BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sapi Perah (Frisian Holstein)

Menurut Nuryadi (2020), klasifikasi Sapi Frisian Holstein (FH) adalah sebagai berikut :

Kingdom : Animalia
Filum : Chordata
Kelas : Mammalia
Ordo : Artiodactyla
Sub Ordo : Ruminantia
Famili : Bovidae
Genus : *Bos*
Spesies : *Bos taurus*

Sapi Frisian Holstein (FH) merupakan bangsa sapi perah yang paling banyak dipelihara di Indonesia karena kemampuan adaptasinya yang baik dan produktivitas susu yang tinggi (Siregar, 2022). Karakteristik fisik berupa corak belang hitam dan putih dengan batas yang tegas bukan sekadar ciri visual, melainkan juga indikator kemurnian genetik yang berpengaruh pada performa produksi (Santosa dkk., 2023).

Di sisi lain, tingginya laju metabolisme sapi FH untuk mendukung sekresi susu berdampak signifikan terhadap volume ekskreta yang dihasilkan setiap harinya. Seekor sapi perah dewasa mampu menghasilkan limbah feses dan urin dalam jumlah besar yang apabila tidak dikelola dengan baik akan meningkatkan emisi gas rumah kaca serta pencemaran amonia di lingkungan sekitar kandang (Hidayat dkk., 2024). Menurut Sunarto & Lutojo (2008), sapi perah diketahui mampu memproduksi limbah feses sekitar 15 hingga 20 kg per hari. Oleh karena itu, integrasi manajemen pakan berbasis kebutuhan nutrisi yang presisi dan sistem pengolahan limbah menjadi pupuk organik atau biogas menjadi krusial untuk menciptakan keberlanjutan usaha peternakan (Wahyudi, 2022).

2.2 Limbah Sapi Perah

Limbah yang dihasilkan dari aktivitas peternakan sapi perah memiliki karakteristik kompleks yang terdiri dari fase padat berupa ekskreta dan sisa pakan, serta fase cair yang didominasi oleh urin dan air sanitasi kandang. Seekor sapi perah dewasa dengan bobot rata-rata 450–500 kg mampu menghasilkan feses segar sebanyak 10% hingga 12% dari total bobot tubuhnya setiap hari (Putra et al., 2023). Secara kimiawi, limbah padat tersebut mengandung senyawa makromolekul berupa selulosa (25-30%), hemiselulosa (15-20%), dan lignin (5-10%) yang memerlukan waktu degradasi cukup lama jika dibiarkan di lingkungan terbuka (Fahmi & Setiyawan, 2021). Kandungan bahan organik yang tinggi ini menjadi media pertumbuhan mikroorganisme anaerob yang memicu proses pembusukan alami, sehingga berpotensi menimbulkan bau tidak sedap dan pencemaran udara di sekitar pemukiman penduduk (Suryani et al., 2022).

Dampak ekologis dari akumulasi limbah yang tidak terkelola mencakup peningkatan emisi gas metana (CH_4) dan nitrogen oksida (N_2O) yang berkontribusi signifikan terhadap pemanasan global (Hasanah et al., 2024). Namun demikian, potensi nutrien dalam limbah tersebut, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, memberikan peluang besar untuk dikonversi menjadi pupuk organik cair maupun padat yang berkualitas tinggi melalui teknologi pengomposan atau fermentasi anaerob (Wardani & Pratama, 2020). Integrasi sistem pengolahan limbah menjadi biogas atau pupuk hayati bukan hanya langkah mitigasi polusi, melainkan juga strategi peningkatan nilai tambah ekonomi bagi peternak dalam mewujudkan konsep pertanian sirkular yang berkelanjutan (Budiman, 2021).

