

KARAKTER FISIK DAN KIMIA DIGESTAT TIGA JENIS KOTORAN TERNAK PADA KONDISI ANAEROB

Physical and Chemical Characteristics of Anaerobic Digestate of Three Types of
Livestock Manure

Saefur Rohman*, Arga Dwi Indrawan

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, UPN "Veteran" Jawa Timur
Surabaya 60294, Indonesia

^{*)}Email: saefurrohman.agro@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Limbah kotoran ternak selaku produk samping budidaya peternakan mempunyai dampak negatif berupa bau, cemaran lingkungan, dan sumber penyakit. Biokonversi anaerob mengonversi limbah kotoran ternak menjadi digestat akhir berbentuk *slurry* yang kaya kandungan hara sebagai pupuk organik. Sejauh ini, studi tentang sifat fisik dan kimia digestat berbagai jenis kotoran ternak masih jarang. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh tiga jenis kotoran ternak (kambing, ayam, dan sapi) terhadap sifat fisik dan kimia digestat. Penelitian dilaksanakan di lahan percobaan Fakultas Pertanian UPN "Veteran" Jawa Timur. Percobaan dirancang menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) sederhana dengan perlakuan tiga jenis kotoran dengan tiga kali ulangan. Digestat dibuat dari kotoran ternak, urin sapi, aktivator EM4, dan daun lamtoro yang diinkubasikan secara anaerob selama 14 hari. Parameter yang diamati meliputi aroma, warna, kekentalan, buih, pH, dan suhu yang diamati 2 hari sekali hingga 14 hari setelah inkubasi (HSI). Hasil menunjukkan bahwa digestat kambing dan sapi memiliki kesamaan pola sifat fisik dan kimia. Karakter aroma, warna, kekentalan, dan buih digestat sapi dan kambing cenderung tidak berubah selama masa inkubasi dibandingkan digestat ayam. Derajat keasaman/kebasaan (pH) ketiga digestat cenderung turun di awal inkubasi dan naik di pertengahan hingga akhir inkubasi mendekati pH 7,0. Kenaikan suhu digestat ayam lebih tinggi mencapai 40°C, sementara kenaikan suhu digestat kambing dan sapi lebih rendah. Secara keseluruhan, digestat kambing dan sapi cenderung lebih sulit didegradasi dan membutuhkan waktu lebih lama untuk terdekomposisi sempurna dibandingkan digestat ayam yang disebabkan oleh perbedaan karakter kotoran meliputi komposisi pakan, mikroba usus, dan struktur pencernaan ternak tersebut.

Kata kunci: digestat, biokonversi anaerob, kotoran ternak, sifat fisik dan kimia, pH, suhu

ABSTRACT

Livestock manures possess negative effect upon the environment in forms of smell, pollution, and source of disease if left untreated. Anaerobic bioconversion of manures produces slurry as the final product which rich in nutrients needed by plants. The study on the physical and chemical characteristics of digestates of varying manures is still rare. This work aimed to study the dynamics of digestate characteristics of goat, chicken, and cattle manures. The experimental was conducted in the experimental field of Faculty of Agriculture, UPN "Veteran" Jawa Timur and designed in complete randomized design with three replications. The digestate was made of the manures, cattle urine, EM4 activator, and lamtoro (*Leucaena leucocephala*) leaves which were incubated for 14 days anaerobically. Parameters studied were aroma, color, viscosity, foam, pH, and temperature which were observed once in two days until 14 days after

inoculation. The results shown that goat and cattle digestates had similar pattern in the characteristics. Goat and cattle digestates tend to retain initial aroma, color, viscosity, and foam than of chicken digestate. The pH of all digestates tend to decrease in the initial, yet rise to a higher pH in the midway to the end of incubation, resulted in the final pH near normal (pH 7,0). Chicken manure experienced higher temperature rise up to 40 °C than of goat and cattle. In general, both goat and cattle digestates are less susceptible to biodegradation and require longer time to decompose than of chicken. This is due to the difference of manures composition; also, the feed, gut microbial community, and digestion system of the livestock.

