

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tandan Kosong Sawit (tankos sawit)

Pemrosesan kelapa sawit untuk menghasilkan minyak kelapa sawit atau CPO (*Caln Palm Oil*) menghasilkan jenis limbah padat antara lain tandan kosong sawit, serat mesocarp, dan cangkang (Erivianto et al., 2016; Yenie & Andesgur, 2016). Tandan kosong sawit adalah limbah dari proses pengolahan kelapa sawit yang tidak dimanfaatkan setelah proses pemisahan tandan yang sudah direbus dari buahnya (Sarwono et al., 2023). Ketersediaan Tandan kosong sawit setiap tahun cukup banyak, sekitar 20 - 25 % dari Tandan Buah Segar yang diolah. Pabrik pengolahan minyak sawit di Indonesia diperkirakan memproses 10 juta ton Tandan Buah Segar setiap tahunnya dan dari jumlah tersebut terdapat sekitar 2,7 juta ton tandan kosong kelapa sawit sebagai limbah padat industri kelapa sawit (Bariyanto et al., 2015).

Tandan kosong sawit adalah material organik yang memiliki potensi sebagai pupuk, sebab tersedia dalam jumlah besar dan mampu meningkatkan sifat fisik, kimia, serta biologi tanah. Manfaat tandan kosong kelapa sawit antara lain meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) dan pH tanah, mengandung 1 unsur hara N, P, K dan Mg, dapat berperan sebagai mulsa dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah (Sembiring et al., 2015). Tandan kosong sawit adalah sumber bahan organik yang banyak mengandung unsur hara dengan 0,74-0,98% Nitrogen ; 0,06-0,07% Fosfor; 2,10-2,18% Kalium ; 0,16-0,40% Kalsium ; dan 0,13-0,15% Magnesium (Nurrohmanysah et al., 2019). Pemanfaatan tandan kosong sawit sebagai bahan dasar pupuk dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung. Pemakaian secara langsung dilakukan dengan menyebarkan tandan kosong di area piringan, sementara jika dilakukan secara tidak langsung, maka perlu melalui proses pengomposan terlebih dahulu. Pengembalian bahan organik dari kelapa sawit ke dalam tanah akan mempertahankan keberlangsungan kandungan bahan organik dan nutrisi di dalam tanah. Di samping itu, proses pengembalian bahan organik ini juga akan berdampak pada populasi mikroba di dalam tanah yang akan memengaruhi kesehatan serta mutu tanah, baik secara langsung maupun tidak langsung. (Rahayu, 2022).

2.2 Feses Sapi

Kotoran hewan berfungsi sebagai sumber nitrogen yang memberikan energi bagi mikroorganisme dalam menjalani proses pemulihan. Kotoran hewan berupa feses sapi merupakan sumber dari pupuk organik (Mangalisu et al., 2022). Pupuk organik atau bahan organik berasal dari hewan peliharaan atau tanaman seperti kotoran sapi, kambing, dan ayam serta sisa tanaman padi. Kotoran sapi adalah sumber daya yang sangat berharga untuk menghasilkan pupuk organik. (Susanti et al., 2024).

Feses dari sapi dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan jika tidak melalui proses pengolahan untuk dijadikan pupuk kompos. Semakin banyak peternakan, maka semakin meningkat juga jumlah limbah yang akan dihasilkan. (Sjofjan, 2021). Maka dari itu diperlukan adanya pengolahan kompos untuk membantu menangani masalah tersebut. Di samping itu, pengelolaan limbah ternak bisa memberikan kontribusi pada ekonomi serta mengurangi polusi lingkungan yang disebabkan oleh banyaknya kotoran sapi. (Fuad & Winarsih, 2021).

Feses dari sapi dapat digunakan sebagai pupuk apabila telah mengalami pengolahan pengomposan secara matang dengan ciri-ciri (warna, tekstur, bau, dan kadar air) yang sudah berubah dari keadaan semulanya. Secara umum, feses sapi sering dimanfaatkan sebagai pupuk organik karena ketersediaannya yang lebih melimpah dibanding kotoran hewan lain. Kemungkinan volume feses sapi dapat diukur dari jumlah populasi sapi, jika jumlah sapi meningkat, maka produksi kotorannya juga akan bertambah. Peluang ini sangat luas untuk dikelola dan dimanfaatkan kembali sebagai pupuk kompos oleh masyarakat. Menurut Junaidi et al., (2023) Pemanfaatan limbah ternak (kotoran sapi) merupakan alternatif yang sangat tepat agar masyarakat tidak perlu mengeluarkan biaya lebih untuk membeli pupuk dan kotoran sapi tidak terbuang sia sia dengan dijadikan suatu produk (Fuad & Winarsih, 2021).