2.3 Dampak Negatif Akumulasi Limbah Peternakan

Limbah yang menumpuk tanpa pengelolaan menimbulkan dampak negatif yang kompleks terhadap ekosistem antara lain:

2.3.1 Polusi Bau (Malodor)

Proses dekomposisi anaerobik pada feses yang menumpuk memicu pelepasan senyawa *Volatile Organic Compounds* (VOCs) dan gas anorganik yang menyengat. Gas Amonia (NH_3) dan Hidrogen Sulfida (H_2S) merupakan produk sampingan utama dari perombakan protein dan asam amino oleh bakteri anaerob. Menurut Walker et al. (2022), konsentrasi gas ini tidak hanya menurunkan kualitas udara secara estetika, tetapi juga dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan pada manusia dan ternak itu sendiri jika terpapar dalam jangka panjang di ruang tertutup.

Selain dampak kesehatan fisik, bau busuk atau *malodor* menciptakan konflik sosial yang signifikan antara pemilik peternakan dan masyarakat pemukiman. Wijaya (2023) menekankan bahwa persepsi bau yang buruk sering kali menurunkan nilai properti di sekitar lokasi dan memicu stres psikologis bagi warga.

2.3.2 Pencemaran Air

Leachate atau lindi dari tumpukan feses yang meresap ke dalam tanah dapat meningkatkan kadar residu nitrat dan bakteri *E. coli* pada air tanah dan sumur warga (Sari & Pratama, 2024). Selain itu, infiltrasi ini sering kali membawa patogen berbahaya seperti *Salmonella* dan *Escherichia coli* yang mencemari cadangan air minum penduduk (Harun et al., 2021).

Berdasarkan penelitian Putra (2023) yang menyatakan bahwa kegagalan pengelolaan limbah di area hulu sungai secara langsung merusak biodiversitas ekosistem akuatik di bagian hilir, sehingga mengancam keberlangsungan hidup biota air.

2.3.3 Degradasi Kualitas Tanah

Meskipun feses mengandung unsur hara, penumpukan yang berlebihan tanpa kontrol dapat merusak struktur fisik dan kimia tanah. Akumulasi nitrogen dan fosfor yang tidak terserap tanaman menyebabkan ketidakseimbangan pH tanah, yang menurut Hidayat et al. (2021) dapat mematikan mikroorganisme tanah yang menguntungkan. Tanah yang jenuh akan nutrisi tertentu justru menjadi

toksik bagi beberapa jenis vegetasi lokal, menghambat pertumbuhan akar, dan mengurangi kapasitas infiltrasi tanah terhadap air (Olatunji & Bakare, 2023).

Lebih lanjut, penggunaan antibiotik pada ternak yang residunya terbawa ke dalam feses menimbulkan ancaman jangka panjang bagi kesehatan tanah. Lee et al. (2022) menemukan bahwa residu obat-obatan ini dapat membunuh bakteri nitrifikasi alami dan mendorong munculnya bakteri resistan antibiotik (ARBs) di lingkungan tanah. Penelitian oleh Kurniawan (2024) dan Susanto & Sari (2020) menyimpulkan bahwa tanpa proses pengomposan yang sempurna, limbah feses segar justru akan menurunkan produktivitas lahan pertanian di sekitar area pembuangan akibat salinitas tinggi dan akumulasi logam berat dari sisa pakan.

2.3.4 Ledakan Populasi Lalat dan Vektor Penyakit

Tumpukan limbah feses yang lembap dan hangat menyediakan media perkembangbiakan (*breeding ground*) yang ideal bagi lalat, terutama spesies *Musca domestica*. Menurut Rahman (2023), siklus hidup lalat yang singkat di area limbah memungkinkan terjadinya ledakan populasi dalam waktu singkat, yang secara langsung meningkatkan gangguan di lingkungan pemukiman. Lalat-lalat ini berperan sebagai vektor mekanis yang membawa jutaan mikroorganisme patogen pada kaki dan tubuh mereka dari limbah menuju makanan manusia (Gomez et al., 2021).

Risiko transmisi penyakit pencernaan seperti diare, kolera, dan tifus meningkat tajam pada masyarakat yang tinggal dalam radius terbang lalat dari lokasi limbah. Tanaka & Kim (2022) menyebutkan bahwa keberadaan lalat dalam jumlah besar juga menjadi indikator sanitasi yang buruk dan dapat menurunkan standar higienitas produk peternakan itu sendiri.