Keywords: digestate, anaerobic bioconversion, manures, physical and chemical, pH, temperature

PENDAHULUAN

Budidaya ternak merupakan aktivitas ekonomi masyarakat yang tidak hanya memberikan dampak positif tapi juga potensi dampak negatif berupa limbah kotoran ternak (Nursan & Septiadi, 2020). Misalnya, satu ekor sapi dapat menghasilkan 20–40 kg limbah padat/hari yang setara dengan 0,6–1,2 ton limbah padat/bulan. Jika tidak ditangani dengan baik, limbah tersebut dapat menimbulkan bau, cemaran lingkungan, dan menjadi sumber penyakit (Maeanti dkk., 2013). Limbah tersebut diprediksi terus meningkat seiring dengan kenaikan jumlah peternak dari tahun ke tahun (Priyanto, 2018). Oleh karena itu, teknologi penanganan limbah ternak penting untuk terus dikaji.

Biokonversi secara anaerob (*anaerobic digestion*) merupakan salah satu metode untuk menangani limbah kotoran ternak. Melalui metode ini, digestat bahan organik seperti limbah kotoran ternak difermentasikan oleh konsorsium mikroba lokal pada kondisi tanpa oksigen dengan produk akhir berupa biogas (metana dan karbon dioksida) dan lumpur *slurry* atau *sludge* (Iriani dkk., 2017; Nasir dkk., 2014). Produk akhir *slurry* tersebut memiliki kandungan hara lengkap berupa hara makro (N, P, K, dll.), mikro (Fe, Zn, Mn, dll.) (Möller & Müller, 2012), dan juga fitohormon (*gibberelic acid* (GA), *indoleacetic acid* (IAA), dan *abscisic acid* (ABA)) (Li dkk., 2016); sehingga dapat digunakan sebagai pupuk organik untuk menyuburkan tanah dan tanaman (Dhaliwal dkk., 2019; Eckhardt dkk., 2018).

Proses biokonversi digestat secara anaerob terjadi dalam empat tahap yakni hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis (Nasir dkk., 2014). Pada tahap hidrolisis, terjadi biodegradasi senyawa organik kompleks (karbohidrat, protein, lipid, dll.) menjadi senyawa sederhana (gula, asam amino, asam lemak, dll.). Senyawa tersebut kemudian dikonversi menjadi berbagai asam lemak dan asam organik volatil pada tahap asidogenesis, yang kemudian dikonversi lagi menjadi asam asetat pada tahap asetogenesis. Terakhir, asetat dikonversi menjadi biogas (metana dan karbon

dioksida) sebagai produk akhir dan menyisakan produk samping lumpur *slurry* (Hublin & Zelić, 2013). Diperkirakan sejumlah 20–95% dari digestat awal dikonversi menjadi senyawa yang lebih sederhana pada digestat akhir atau *slurry* (Möller & Müller, 2012).

Proses biokonversi digestat limbah kotoran sapi secara anaerobik mengakibatkan berbagai perubahan karakter baik fisik maupun kimia seperti perubahan suhu, pH, kekentalan (viskositas), warna, dan bau (Möller & Müller, 2012; Song dkk., 2014). Perubahan tersebut diakibatkan oleh aktivitas mikroba dalam mendegradasi bahan organik yang dalam prosesnya melepaskan panas (kalor) dan menghasilkan berbagai jenis senyawa (amonias, asam organik, dll.) yang mengakibatkan naik turunnya suhu dan pH (Damsir dkk., 2016). Dinamika tersebut dipengaruhi berbagai faktor diantaranya total padatan, total N, total C, rasio C/N, dan struktur mikroba kotoran ternak (Song dkk., 2014). Lebih jauh lagi, hal tersebut dipengaruhi oleh karakter tiap ternak yang memiliki komposisi pakan, serapan nutrisi, dan struktur mikroba usus yang berbeda-beda sehingga memengaruhi karakter kotoran yang dihasilkannya (Li dkk., 2015).

