam membuat pupuk Combine (*compost Brine*) sehingga uji mutu dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral yang terkandung. Konsentrasi mineral yang terkandung pada *brine* dijadikan acuan dalam menentukan konsentrasi *brine* yang digunakan sebagai campuran formula pupuk kompos. Hasil analisis mineral Brine disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan mineral esensial *brine* geothermal

No	Parameter Analisis	Satuan	Hasil	Metode Analisis
1	Konduktivitas (25°C)	μS/cm	24.450	Conductivity meter (TKI No. C 007/PGE240LAB/2019-S9)
2	pH (25°C)	–	7	pH meter (TKI No. C-010/PGE240LAB/2019-S9)

3	TDS kalkulasi	ppm	16.464	Kalkulasi (TKI No. C-011/PGE240LAB/2019-S9)
4	Natrium (Na ⁺)	ppm	4.548	ICP-OES (TKI No. C-001/PGE240LAB/2019-S9)
5	Kalium (K ⁺)	ppm	1.155	ICP-OES (TKI No. C-001/PGE240LAB/2019-S9)
6	Kalsium (Ca ²⁺)	ppm	774	ICP-OES (TKI No. C-001/PGE240LAB/2019-S9)
7	Magnesium (Mg ²⁺)	ppm	0	AAS APHA 3111B (APHA ed. 23, 2017)
8	Litium (Li ⁺)	ppm	19	AAS APHA 3111B
9	Besi total (Fe ^{2+/3+})	ppm	1	AAS APHA 3111B
10	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	ppm	39	Titration Asam Basa (TKI No. C-015/PGE240LAB/2019-S9)
11	Klorida (Cl ⁻)	ppm	9.540	Titration Argentometri (TKI No. C-016/PGE240LAB/2019-S9)
12	Sulfat (SO ₄ ²⁻)	ppm	61	Turbidimetri (TKI No. C-017/PGE240LAB/2019-S9)
13	Boron (B)	ppm	185	ICP-OES (TKI No. C-001/PGE240LAB/2019-S9)
14	Silika (SiO ₂)	ppm	366	ICP-OES (TKI No. C-001/PGE240LAB/2019-S9)

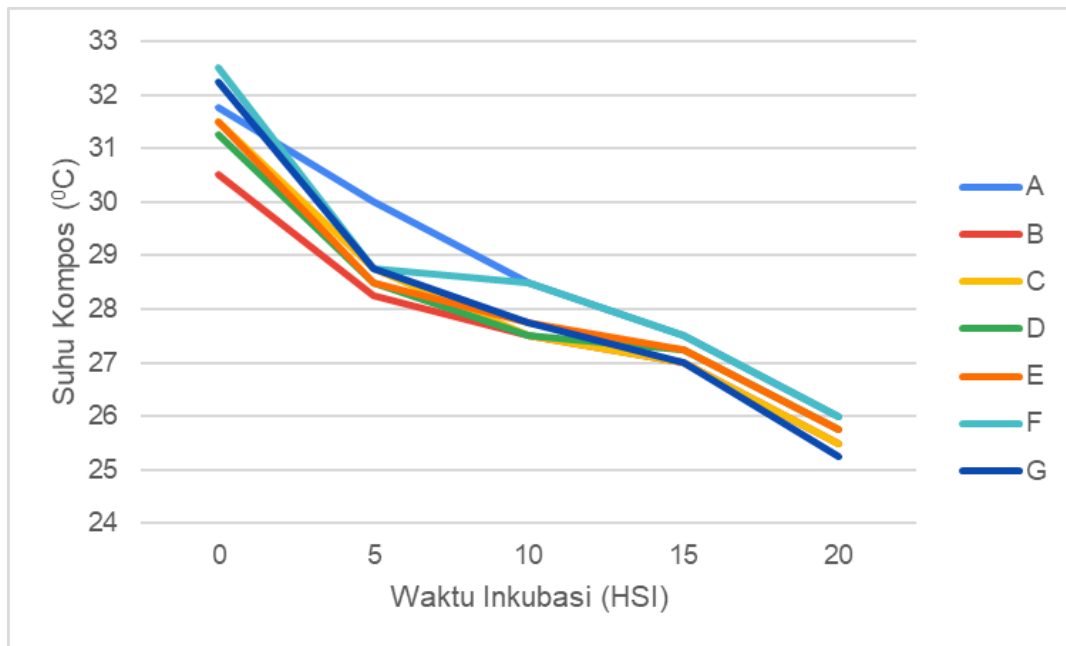
Keterangan: Analisis dilakukan di Laboratorium Uji Mutu Pertamina Geothermal Energy Kamojang