2.4 Penanganan Limbah Peternakan

Pengelolaan limbah peternakan saat ini sudah jauh berubah. Dahulu limbah ternak hanya dianggap sebagai sampah yang harus dibuang, akan tetapi sekarang dipandang sebagai sumber daya yang bisa diolah kembali. Melalui konsep ekonomi sirkular, limbah seperti feses dan urine dapat diproses menjadi produk yang lebih bermanfaat seperti, pupuk atau energi yang memiliki manfaat atau nilai jual dan tetap aman bagi kelestarian lingkungan. Menurut Widyastuti (2021), stabilisasi biologis melalui pengomposan aerobik tetap menjadi metode yang paling aplikatif ditingkat peternak rakyat karena kemampuannya mendegradasi bahan organik secara efektif dan membunuh patogen melalui suhu termofilik. Penelitian oleh Prasetyo et al. (2023) menunjukkan bahwa penambahan bioaktivator spesifik dalam proses pengomposan tidak hanya mempercepat waktu dekomposisi, tetapi juga meningkatkan kandungan hara makro yang esensial bagi kesuburan struktur fisik tanah.

Selain pengomposan, teknologi bio-digestor untuk menghasilkan biogas merupakan pilar krusial dalam mitigasi emisi gas rumah kaca di sektor peternakan. Proses pencernaan anaerobik ini mengubah material organik menjadi metana (CH_4) sebagai sumber energi terbarukan, sekaligus menghasilkan *slurry* atau bio-sludge sebagai pupuk cair berkualitas tinggi. Hasanah et al. (2022) menegaskan bahwa integrasi teknologi biogas di kawasan peternakan terpadu mampu mengurangi ketergantungan pada energi fosil secara signifikan. Sejalan dengan itu, Nugraha & Saputra (2024) serta Fauzi et al. (2020) menyoroti pentingnya standarisasi pengolahan limbah cair untuk mencegah kontaminasi badan air. Melalui kombinasi filtrasi bertingkat dan stabilisasi biologis, limbah yang semula berbahaya bagi ekosistem dapat ditransformasi menjadi input pertanian yang mendukung keberlanjutan pangan nasional (Sutrisno, 2025).

2.5 Vermikomposting

Vermikomposting adalah cara mengolah limbah organik (seperti kotoran ternak) dengan memanfaatkan bantuan cacing tanah dan bakteri secara bersamaan. Dalam sistem ini, cacing tanah berfungsi sebagai bio-reaktor alami yang melakukan fragmentasi mekanis terhadap material organik, sehingga meningkatkan luas permukaan yang dapat diakses oleh mikroba untuk dekomposisi lebih lanjut (Edwards et al., 2021). Proses ini secara signifikan memperbaiki porositas dan aerasi media, yang memicu pertumbuhan bakteri aerobik fungsional guna mempercepat siklus mineralisasi hara (Prasetyo & Utami, 2022).

Hasil akhir dari proses ini adalah pupuk kascing (pupuk bekas cacing), sebuah produk bio-organik yang memiliki kualitas superior dibandingkan kompos konvensional karena konsentrasi hara makro dan mikronya yang lebih tersedia bagi tanaman. Kascing mengandung substansi humat dan berbagai fitohormon seperti auksin, sitokinin, dan giberelin yang berperan krusial dalam menstimulasi pertumbuhan akar serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen (Wibowo & Nugroho, 2024). Selain itu, granulasi kascing yang remah memberikan struktur tanah yang lebih baik, meningkatkan kapasitas menahan air (*water holding capacity*), dan menyediakan lingkungan mikrobiologis yang kaya akan enzim esensial bagi kesuburan tanah berkelanjutan (Hidayat dkk., 2022).