Sejauh ini, penelitian tentang dinamika karakter fisik dan kimia digestat pada berbagai jenis kotoran ternak masih belum banyak dilakukan di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana perbedaan jenis kotoran ternak memengaruhi sifat fisik dan kimia digestat anaerob khususnya pada aspek aroma, warna, kekentalan, buih, suhu, dan pH. Temuan dari penelitian ini diharapkan akan menjadi dasar untuk penelitian selanjutnya guna melakukan optimasi biokonversi limbah kotoran ternak menjadi sumber hara bagi tanaman dalam bentuk pupuk organik.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada November – Desember 2022 di lahan percobaan milik Fakultas Pertanian, UPN “Veteran” Jawa Timur, Surabaya. Terdapat tiga jenis kotoran ternak yang digunakan yakni kotoran kambing, ayam, dan sapi yang diperoleh dari peternak lokal yang ada di wilayah Surabaya Raya. Bahan lain yang digunakan yakni aktivator *effective microorganism* EM4, daun lamtoro, urin sapi, dan air keran. Alat dan perlengkapan yang digunakan yakni tangki plastik, timbangan, gelas ukur, pengaduk, pH meter, dan termometer.

Pembuatan digestat dilakukan sebagaimana berikut: 200 g kotoran ternak (kambing, ayam, atau sapi), 300 g daun lamtoro segar, dan 150 ml urin sapi dicampur pada tangki plastik berkapasitas 10 l. Selanjutnya, 25 ml aktivator EM4 ditambahkan ke dalam tangki. Terakhir, air keran ditambahkan secukupnya dan diaduk hingga merata

agar diperoleh volume total digestat sebanyak 10 l. Tangki kemudian ditutup rapat dan digestat diinkubasi selama 14 hari. Sifat fisik dan kimia digestat yang diukur dan diamati meliputi aroma, warna, kekentalan, buih, pH, dan suhu. Aroma, warna, kekentalan dan buih diamati secara kualitatif berdasarkan skala ordinal. Adapun derajat keasaman/kebasaan dan suhu diukur menggunakan pH meter dan termometer digital portabel. Semua parameter diamati 2 hari sekali hingga 14 hari setelah inkubasi (HSI) kecuali suhu yang diamati mulai 6 HSI.

Percobaan didesain menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) sederhana dengan perlakuan tiga jenis kotoran ternak yaitu kotoran kambing (K_1), kotoran ayam (K_2), dan kotoran sapi (K_3). Percobaan diulang tiga kali sehingga diperoleh total 9 unit percobaan. Data pH dan suhu dinyatakan dalam bentuk rata-rata dan dianalisis menggunakan sidik ragam (ANOVA) serta dilanjutkan dengan uji beda nyata jujur (BNJ) (signifikansi 95%) jika diperlukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakter kualitatif digestat

Karakter kualitatif digestat berupa aroma, warna, kekentalan, dan buih yang diamati ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 1. menunjukkan karakter kualitatif digestat meliputi aroma, warna, kekentalan, dan buih yang diamati selama 14 hari masa inkubasi. Ketiga digestat memiliki level aroma yang sama di awal inkubasi (2 HSI) yaitu menyengat. Tetapi kemudian digestat ayam mengalami penurunan aroma pada 8 HSI (kurang menyengat) hingga tidak menyengat sama sekali pada 12 HSI. Hal ini berbeda dengan digestat kambing dan sapi yang tetap mempertahankan aromanya (menyengat) hingga akhir. Kemudian, karakter warna digestat kambing memiliki warna hijau tua (HiTu) dan digestat sapi warna hitam (Ht) yang tetap dari awal hingga akhir masa inkubasi. Hal ini berbeda dengan digestat ayam yang beberapa kali berubah warna dari awalnya hitam pekat (HtPek), berubah menjadi hitam (Ht), cokelat (Ck), dan cokelat kekuningan (CkKg) di akhir inkubasi. Dari segi kekentalan, digestat kambing dan sapi bersifat encer yang bertahan mulai awal hingga akhir. Hal ini berbeda dengan digestat ayam yang kental di awal tapi berubah menjadi encer mulai pertengahan hingga akhir inkubasi. Terakhir dari segi buih, digestat kambing dan sapi memiliki banyak buih di awal hingga akhir inkubasi. Hal ini berbeda dengan digestat ayam yang mengalami perubahan buih dari banyak (2 HSI), menjadi sedikit (6 HSI), dan tidak berbuih sama sekali (12 HSI). Dari data tersebut, diketahui bahwa digestat kambing dan sapi cenderung mengalami sedikit perubahan