Hasil analisis komposisi mineral brine geotermal dari PT Pertamina Geothermal Energy menunjukkan bahwa brine memiliki tingkat konduktivitas yang sangat tinggi yaitu 24.450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, yang mengindikasikan kandungan ion terlarut yang besar. Nilai TDS hasil kalkulasi mencapai 16.464,26 ppm, menunjukkan bahwa brine tergolong sebagai air dengan salinitas tinggi. Analisis komposisi kation mengungkapkan bahwa Na⁺ merupakan ion dominan dengan konsentrasi 4.547,96 ppm, diikuti oleh K⁺ (1.154,76 ppm) dan Ca²⁺ (773,80 ppm). Ion Mg²⁺ terdeteksi dalam jumlah sangat rendah yaitu 0,45 ppm.

Brine juga mengandung unsur hara mikro penting seperti Li⁺ (19,08 ppm), Fe total (0,93 ppm), dan unsur mikro Boron (185,10 ppm). Dari sisi anion, klorida (Cl⁻) merupakan komponen dominan mencapai 9.540,22 ppm, diikuti HCO₃⁻ (39,33 ppm) dan SO₄²⁻ (60,58 ppm). Selain itu, kandungan silika (SiO₂) terukur cukup tinggi yaitu 366,49 ppm. Nilai pH brine berada pada kisaran 6,92, yang mengindikasikan kondisi mendekati netral.

Pengamatan Suhu Kompos Selama Proses Pengomposan

Gambar 1 menunjukkan perubahan suhu kompos pada berbagai perlakuan formula selama 20 hari inkubasi. Pada awal inkubasi (HSI 0), suhu kompos berada pada kisaran 30°C–33°C, dengan perlakuan F mencatat suhu awal tertinggi dan perlakuan B terendah. Memasuki 5 HSI, suhu kompos pada semua perlakuan menurun cukup signifikan hingga berada pada kisaran 28–28,8°C. Penurunan suhu berlanjut secara bertahap pada 10 dan 15 HSI, di mana seluruh perlakuan stabil dalam kisaran 27–27,5°C. Pada akhir periode inkubasi, yaitu 20 HSI, suhu kompos mencapai titik terendah dalam kisaran 25,5–26°C, menunjukkan kondisi yang relatif seragam pada semua perlakuan. Secara umum, tidak terdapat perbedaan drastis antar perlakuan, dan seluruhnya mengikuti tren penurunan suhu yang relatif paralel.