2.3 *Effective Microorganism* (EM4)

Cairan berwarna cokelat (EM4) mengandung campuran beberapa mikroorganisme hidup yang bermanfaat bagi proses penyerapan dan penyediaan nutrisi di dalam tanah. EM4 terdiri dari campuran mikroorganisme baik yang terdiri dari 80 genus (Ponidi & Rizaldy, 2023; Yenie & Andesgur, 2016). Mikroorganisme

baik tersebut terdiri dari bakteri fotosintetik (*Rhodospseudomonas sp.*), bakteri asam laktat (*Lactobacillus sp.*), ragi (*Saccharomyces sp.*), *Actinomyces*, dan jamur fermentasi (*Aspergillus* dan *Penicilium*) (N. P. Sari et al., 2021; Sarwono et al., 2023). Oleh karena itu, EM4 tidak dianggap sebagai zat berbahaya, seperti yang ditemukan dalam insektisida, pestisida, atau pupuk kimia lainnya. EM4 memiliki karakteristik berupa larutan berwarna kecoklatan dengan pH diantara 3,5-4,0 serta mengandung mikroorganisme aerob dan anaerob. Akar tanaman dapat menyerap molekul terlarut seperti asam amino, sakarida, dan alkohol secara langsung. Bakteri fotosintetik menghasilkan senyawa yang berguna untuk memproduksi asam amino, asam nukleat, dan zat bioaktif yang berasal dari gas beracun dan membantu mengikat nitrogen dari atmosfer.

EM4 memiliki fungsi mengikat nitrogen dari udara, menghasilkan senyawa yang berfungsi sebagai antioksidan, mengurangi bau dari limbah, melonggarkan tanah, meningkatkan daya dukung tanah, dan memperbaiki kualitas air. Bakteri asam laktat memiliki fungsi untuk menfermentasi bahan organik menjadi asam laktat, mempercepat perombakan bahan organik, lignin dan selulosa, dan menggunakan asam laktat yang diproduksi untuk menekan mikroba patogen (Fatma, 2017). *Actinomyces* akan menghasilkan zat anti mikroba dari asam amino yang dihasilkan dari bakteri fotosintetik. Ragi akan menghasilkan zat antibiotic, enzim dan hormon, Selain itu sekresi ragi akan menjadi substrat untuk mikroorganisme efektif bakteri asam laktat *actinomyces*. Cendawan dari hasil fermentasi dapat mengurai bahan organik secara cepat, dan menghasilkan produk sampingan berupa alkohe ester anti mikroba yang dapat menghilangkan bau busuk (Fatma, 2017).

2.4 Molase

Molase merupakan produk sampingan dari limbah pengolahan gula yang masih memiliki kandungan gula dan asam organik. Molase diketahui masih banyak mengandung gula dengan kandungan sukrosa yang cukup tinggi sebesar 48,8% (Unto et al., 2023) dan sampai 55 % (Hidayati et al., 2022). Mikroorganisme pada molase memiliki fungsi untuk menjaga keseimbangan karbon dan nitrogen yang merupakan faktor penentu keberhasilan dalam proses fermentasi. Fungsi molase dalam proses fermentasi adalah sebagai zat aditif yang memiliki fungsi untuk meningkatkan populasi mikroba, karena dalam molase terdapat nutrisi bagi bakteri

Sacharomyces cerevisiae untuk tumbuh dan berkembang (Kamaliyah & Wahyuni, 2023).

2.5 Fermentasi

Fermentasi berasal dari bahasa latin “*ferfere*” yang memiliki artian makna mendidihkan (Fatimah et al., 2013). Fermentasi merupakan proses menguraikan senyawa organik yang memiliki peran untuk menghasilkan sebuah energi. Fermentasi juga terjadi proses pengubahan bahan baku yang akan digunakan menjadi sebuah produk dengan bantuan mikroba dalam keadaan anaerob (Surianti et al., 2020). Fermentasi juga salah satu penerapan proses metabolisme mikroba untuk mengkonversi sampah organik menjadi produk yang memiliki nilai tinggi seperti pupuk kompos dan pupuk organik. Selain itu, fermentasi memecah zat kompleks menjadi zat yang lebih sederhana menyebabkan proses penyerapan pada suatu organisme menjadi lebih mudah.