Tabel 1. Karakter kualitatif tiga jenis digestat

Hari Setelah Inokulasi	Aroma			Warna		
	Kambing	Ayam	Sapi	Kambing	Ayam	Sapi
2	++	++	++	HiTu	HtPek	Hi
4	++	++	++	HiTu	HtPek	Hi
6	++	++	++	HiTu	Ht	Hi
8	++	+	++	HiTu	Ck	Hi
10	++	+	++	HiTu	CkKg	Hi
12	++	-	++	HiTu	CkKg	Hi
14	++	-	++	HiTu	CkKg	Hi

Hari Setelah Inokulasi	Kekentalan			Buih		
	Kambing	Ayam	Sapi	Kambing	Ayam	Sapi
2	+	++	+	++	++	++
4	+	++	+	++	++	++
6	+	+	+	++	+	++
8	+	+	+	++	+	++
10	+	+	+	++	+	++
12	+	+	+	++	-	++
14	+	+	+	++	-	++

Keterangan:

Aroma : Tidak Menyengat (-), Kurang Menyengat (+), Menyengat (++)

Warna : Hijau Tua (HiTu), Hijau (Hi), Hitam Pekat (HtPek), Hitam (Ht), Cokelat (Ck), Cokelat Kekuningan (CkKg)

Kekentalan: Cair (+), Kental (++)

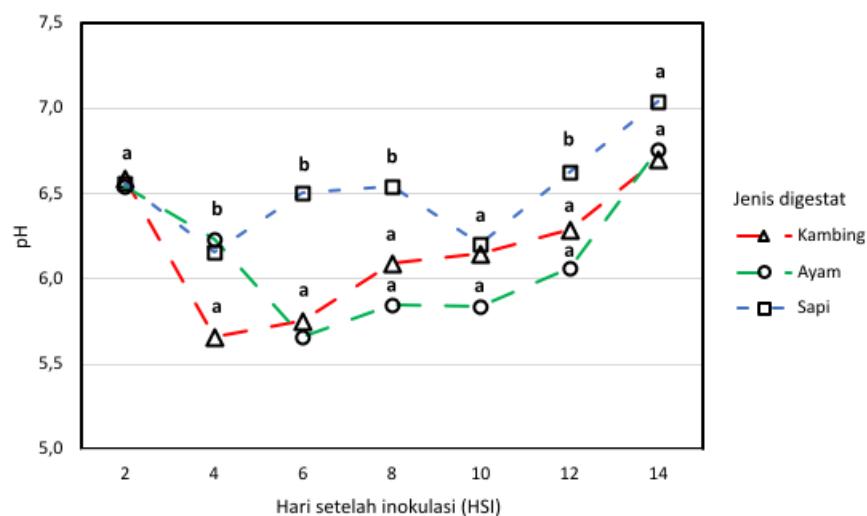
Buih : Tidak Ada (-), Sedikit (+), Banyak (++)

dan memiliki pola yang sama dari awal hingga akhir masa inkubasi. Di sisi lain, digestat ayam memiliki pola sendiri yang berbeda dan cenderung mengalami banyak perubahan karakter digestat selama masa inkubasi.