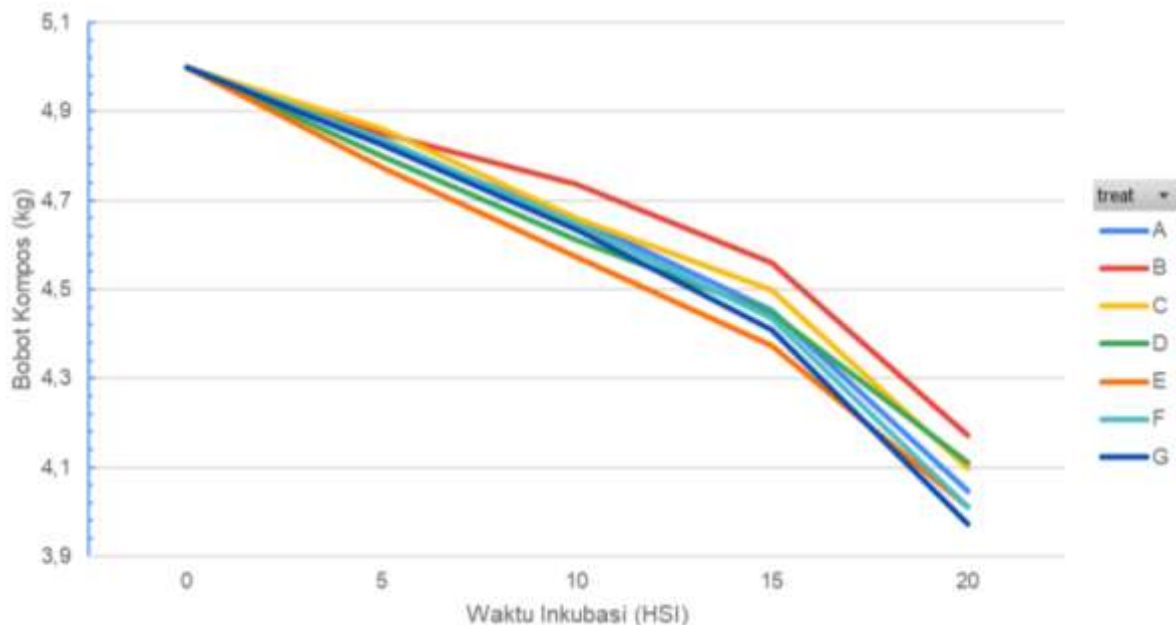


Gambar 1. Perubahan suhu kompos selama proses pengomposan

Perubahan Bobot Kompos Selama Proses Pengomposan

Perubahan bobot kompos selama proses inkubasi menunjukkan tren penurunan yang konsisten pada seluruh perlakuan (Gambar 2). Pada hari ke-0, bobot kompos 5 kg untuk semua perlakuan, kemudian secara bertahap menurun seiring dengan berlangsungnya proses dekomposisi. Pada 5 HSI hingga 10 HSI, bobot kompos semua perlakuan menurun dengan pola relatif seragam, berkisar antara 4,7–4,8 kg. Penurunan bobot semakin terlihat jelas pada 15 HSI, di mana nilai bobot kompos mulai bergerak ke kisaran 4,4–4,6 kg. Pada 20 HSI, bobot kompos seluruh perlakuan mencapai kisaran 4,0–4,2 kg.

Meskipun tren umum penurunan bobot relatif sama, terdapat variasi kecil antar perlakuan, di mana perlakuan B (45% Kohe domba+30% Serasah pinus+15% Arang sekam+10% Dolomit) menunjukkan bobot yang sedikit lebih tinggi dibanding perlakuan lain pada setiap tahap pengukuran. Sebaliknya, perlakuan E (25% Kohe domba+40% Rerumputan+5% Serasah pinus+10% kulit kopi+5% Dolomit+5% Zeolit) dan G (15% Kohe domba+60% Rerumputan+20% Kulit kopi+2,5% Dolomit+2,5% Zeolit) menunjukkan penurunan bobot yang lebih besar pada fase akhir inkubasi. Secara keseluruhan, pola penurunan bobot mengindikasikan bahwa seluruh proses pengomposan berjalan aktif dan stabil sepanjang periode inkubasi.



Gambar 2. Data penyusutan bobot kompos selama pengomposan

Kandungan Unsur Hara Makro Pupuk

Hasil analisis kandungan unsur hara pupuk pada setiap perlakuan ditunjukkan pada Tabel 3. Kandungan nitrogen total menunjukkan variasi yang jelas antarperlakuan. Perlakuan G (15% kohe domba + 60% rerumputan + 20% kulit kopi + 2,5% dolomit + 2,5% zeolit) memiliki nilai N tertinggi (2,44%), diikuti Perlakuan C (50% kohe domba + 25% rerumputan + 10% serasah pinus + 10% kulit kopi + 5% dolomit) sebesar 2,23%, serta Perlakuan D (50% kohe domba + 25% rerumputan + 10% serasah pinus + 10% arang sekam + 5% dolomit) sebesar 2,02%. Nilai terendah terdapat pada Perlakuan A (100% rerumputan) sebesar 1,26%.