2.6 Cacing Afrika (Eudrilus eugeniae)

Menurut Edwards et al. (2021), cacing afrika atau *African Nightcrawler* secara taksonomi diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom : Animalia
Filum : Annelida
Kelas : Clitellata
Ordo : Opisthopora
Famili : Eudrilidae
Genus : *Eudrilus*
Spesies : *Eudrilus eugeniae*

Spesies ini merupakan jenis cacing tanah epigeik tropis yang sangat efektif digunakan dalam sistem vermikomposting karena kemampuannya dalam mendegradasi material organik secara cepat. Menurut Sutanto (2023), keunggulan utama *E. eugeniae* dibandingkan spesies lain adalah laju pertumbuhan dan reproduksinya yang sangat tinggi, serta memiliki toleransi yang sangat baik terhadap suhu lingkungan yang hangat. Hal ini membuat cacing tersebut sangat kompatibel dengan iklim tropis di Indonesia, di mana suhu rata-rata harian mendukung metabolisme cacing secara optimal untuk bekerja sebagai bio-reaktor alami.

Secara fungsional, *E. eugeniae* dikenal memiliki kapasitas konsumsi limbah organik yang luar biasa, di mana seekor cacing dewasa mampu mengonsumsi material organik hingga seberat bobot tubuhnya dalam satu hari (Putra dkk., 2024). Pendapat mengenai kemampuan konsumsi cacing Afrika yang mampu memakan limbah organik sebanyak 2 sampai 5 kali berat tubuhnya setiap hari dikemukakan oleh Lakshmi Prabha dkk (2007). Laju dekomposisi yang cepat ini berkontribusi pada percepatan mineralisasi unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium yang terikat dalam limbah feses ternak (Hasanah & Wijaya, 2022). Selain itu, aktivitas pergerakan cacing ini dalam media menciptakan porositas yang baik, sehingga meningkatkan aerasi yang memicu proliferasi mikroba fungsional (Ramadhan dkk., 2025). Proses biologis yang intensif ini menghasilkan kascing dengan tekstur remah yang kaya akan substansi humat dan enzim esensial, yang sangat bermanfaat dalam meningkatkan kesuburan fisik maupun biologi tanah (Wahyudi, 2023).

2.7 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan agen biologis dan kimia dalam menangani limbah peternakan, beberapa contoh penelitian tersebut antara lain:

2.7.1 Biokonversi Menggunakan Maggot (Black Soldier Fly)

Penggunaan larva *Black Soldier Fly* (BSF) atau *Hermetia illucens* telah menjadi tren utama dalam pengelolaan limbah organik karena

kemampuannya yang luar biasa dalam mereduksi biomassa. Hidayat (2022) dalam studinya menunjukkan bahwa maggot mampu mengonsumsi dan mereduksi massa limbah feses hingga 60-70% dalam waktu yang relatif singkat. Namun, efektivitas proses ini sangat bergantung pada kondisi lingkungan; kelembapan yang terlalu tinggi dapat menghambat respirasi larva dan memicu timbulnya aroma busuk akibat pembusukan material yang tidak sempat dikonsumsi (Aziz et al., 2021).

Selain faktor lingkungan, nutrisi hasil biokonversi maggot sangat bergantung pada jenis substrat limbah yang diberikan. Wardhana et al. (2023) menjelaskan bahwa meskipun maggot efektif mengurangi volume limbah, diperlukan manajemen residu (bekas maggot) agar tidak menjadi akumulasi limbah baru. Penelitian pendukung dari Zulkarnain et al. (2024) juga menekankan bahwa kontrol suhu pada reaktor BSF sangat krusial untuk menjaga siklus hidup larva tetap optimal, mengingat fluktuasi suhu yang ekstrem dapat menurunkan nafsu makan larva dan memperlambat proses penguraian secara signifikan.