Karakter fisik digestat berhubungan erat dengan karakter jenis kotoran ternak yang dipengaruhi oleh berbagai hal diantaranya komposisi pakan, serapan nutrisi, dan struktur mikroba usus ternak tersebut (Li dkk., 2015). Kambing dan sapi merupakan hewan ruminansia dengan komposisi pakan utama berupa rumput-rumputan dan tetumbuhan. Selain itu, terdapat kedekatan struktur dan komposisi mikroba usus kambing dan sapi dikarenakan mencerna pakan yang sama. Hal ini menjadi penyebab kemiripan karakter antara digestat kambing dan sapi (Ansah dkk., 2019). Di sisi lain, ayam merupakan ternak unggas dimana pakannya terdiri dari olahan biji-bijian dan sereal (jagung, gandum, kedelai, dll.), serta memiliki sistem pencernaan yang jelas berbeda dengan hewan ruminansia (Khattak dkk., 2014). Hal ini mengakibatkan perbedaan karakter kotoran ayam dan memengaruhi karakter digestat ayam yang berbeda dengan kambing dan sapi.

Selanjutnya, pada keempat karakter kualitatif tersebut terlihat bahwa digestat kambing dan sapi cenderung lebih stabil selama masa inkubasi dibandingkan dengan digestat ayam. Hal ini dikarenakan kotoran sapi memiliki kadar padatan volatil (*volatile solid*) yang lebih tinggi dan senyawa organik terlarut (*dissolve organic carbon*) yang lebih rendah dibandingkan dengan kotoran ayam. Kedua hal tersebut mengakibatkan digestat sapi lebih sulit terdekomposisi serta membutuhkan waktu yang lebih lama untuk terdekomposisi sempurna dibandingkan dengan digestat ayam (Wang dkk., 2014). Implikasinya, masa inkubasi 14 hari diduga cukup untuk mendekomposisikan kotoran ayam; tetapi masih kurang untuk mendekomposisikan kotoran kambing dan sapi. Asumsi tersebut didukung dengan data dimana pada 14 HSI kotoran ayam sudah tidak memiliki aroma, memiliki warna yang berbeda dengan warna awal, serta tidak lagi memiliki buih yang mengindikasikan proses dekomposisi telah selesai dan aktivitas mikroba telah berkurang (Bonten dkk., 2014).

Dinamika pH digestat



Keterangan: Huruf pada diagram menunjukkan notasi hasil uji BNJ pada signifikansi 95%.

Gambar 1. Perubahan pH tiga jenis digestat selama masa inkubasi

Gambar 1. menunjukkan dinamika perubahan pH ketiga digestat selama masa inkubasi 14 hari. Derajat keasaman/kebasaan awal ketiga digestat relatif sama di 2 HSI (pH kambing 6,59; pH ayam 6,55; dan pH sapi 6,56). Selanjutnya, ketiga digestat mengalami penurunan pH di awal inkubasi dan kenaikan pH dipertengahan hingga akhir inkubasi. Penurunan terendah terjadi pada digestat kambing (pH 5,67) di 4 HSI, sementara penurunan pH terlama terjadi pada digestat ayam yang terjadi hingga 6 HSI. Setelah 14 HSI, ketiga digestat memiliki pH di kisaran normal (pH kambing 6,70; pH

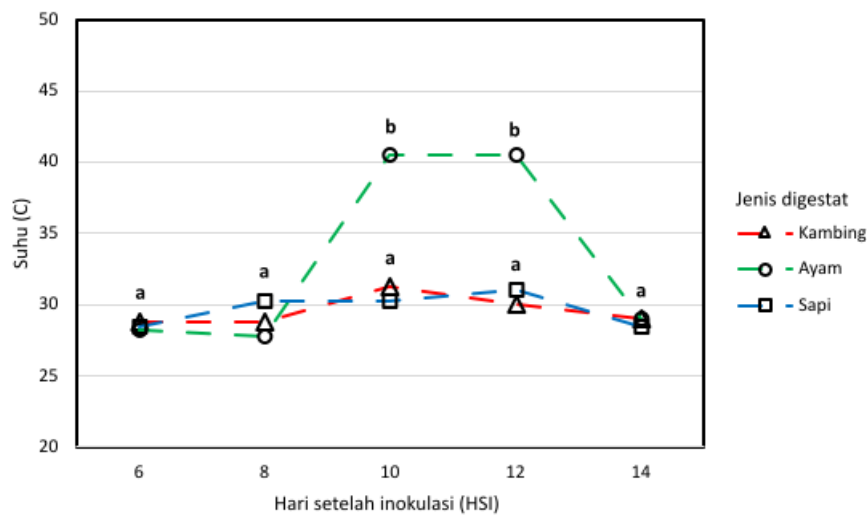
ayam 6,76; dan pH sapi 7,04). Secara keseluruhan, ketiga digestat memiliki pola pH yang sama yakni mengalami penurunan pH di awal inkubasi dan selanjutnya mengalami kenaikan pH mulai pertengahan hingga akhir inkubasi.