Kandungan fosfor tertinggi diperoleh pada Perlakuan F (20% kohe domba + 50% rerumputan + 20% kulit kopi + 2,5% dolomit + 2,5% zeolit) yaitu 1,50%, disusul oleh Perlakuan C (1,40%), Perlakuan G (1,38%), dan Perlakuan D (1,38%). Nilai terendah terdapat pada Perlakuan A (100% rerumputan) sebesar 0,71%.

Kandungan K tertinggi terdapat pada Perlakuan G sebesar 4,30%, disusul Perlakuan D (50% kohe domba + 25% rerumputan + 10% serasah pinus + 10% arang sekam + 5% dolomit) sebesar 3,48%, dan Perlakuan A (100% rerumputan) sebesar 3,46%. Perlakuan B (45% kohe domba + 30% serasah pinus + 15% arang sekam + 10% dolomit) memiliki nilai terendah yaitu 2,97%.

Kandungan Ca tertinggi ditunjukkan pada Perlakuan G (13,47%), diikuti Perlakuan F (13,20%) dan Perlakuan E (25% kohe domba + 40% rerumputan + 5% serasah pinus + 10% kulit kopi + 5% dolomit + 5% zeolit) sebesar 12,38%. Nilai terendah terdapat pada Perlakuan A (100% rerumputan) sebesar 9,20%.

Tabel 3. Hasil analisis kandungan hara makro pada setiap perlakuan

Perlakuan	N Total (% ± SE)	P2O5 Total (% ± SE)	K2O Total (% ± SE)	CaO Total (% ± SE)
A:100% Rerumputan	1,26 ± 0,10 a	0,71 ± 0,02 a	3,46 ± 0,06 b	9,20 ± 0,25 a
B:45% Kohe domba+30% Serasah pinus+15% Arang sekam+10% Dolomit	1,37 ± 0,12 a	0,91 ± 0,02 ab	2,97 ± 0,10 a	11,55 ± 0,78 bc

C:50% Kohe domba+25% Rerumputan+10% Serasah pinus+10% Kulit kopi+5% Dolomit	2,23 ± 0,11 cd	1,40 ± 0,18 cd	3,34 ± 0,14 ab	10,76 ± 0,59 b
D:50% Kohe domba+25% Rerumputan+10% Serasah pinus+10% Arang sekam+5% Dolomit	2,02 ± 0,06 c	1,38 ± 0,09 cd	3,48 ± 0,10 b	11,29 ± 0,31 bc
E:25% Kohe domba+40% Rerumputan+5% Serasah pinus+10% kulit kopi+5% Dolomit+5% Zeolit	1,90 ± 0,09 bc	1,12 ± 0,07 bc	3,12 ± 0,16 ab	12,38 ± 0,29 cd
F:20% Kohe domba+50% Rerumputan+20% Kulit kopi+2,5% Dolomit+2,5% Zeolit	1,57 ± 0,15 ab	1,50 ± 0,12 d	3,18 ± 0,19 ab	13,20 ± 0,02 d
G:15% Kohe domba+60% Rerumputan+20% Kulit kopi+2,5% Dolomit+2,5% Zeolit	2,44 ± 0,09 d	1,38 ± 0,10 cd	4,30 ± 0,19 c	13,47 ± 0,66 d
F Hitung	16,9543	9,0204	9,7415	9,3959

Pembahasan

Karakteristik Mineral Brine Geothermal

Analisis mineral brine geothermal dari PT Pertamina Geothermal Energy menunjukkan karakteristik penting yang mencirikan fluida geothermal dari sistem hidrotermal vulkanik. Dengan kandungan salinitas yang tinggi dan Total Dissolved Solids (TDS) mencapai 16.464,26 ppm, brine ini tergolong dalam tipe klorida geothermal, di mana dominasi ion Na⁺ dan Cl⁻ mencerminkan kondisi ini (Morales & Villanueva-estrada, 2015).