Selama proses fermentasi, akan dihasilkan molekul yang lebih kompleks yang dikenal sebagai senyawa volatil, yang memiliki bau yang khas. Zat yang mudah menguap ini akan meningkatkan rasa dan aroma bahan organik yang difermentasi, sehingga menarik organisme untuk mengonsumsi lebih banyak. Waktu optimal untuk proses fermentasi sampah organik berkisar 1 sampai 2 hari tergantung dari jumlah mikroba yang digunakan serta melihat dari kondisi pH (Muin et al., 2015). Mikroba memiliki pergerakan yang paling aktif pada saat fase logaritmik, atau setelah 5 hari. Menurut Wahyuningsih & Zulaika (2019), mikroba setelah mengalami fase deklinasi dan fase pertumbuhan atau stationer, maka populasi mikroba akan tumbuh lebih lambat. Ini diikuti oleh fenomena di mana jumlah mikroba yang hidup dan mati hampir memiliki jumlah yang sama, untuk mencegah peningkatan mikroba. Bakteri selanjutnya akan berada pada fase sekarat setelah fase diam.

2.6 Prinsip Pengomposan

Metode pengolahan bahan organik menjadi pupuk organik yang bermanfaat bagi petani dan tidak memiliki dampak negatif terhadap lingkungan atau pengguna adalah pengomposan. Proses pengomposan dilakukan dalam 2 cara yaitu secara aerob (dengan udara) dan anaerob (tanpa udara) (Haloho et al., 2021). Material yang

digunakan sebagai bahan baku produksi kompos berupa bahan organik, contohnya adalah tandan kosong sawit (Tankos).

Menurut Mardwita et al., (2019) proses pengomposan terjadi dalam 2 tahap, yaitu tahap aktif dan tahap pematangan. Tahap pertama pengomposan melibatkan penguraian oksigen dan zat-zat yang mudah terurai untuk digunakan oleh bakteri mesofilik. Sebagai hasil dari aktivitas mikroba, pH pupuk akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu pupuk hingga mencapai kisaran 50°C hingga 70°C. Bakteri termofilik adalah jenis bakteri yang berkembang biak dalam suhu panas ekstrem dan kondisi lainnya. (Ginting, 2020). Kondisi tersebut terjadi akibat dari proses penguraian berjalan sangat aktif, akibat dari proses tersebut dihasilkan CO₂, uap, dan panas. Apabila panas dari hasil proses pengomposan sudah menurun menandakan proses penguraian sudah selesai. Menurut Siagian et al (2021) penurunan tersebut disebabkan oleh aktivitas mikroba menurun dalam menguraikan kadar bahan organik yang tersedia serta menunjukkan bahwa kompos telah memasuki fase kematangan. Hal tersebut juga didukung oleh pernyataan dari (Dewilda & Darfyolanda (2017) bahwa kompos dinyatakan matang jika sudah mencapai suhu air tanah yaitu $\leq 30^{\circ}\text{C}$.

2.7 Preferensi Makan

Preferensi makan adalah kecenderungan organisme dalam memilih jenis pakan tertentu berdasarkan kandungan nutri, tekstur, kelembapan, serta ketersediaan zat yang menunjang proses metabolisme dan pertumbuhan. Pada *Lumbricus rubellus*, preferensi makan sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan organik yang diberikan, seperti tingkat dekomposisi, kandungan serat kasar, rasio karbon dan nitrogen (C/N), serta keberadaan mikroorganisme hasil fermentasi (S. Liberty et al., 2022). Selain itu, *Lumbricus rubellus* menunjukkan preferensi yang kuat terhadap jenis serasah tanaman tertentu, dan seringkali menolak serasah segar dan lebih memilih bahan yang sudah tua dan telah mengalami pelapukan (Rief et al., 2012).

Bahan organik seperti tandan kosong sawit (Tankos) dan feses sapi dapat dimanfaatkan sebagai media pakan, namun keduanya memiliki karakteristik fisik dan kimia yang berbeda. Fermentasi menjadi metode penting untuk meningkatkan preferensi makan dan daya cerna bahan tersebut, sehingga mempengaruhi pilihan

makan cacing. *Lumbricus rubellus* cenderung memilih bahan organik yang telah mengalami dekomposisi awal karena lebih mudah dicerna dan mengandung mikroba yang mempercepat proses humifikasi (Arancon et al., 2004). Oleh karena itu, variasi fermentasi Tankos dan feses sapi dapat memengaruhi preferensi makan *Lumbricus rubellus*, yang berdampak langsung pada produktivitas dan kualitas vermikompos yang dihasilkan.

2.8 Vermicomposting

Vermicomposting adalah metode dilakukan dengan bantuan cacing sebagai pengurai, dan hasilnya berupa vermikompos atau disebut kascing (Arohman et al., 2023). Pengomposan ini akan menghasilkan berat massa cacing dan cacing akan bertambah banyak dikarenakan melakukan proses perkembangbiakan dan menghasilkan kompos dari kotorannya. Vermikompos adalah pupuk organik yang dihasilkan dari proses pencernaan cacing (Hazra et al., 2018), berupa kotoran berbentuk butiran halus yang berwarna coklat gelap, tidak berbau, ditemukan biasanya pada lapisan paling atas dan mudah terserap oleh air (Tanzil et al., 2023).