Tingkat keasaman atau pH digestat dipengaruhi oleh sifat kotoran ternak yang bergantung pada jenis pakan, mikroba usus, dan struktur pencernaan ternak tersebut. pH awal ketiga digestat cukup asam di kisaran 6,5. Hal ini dikarenakan kotoran ternak memang bersifat asam (Ansah dkk., 2019). Penurunan pH digestat di awal inkubasi berkaitan dengan proses hidrolisis dan asidogenesis pada biokonversi secara anaerob dimana senyawa organik kompleks didegradasi menjadi senyawa sederhana, lalu dikonversi lagi menjadi berbagai senyawa asam organik (asam asetat, asam format, dll.) sehingga mengakibatkan penurunan pH digestat (Hublin & Zelić, 2013; R. Wang dkk., 2021). Selanjutnya, kecenderungan naiknya pH di pertengahan inkubasi diduga diakibatkan oleh akumulasi ammonium (NH_4^+ pada pembentukan ammonium karbonat), reduksi ion H^+ pada pembentukan karbon dioksida ($\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2$), degradasi senyawa organik, dan mineralisasi ion-ion Ca^{2+} dan K^+ yang berdampak pada naiknya pH (Möller & Müller, 2012). Proses-proses tersebut terjadi pada tahap asetogenesis dan metanogenesis pada proses biokonversi secara anaerob (Nasir dkk., 2014). Akan tetapi, mengingat bahwa digestat kambing dan sapi memiliki sifat yang lebih susah terdekomposisi dibandingkan digestat ayam, kenaikan pH pada kedua digestat tersebut diprediksi akan terus terjadi setelah 14 HSI. Hal ini sebagaimana dijelaskan oleh Bonten dkk. (2014) bahwa pH akhir digestat kotoran ternak cenderung lebih tinggi daripada pH pupuk kandang dan dapat mencapai pH 7,3 – 9,0 pada digestat matang.

Dinamika suhu digestat

Gambar 2. menunjukkan dinamika perubahan suhu ketiga digestat selama 14 hari masa inkubasi. Suhu digestat mulai bisa diukur pada 6 HSI dikarenakan kendala teknis ketersediaan alat ukur saat penelitian dilakukan. Sebagaimana pada karakter kualitatif dan pH, digestat kambing dan sapi memiliki pola perubahan suhu yang relatif sama dan tidak berbeda nyata di semua waktu pengukuran. Suhu kedua digestat berada di kisaran 28°C di awal inkubasi (6 HSI), kemudian naik ke 30 – 31°C pada 10 – 12 HSI, dan kemudian turun hingga 28 – 29°C di akhir inkubasi. Pola yang berbeda ditunjukkan pada digestat ayam yang mengalami kenaikan suhu mencapai 40,5°C pada 10 dan 12 HSI sebelum kembali turun (29°C) di 14 HSI.

Proses dekomposisi bahan organik pada digestat merupakan reaksi eksotermik dimana sejumlah kalor dilepaskan ke lingkungan sehingga mengakibatkan kenaikan suhu (Xu dkk., 2020). Kalor tersebut dilepaskan karena berbagai senyawa organik kom-



Keterangan: Huruf pada diagram menunjukkan notasi hasil uji BNJ pada signifikansi 95%.