Ion natrium (Na⁺) merupakan ion dominan dalam brine, dengan konsentrasi mencapai 4.547,96 ppm. Hal ini mendukung potensi brine sebagai sumber hara makro bagi pertanian, khususnya kalium (K) yang penting dalam metabolisme tanaman. Kadar K⁺ sebesar 1.154,76 ppm adalah nilai yang substansial dan lebih tinggi dibandingkan dengan sumber air biasa, sehingga pemanfaatan brine dalam formulasi pupuk kompos bisa meningkatkan kandungan K dalam kompos akhir (Mao et al., 2021).

Di sisi lain, kadar kalsium (Ca²⁺) yang tinggi pada 773,80 ppm berpotensi meningkatkan kapasitas penyangga pH serta memperbaiki struktur tanah melalui mekanisme flokulasi koloid (Beamlaku & Habtemariam, 2021). Hal ini penting untuk memastikan tanah tetap subur dan mendukung

pertumbuhan tanaman. Namun, kandungan magnesium (Mg²⁺) yang sangat rendah (0,45 ppm) menunjukkan bahwa brine tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan magnesium, sehingga diperlukan suplemen dari sumber lain untuk mencapai standar yang dibutuhkan dalam pupuk kompos.

Kandungan unsur boron (B) pada 185,10 ppm menunjukkan relevansi yang berbeda. Meskipun boron termasuk kedalam unsur mikro penting bagi tanaman, konsentrasinya yang tinggi dapat bersifat fitotoksik jika tidak dikelola dengan baik. Pada aplikasi komposting, konsentrasi boron dapat terdilusi oleh bahan organik, mengurangi risiko toksisitas. Selain itu, kandungan silika (SiO₂) yang tinggi, sebesar 366,49 ppm, dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman biotik dan abiotik, memberikan keuntungan bagi tanaman seperti padi dan tebu (Giordano et al., 2013; Wilkinson & Mays, 2015).

Nilai pH brine yang mendekati netral (6,92) sangat menguntungkan dalam proses komposting. pH yang tidak terlalu asam atau basa mendukung aktivitas mikroorganisme, yang esensial dalam proses dekomposisi bahan organik untuk menghasilkan kompos yang bermutu tinggi (Sofyan et al., 2025). Karakteristik mineral brine ini secara keseluruhan menunjukkan potensi besar dalam

digunakan sebagai sumber mineral dalam formulasi pupuk kompos, terutama untuk menyediakan unsur K, Ca, dan Na, serta meningkatkan kualitas kimia kompos sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Kepmentan No. 261/2016.

Perubahan Suhu Kompos Selama Pengomposan

Proses komposting merupakan metode yang umum digunakan untuk mengelola limbah organik, dengan perubahan suhu yang signifikan terjadi selama tahap-tahap yang berbeda. Proses ini dapat dibagi menjadi empat tahap utama: mesofilik, termofilik, pendinginan, dan pematangan. Setiap tahap dicirikan oleh perubahan suhu yang memengaruhi komunitas mikroba dan aktivitas biokimia di dalam tumpukan kompos (Martinez-hernandez et al., 2022).

Variasi bahan pada setiap perlakuan secara teoritis mempengaruhi dinamika suhu melalui perbedaan rasio C/N serta ketersediaan bahan mudah terurai (readily degradable substrates). Perlakuan B, C, dan D, yang mengandung 45–50% kohe domba, diprediksi memiliki rasio C/N lebih rendah dan kandungan nitrogen lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan aktivitas mikroba pada fase awal. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Yu *et al.*, (2024), diketahui bahwa penggunaan kotoran domba dapat meningkatkan aktivitas mikroba yang mendukung dekomposisi. Penelitian lain seperti oleh Wang *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa kohe domba mengandung sedikit lignin dan memiliki kemampuan tinggi untuk terdekomposisi, yang berkontribusi pada peningkatan suhu yang cepat pada fase awal komposting.