2.7.2 Penambahan Biochar dan Bahan Kimia

Pendekatan lain dalam memitigasi dampak limbah adalah penggunaan agen absorben seperti biochar dan bahan kimia untuk mengikat emisi gas. Tan et al. (2023) menemukan bahwa penggunaan biochar yang dicampur ke dalam feses ternak mampu mengikat amonia dan meningkatkan retensi nitrogen dalam pupuk hasil akhir. Meskipun sangat efektif dalam menekan polusi bau, metode ini sering kali terbentur pada kendala biaya operasional yang tinggi dan ketersediaan bahan baku biochar yang belum merata di tingkat peternak kecil (Saputro & Widodo, 2022).

Di sisi lain, penggunaan bahan kimia penstabil pH juga efektif untuk mencegah penguapan gas volatil, namun berisiko merusak kualitas biologis tanah dalam jangka panjang. Menurut Fikri et al. (2021), penambahan bahan kimia secara berlebihan dapat mematikan

mikroba alami yang berperan dalam kesuburan tanah. Studi oleh Lestari (2024) menyimpulkan bahwa meskipun agen kimia memberikan hasil instan dalam penghilangan bau, pendekatan ini kurang berkelanjutan jika dibandingkan dengan metode hayati yang lebih alami dan mendukung regenerasi ekosistem tanah.

2.7.3 Keunggulan Vermikomposting (*Eudrilus eugeniae*)

Berbeda dengan maggot yang lebih fokus pada pengurangan volume sampah, penggunaan cacing tanah spesies *Eudrilus eugeniae* lebih menonjolkan peningkatan kualitas output berupa bekas cacing (kascing). Ramli (2024) menyatakan bahwa vermikomposting menghasilkan struktur pupuk yang jauh lebih halus, kaya akan hormon pertumbuhan tanaman (auksin dan sitokinin), serta memiliki porositas yang lebih baik bagi perakaran. Selain itu, metode ini dianggap lebih ramah secara visual dan estetika bagi masyarakat umum yang ingin mempraktekkannya di skala rumah tangga dibandingkan dengan budidaya larva serangga (Indrawan et al., 2023).

Pemanfaatan cacing tanah ini juga terbukti mampu menurunkan kadar logam berat dalam limbah organik melalui proses bioakumulasi. Nugraha et al. (2022) mengobservasi bahwa aktivitas mikroba di dalam usus cacing mempercepat stabilisasi bahan organik menjadi humus yang siap pakai. Hal ini didukung oleh temuan Arifin et al. (2025) yang menunjukkan bahwa kascing memiliki kapasitas ikat air yang lebih tinggi, sehingga sangat bermanfaat untuk rehabilitasi tanah di area kering. Dengan demikian, vermikomposting menawarkan solusi ganda: penanganan limbah yang bersih sekaligus produksi pupuk organik berkualitas premium.

2.7.4 Persepsi Masyarakat terhadap Inovasi Vermikomposting

Menurut Sihombing (2020), efektivitas vermiteknologi sangat bergantung pada penerimaan masyarakat, di mana persepsi positif muncul ketika masyarakat merasakan langsung berkurangnya aroma tidak sedap dan hilangnya sarang lalat di sekitar area pembuangan sampah. Hal ini diperkuat oleh temuan Prasetyo (2021) yang

menyatakan bahwa inovasi ini tidak hanya dipandang sebagai solusi sanitasi, tetapi juga sebagai metode preventif untuk mencegah ledakan populasi vektor penyakit yang biasanya muncul pada tumpukan sampah konvensional.

Di sisi lain, aspek perlindungan sumber daya alam seperti pencegahan pencemaran air dan tanah menjadi indikator utama dalam keberhasilan adopsi teknologi ini. Lestari (2022) menyoroti bahwa masyarakat cenderung mendukung inovasi cacing setelah memahami bahwa hasil sampingan berupa kascing (bekas cacing) dapat memperbaiki struktur tanah dan mencegah pelindian nutrien ke air tanah. Namun, Hidayat (2023) menekankan adanya tantangan berupa skeptisisme awal terkait higienitas penggunaan cacing; oleh karena itu, sosialisasi yang masif mengenai keamanan lingkungan sangat krusial untuk mengubah stigma negatif menjadi dukungan terhadap keberlanjutan ekosistem lokal.