Gambar 2. Perubahan suhu tiga jenis digestat selama masa inkubasi

pleks (selulosa, lignin, protein, dsb.) didekomposisi menjadi senyawa sederhana oleh konsorsium mikroba lokal di dalam digestat dimana prosesnya melibatkan berbagai jenis enzim (Nyiraneza dkk., 2018; Song dkk., 2014). Sebagaimana pembahasan sebelumnya, dekomposisi bahan organik pada digestat dipengaruhi juga oleh jenis kotoran ternak. Wang dkk. (2014) menjelaskan bahwa kotoran ayam lebih mudah didekomposisi dibandingkan kotoran ruminansia karena kandungan padatan yang lebih rendah dan fraksi karbon organik terlarut yang lebih tinggi. Hal ini memengaruhi kenaikan suhu digestat ayam pada 10 dan 12 HSI yang lebih tinggi daripada digestat kambing dan sapi. Sementara itu, digestat kambing dan sapi memiliki pola perubahan suhu yang sama-sama lebih rendah dikarenakan keduanya merupakan hewan ruminansia sehingga memiliki kesamaan komposisi kotoran (Ansah dkk., 2019). Selain itu, kambing dan sapi memiliki kemiripan struktur mikroba usus karena memiliki kesamaan jenis pakan dan sistem pencernaan. Mikroba tersebut terbawa ke dalam kotoran dan berperan pada reaksi eksotermik saat mendekomposisikan bahan organik di dalam digestat (Song dkk., 2014). Hal ini menjelaskan kenapa kedua digestat tersebut memiliki pola dinamika suhu yang sama.

KESIMPULAN

Sifat fisik digestat kambing dan sapi cenderung tidak banyak berubah dibandingkan digestat ayam selama 14 hari inkubasi pada parameter aroma, warna, kekentalan, dan buih. Derajat keasaman/kebasaan ketiga digestat cenderung turun di awal inkubasi di kisaran pH 6,5 dan naik di pertengahan hingga akhir inkubasi di kisaran pH 7,0. Suhu digestat ayam mengalami kenaikan yang tinggi mencapai 40°C, sementara

digestat kambing dan sapi tidak mengalami kenaikan suhu yang signifikan. Suhu akhir ketiga digestat di kisaran 29°C. Secara umum, digestat kambing dan sapi memiliki kemiripan dinamika sifat fisik dan kimia dibandingkan digestat ayam pada karakter-karakter yang diamati. Selain itu, digestat kambing dan sapi cenderung lebih lambat didekomposisikan dibandingkan digestat ayam sehingga membutuhkan waktu inkubasi lebih lama. Temuan tersebut dikarenakan kotoran kambing dan sapi memiliki persamaan sifat kotoran yang dipengaruhi oleh komposisi pakan, struktur pencernaan, dan komposisi mikroba usus yang dimiliki hewan ruminansia yang berbeda dengan yang dimiliki hewan unggas seperti ayam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada praktikan dan asisten praktikum Sistem Pertanian Berkelanjutan golongan E2 tahun 2022, Prodi Agroteknologi, UPN Veteran Jawa Timur atas kontribusinya dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansah, K. O., Antwi, C., Osafo, E. L. K., Enning, S., & Adu-Dapaah, H. (2019). Manure characteristics of small ruminants fed agro by-products in the guinea savannah agro-ecological zone of Ghana. *Ghana Journal of Agricultural Science*, 54(1), 67–76. <https://doi.org/10.4314/gjas.v54i1.7>
- Bonten, L. T. C., Zwart, K. B., Rietra, R. P. J. J., Postma, R., De Haas, M. J. G., & Nysingh, S. L. (2014). *Bio-slurry as fertilizer: Is bio-slurry from household digesters a better fertilizer than manure?: a literature review*. Wageningen University and Research Center
- Damsir, S., Romli, M., Yani, M., & Herlambang, A. (2016). Karakteristik lindi hasil fermentasi anaerobik sampah kota dalam lisimeter dan potensi pemanfaatannya menjadi pupuk cair. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 26(2).
- Dhaliwal, S. S., Naresh, R. K., Mandal, A., Walia, M. K., Gupta, R. K., Singh, R., & Dhaliwal, M. K. (2019). Effect of manures and fertilizers on soil physical properties, build-up of macro and micronutrients and uptake in soil under different cropping systems: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 42(20), 2873–2900. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659337>
- Eckhardt, D. P., Redin, M., Santana, N. A., Conti, L. D., Dominguez, J., Jacques, R. J. S., & Antonioli, Z. I. (2018). Cattle manure bioconversion effect on the availability of nitrogen, phosphorus, and potassium in soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42.
- Hublin, A., & Zelić, B. (2013). Modelling of the whey and cow manure co-digestion process. *Waste Management & Research*, 31(4), 353–360.