Perlakuan A (100% rerumputan) dan perlakuan dengan dominasi bahan berserat seperti E, F, dan G, yang mengandung proporsi tinggi rerumputan (40–60%) dan kulit kopi (10–20%), menunjukkan suhu awal yang sedikit lebih rendah karena kedua bahan tersebut memiliki kadar lignin yang tinggi serta laju degradasi awal yang lebih lambat (Nugraha & Karyati, 2023). Hal ini karena lignin memiliki struktur yang kompleks dan tahan terhadap biodegradasi, mengakibatkan suhu komposting tidak meningkat secepat saat menggunakan bahan kaya nitrogen seperti kohe (Oledad & Ayupa, 2009). Selain itu, kombinasi serasah pinus dengan bahan

nitrogenik diharapkan dapat menghasilkan suhu optimal, tetapi hasilnya seringkali tidak secepat yang diperoleh dengan kohe domba.

Kandungan Unsur Hara Makro Pupuk

Hasil analisis kandungan unsur hara pupuk dari berbagai perlakuan menunjukkan perbedaan signifikan dalam komposisi nutrisi, yang berimplikasi pada efisiensi masing-masing campuran dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Perlakuan G, yang terdiri dari 15% kohe domba, 60% rerumputan, 20% kulit kopi, serta tambahan 2,5% dolomit dan 2,5% zeolit, memiliki kandungan nitrogen total tertinggi sebesar 2,44%. Ini menunjukkan bahwa formulasi ini memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan nitrogen tanaman, sehingga mendukung pertumbuhan dan perkembangan vegetatif yang optimal (Ishak et al., 2024). Selain itu, Perlakuan C juga menunjukkan nilai nitrogen yang tinggi (2,23%), yang menunjukkan bahwa kombinasi bahan organik dapat meningkatkan kandungan nitrogen yang tersedia dalam kompos.

Sementara itu, Perlakuan F menunjukkan kandungan fosfor tertinggi sebesar 1,50%. Fosfor adalah unsur penting yang berperan dalam proses fotosintesis dan pembentukan akar, sehingga komposisi ini sangat mendukung pertumbuhan awal tanaman (Riyanto et al., 2023). Perlakuan C dan G juga menunjukkan nilai fosfor yang relatif tinggi, membuktikan bahwa kombinasi bahan tersebut dapat menyediakan sejumlah besar unsur hara yang penting bagi tanaman.

Dalam hal kalium, Perlakuan G kembali unggul dengan nilai 4,30%, diikuti oleh Perlakuan D yang juga memiliki nilai tinggi (3,48%). Kalium adalah unsur yang kunci dalam menjaga keseimbangan air dan fotosintesis, serta meningkatkan daya tahan tanaman terhadap cekaman (McGrath et al., 2014). Kandungan kalium yang tinggi pada perlakuan ini menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan produktivitas tanaman.

Kandungan kalsium tertinggi ditemukan pada Perlakuan G (13,47%), yang berperan dalam memperbaiki struktur tanah dan menjaga stabilitas pH. Kalsium juga penting untuk penguatan dinding sel dan perkembangan akar. Nilai terendah pada Perlakuan A (100% rerumputan) yang hanya sebesar 9,20% menunjukkan bahwa penggunaan bahan organik campuran secara signifikan dapat meningkatkan ketersediaan unsur kalsium.

Di sisi lain, meskipun Perlakuan G menunjukkan nilai nutrisi tertinggi secara umum,

penggunaan dolomit dan zeolit dalam campurannya dapat merupakan strategi yang efektif untuk memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, serta meningkatkan efisiensi pemupukan dengan cara memperlambat pembebasan nutrisi (Badrudin et al., 2022). Namun, perhatian harus diberikan kepada komposisi bahan organik di dalamnya untuk mencegah imobilisasi nitrogen akibat dominasi serat yang rendah dapat memperburuk ketersediaan unsur hara tersebut.

SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa brine geotermal memiliki potensi tinggi sebagai sumber mineral tambahan dalam proses pengomposan. Kandungan Na^+ , K^+ , dan Ca^{2+} memperkaya kompos tanpa mengganggu aktivitas mikroba, ditunjukkan oleh pola kenaikan suhu yang tetap mengikuti fase-fase dekomposisi normal. Variasi bahan organik dalam setiap perlakuan memengaruhi dinamika suhu dan laju dekomposisi, di mana campuran dengan proporsi kohe domba lebih tinggi menunjukkan aktivitas mikroba yang lebih intensif pada awal proses.

Hasil analisis kimia menunjukkan bahwa formulasi compost brine terbaik diperoleh pada Perlakuan G, yang menghasilkan kandungan N-total, K_2O , dan CaO paling tinggi dibanding perlakuan lain, serta memenuhi standar kualitas kompos menurut Kepmentan No. 261/2016. Dengan demikian, brine geotermal terbukti dapat dimanfaatkan secara efektif untuk meningkatkan kualitas kimia kompos dan berpotensi menjadi solusi pemanfaatan limbah brine yang bernilai tambah bagi aplikasi pertanian berkelanjutan..

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Pertamina Geothermal Energy (PGE) Area Karaha atas dukungan pendanaan serta fasilitasi yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Penghargaan juga disampaikan kepada Tim Combine dari PT PGE Karaha dan Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi atas kontribusi, kolaborasi, serta bantuan teknis yang sangat berarti sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR RUJUKAN

Agustin, H., Warid, W., & Musadik, I. M.

(2023). KANDUNGAN NUTRISI KASGOT LARVA LALAT TENTARA HITAM (*Hermetia illucensi*) SEBAGAI PUPUK ORGANIK. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(1), 12–18. <https://doi.org/10.31186/jipi.25.1.12-18>

Ayari, J., Barbieri, M., Boschetti, T., Barhoumi, A., Sellami, A., Braham, A., Manai, F., Dhaha, F., & Charef, A. (2023). *Major- and Trace-Element Geochemistry of Geothermal Water from the Nappe Zone , Northern Tunisia : Implications for Mineral Prospecting and Health Risk Assessment*.

Badrudin, U., Jazilah, S., & Prakoso, B. (2022). The Effect of Soil Submersion and Conditioner Materials on Residual Organophosphate Pesticides in Soil and Shallot Bulbs. *Agrivita*, 44(1), 1–10. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v41i0.1291>

Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. (2023). *Petunjuk Teknis Edisi 3: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk* (I. A. Sipahutar, H. Wibowo, A. F. Siregar, L. R. Widowati, & T. Rostaman (eds.); 3rd ed.). Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

Beamlaku, A., & Habtemariam, T. (2021). Soil Colloids, Types and their Properties: A review. *Open Journal of Bioinformatics and Biostatistics*, 5, 008–113. <https://doi.org/10.17352/ojbb.000010>

Giordano, G., Pinton, A., Cianfarra, P., Baez, W., Chiodi, A., & Viramonte, J. (2013). Structural control on geothermal circulation in the Cerro Tuzgle – Tocomar geothermal volcanic area (Puna plateau , Argentina). *Volcanology and Geothermal Research*, 249, 77–94.

Idawati, I., Rosnina, R., Jabal, J., Sapareng, S., Yasmin, Y., & Yasin, S. M. (2017). Penilaian Kualitas Kompos Jerami Padi Dan Peranan Biodekomposer Dalam Pengomposan. *Journal TABARO Agriculture Science*, 1(2), 127. <https://doi.org/10.35914/tabaro.v1i2.30>

Indonesian Minister of Agriculture. (2019). *Minimum Technical Requirements of Organic Fertilizers, Biofertilizers and Soil Conditioners* (p. 18).