- Iriani, P., Suprianti, Y., & Yulistiani, F. (2017). Fermentasi anaerobik biogas dua tahap dengan aklimatisasi dan pengkondisian pH fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 1(1), 1–10.
- Khattak, F., Ronchi, A., Castelli, P., & Sparks, N. (2014). Effects of natural blend of essential oil on growth performance, blood biochemistry, cecal morphology, and carcass quality of broiler chickens. *Poultry Science*, 93(1), 132–137. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03387>
- Li, K., Liu, R., & Sun, C. (2015). Comparison of anaerobic digestion characteristics and kinetics of four livestock manures with different substrate concentrations. *Bioresource technology*, 198, 133–140.
- Li, X., Guo, J., Dong, R., Ahring, B. K., & Zhang, W. (2016). Properties of plant nutrient: Comparison of two nutrient recovery techniques using liquid fraction of digestate from anaerobic digester treating pig manure. *Science of the Total Environment*, 544, 774–781.
- Maeanti, R. F., Fauzi, A., & Istiqomah, A. (2013). Evaluasi kelayakan finansial usaha peternakan dan pengembangan biogas: Studi kasus Desa Suntenjaya, Bandung. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, 14(1), 27–42.
- Möller, K., & Müller, T. (2012). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in life sciences*, 12(3), 242–257.
- Nasir, I. M., Mohd. Ghazi, T. I., Omar, R., & Idris, A. (2014). Bioreactor performance in the anaerobic digestion of cattle manure: A review. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 36(13), 1476–1483.
- Nursan, M., & Septiadi, D. (2020). Penentuan prioritas komoditas unggulan peternakan di Kabupaten Sumbawa Barat. *Jurnal Agribisnis Dan Ilmu Sosial Ekonomi Pertanian*, 5(1), 29–34.
- Nyiraneza, J., Vernon, R., Yvonne, U., Fraser, T. D., Erin, S., Fillmore, S., & Mills, A. (2018). Long-Term Manure Application Effects on Nutrients and Selected Enzymes Involved in Their Cycling. *Soil Science Society of America Journal*, 82(6), 1404–1414. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.12.0437>
- Priyanto, D. (2018). Prospek pengembangan sapi perah di luar Pulau Jawa (Kasus di Provinsi Sumatera Barat). *Prosiding Seminar Teknologi Agribisnis Peternakan (STAP) Fakultas Peternakan Universitas Jenderal Soedirman*, 6, 131–139.
- Song, C., Li, M., Jia, X., Wei, Z., Zhao, Y., Xi, B., Zhu, C., & Liu, D. (2014). Comparison of bacterial community structure and dynamics during the thermophilic composting of different types of solid wastes: Anaerobic digestion residue, pig manure and chicken manure. *Microbial biotechnology*, 7(5), 424–433.
- Wang, K., Li, X., He, C., Chen, C. L., Bai, J., Ren, N., & Wang, J. Y. (2014). Transformation of dissolved organic matters in swine, cow and chicken manures during composting. *Bioresource Technology*, 168, 222–228.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.03.129>

Wang, R., Lv, N., Li, C., Cai, G., Pan, X., Li, Y., & Zhu, G. (2021). Novel strategy for enhancing acetic and formic acids generation in acidogenesis of anaerobic digestion via targeted adjusting environmental niches. *Water Research*, 193, 116896. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116896>

Xu, H., Yun, S., Wang, C., Wang, Z., Han, F., Jia, B., Chen, J., & Li, B. (2020). Improving performance and phosphorus content of anaerobic co-digestion of dairy manure with aloe peel waste using vermiculite. *Bioresource Technology*, 301, 122753. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122753>