Ishak, R. N., Kasifah, Firmansyah, A. P., & Pudji, N. P. (2024). RESPON TANAMAN PAKCOY TERHADAP

- APLIKASI MEDIA TANAM DAN POC REBUNG BAMBU PADA HIDROPONIK SISTEM WICK. *Agroplanta*, 13(1), 18–29.
- Mao, X., Ye, J., Shi, Z., & Dong, Y. (2021). *The Possible Source of Abnormally High Sodium Content in Low-Salinity Geothermal Water*. 1–15. <https://doi.org/10.1111/gwat.13264>
- Martinez-hernandez, R. S., Vidriales-escobar, G., Garcia-hernandez, E., Herrera-hernandez, E. C., Gonzalez-garcia, R., Ocampo-perez, R., & Gonzalez-ortega, O. (2022). *Mathematical Description of the Initial Stages of a Composting Process in a Batch Bioreactor*. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.2c00451>
- McGrath, J. M., Spargo, J., & Penn, C. J. (2014). Soil Fertility and Plant Nutrition. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 5, 166–184. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00249-7>
- Morales, I., & Villanueva-estrada, R. E. (2015). *Geological , hydrogeological , and geothermal factors associated to the origin of arsenic , fluoride , and groundwater temperature o Guanajuatense ’’, Mexico in a volcanic environment “ El Baji. 3000*. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4554-9>
- Nugraha, L. F., & Karyati, T. (2023). *PENERAPAN INOVASI TEKNOLOGI PERTANIAN ORGANIK PADA PETERNAK DOMBA DALAM MENUNJANG KETAHANAN PANGAN*. 5, 430–438.
- Oledad, Y. A. S., & Ayupa, C. O. (2009). *Variations in Bioactive Substance Contents and Crop Yields of Lettuce (Lactuca sativa L .) Cultivated in Soils with Different Fertilization Treatments*. 10122–10129. <https://doi.org/10.1021/jf903019d>
- Permana, I., OpiAnggoro, Carsidi, D., SyamsuAlam, Sihalo, N., M.Killa, Y., Wida, W., Putra, R., Mutiara, C., Masnang, A., ZurrahmiWirda, & Elizabeth, R. (2023). Kesuburan Tanah dan Pemupukan. In D. P. Sari (Ed.), *Get Press I*. Get Press Indonesia.
- Riyanto, A., Rosanna, S. S., & Kadir, M. (2023). *PERTUMBUHAN BIBIT KAKAO (Theobroma cacao L.) PADA MEDIA TANAM LIMBAH PERTANIAN*. *Agroplanta*, 1(1), 33–40.
- Smith, Y. R. (2017). *On the Extraction of Rare Earth Elements from Geothermal Brines*. 1–16. <https://doi.org/10.3390/resources6030039>
- Sofyan, E. T., Sari, S. L., Rohman, S., Permana, I., Budiarto, R., & Anindita, S. (2025). *Chemical properties analysis of liquid and semi-solid bioconversion products from organic waste and their effects on soil fertility and sweet corn yield*. 22(1), 37–48.
- Wahyono, S. (2010). *TINJAUAN MANFAAT KOMPOS DAN APLIKASINYA*. 6(1), 29–38.
- Wang, Z., Xu, Y., Yang, T., Liu, Y., Zheng, T., & Zheng, C. (2023). Effects of biochar carried microbial agent on compost quality , greenhouse gas emission and bacterial community during sheep manure composting. *Biochar*. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00202-w>
- Wilkinson, S. R., & Mays, D. A. (2015). Mineral nutrition. *Tall Fescue*, 41–73. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr20.c4>
- Yu, Z., Yao, X., Yang, M., Hu, S., An, X., & Li, C. (2024). *Co-application of sheep manure and commercial organic fertilizer enhances plant productivity and soil quality in alpine mining areas*. November. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1488121>
- Yuniarti, A., Solihin, E., & Arief Putri, A. T. (2020). Aplikasi pupuk organik dan N, P, K terhadap pH tanah, P-tersedia, serapan P, dan hasil padi hitam (*Oryza sativa* L.) pada inceptisol. *Kultivasi*, 19(1), 1040. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v19i1.24563>