Proses *vermicomposting* melibatkan beberapa tahap yaitu dari persiapan sampah organik yang akan digunakan, kemudian sampah organik difermentasi menggunakan bioaktivator untuk mempercepat fermentasi sampah. Sampah organik yang sudah difermentasi kemudian ditempatkan di media khusus bersama cacing tanah. Aktivitas dari cacing tanah akan mempercepat penguraian sampah organik, selain itu akan meningkatkan kualitas hasil kompos dengan menciptakan pupuk yang lebih kaya akan nutrisi (S. Liberty et al., 2022). Cacing yang sering digunakan dalam proses pengomposan adalah *Eisenia foetida* dan *Lumbricus rubellus*. Kedua cacing tersebut dapat digunakan dalam pembuatan vermikompos karena konsumsi bahan organik yang tinggi dan mampu mentoleransi perubahan lingkungan secara luas (Fatahillah, 2017).

Hasil *vermicomposting* dibagi menjadi 4 macam berdasarkan bentuk fisiknya. Hasil *vermicomposting* tersebut yaitu *vermicast*, *mud vermicompost*, dan *vermicast*. Penjelasan dari keempat jenis tersebut sebagai berikut.

1. *Vermiwash* (Vermikompos cair)

Vermiwash adalah pupuk hayati cair berwarna coklat, tidak berbau, dan tidak berbau, yang dikumpulkan setelah melewati kolon kultur cacing. Pupuk ini

dianggap sebagai gudang nutrisi dan mikroorganisme, yang digunakan sebagai semprotan daun untuk tanaman. *Vermiwash* mengandung lendir, produk ekskresi cacing dan berbagai konsentrasi unsur hara makro, mikro dan nutrisi yang bermanfaat bersama dengan mikroorganisme yang bermanfaat, hormon pertumbuhan, vitamin, enzim dan asam amino, oleh karena itu merupakan sumber yang baik untuk nutrisi tanaman dalam pertanian berkelanjutan (Nayak et al., 2019).

2. *Mud vermicompost* (Vermikompos lumpur)

Vermikompos lumpur merupakan bahan organik yang memiliki banyak nutrisi yang diproduksi melalui proses vermicomposting dengan melibatkan upaya kolaboratif antara cacing tanah dan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik (Abad & Shafiqi, 2024; Manchal et al., 2023). Proses ini sangat efektif dalam mengubah bahan berbahaya seperti lumpur merah yang merupakan produk sampingan dari pertambangan bauksit menjadi bahan tidak berbahaya bagi pertanian. Mencampurkan lumpur merah dengan kotoran sapi dan menjadikannya sebagai bahan baku pembuatan kompos, pH lumpur merah yang sangat basa dapat dikurangi secara signifikan, dan ketersediaan unsur hara penting seperti nitrogen, fosfor, dan kalium dapat ditingkatkan (Charan et al., 2024). Transformasi ini tidak hanya mengurangi risiko lingkungan yang terkait dengan lumpur merah, tetapi juga mengubahnya menjadi sumber daya yang berharga untuk pertanian berkelanjutan.

3. *Vermicast* (Vermikompos kotoran cacing)

Vermicast atau kotoran cacing merupakan hasil akhir dari hasil penguraian bahan organik oleh jenis-jenis cacing tertentu. Vermicast/cacing ini kaya unsur hara dan dapat sebagai pupuk alami atau pembenah tanah (Mulasari et al., 2018).

Manfaat dan keunggulan teknik pengomposan vermicomposting antara lain:

1. Vermikompos menyediakan N, P, K, Ca dan Mg yang tersedia dalam jumlah yang seimbang dan meningkatkan kandungan bahan organik, meningkatkan kemampuan tanah, dan menyediakan hormon pertumbuhan tanaman serta sebagai penyangga pengaruh negatif (Putra et al., 2020)
2. *Vermikomposting* dapat meningkatkan penurunan ukuran partikel material yang dikomposkan, dapat menguraikan sampah lebih cepat karena


dilakukan oleh mikroorganisme dan cacing tanah, tidak memerlukan panas dan pembalikan, serta alat pencernaan cacing dapat mengubah nutrisi yang tidak larut menjadi bentuk terlarut sehingga mudah diserap tanaman (Marwa Bela Pratiwi et al., 2017)

3. Vermikompos mampu menahan air sebesar 40-60% sehingga mampu mempertahankan kelembaban dan lebih mudah, murah, waktu singkat, dan ramah lingkungan (Sunawan et al., 2022)

2.9 Cacing tanah (*Lumbricus rubellus*)

2.9.1 Taksonomi Cacing Tanah (*Lumbricus rubellus*)

Sistem taksonomi cacing tanah (*Lumbricus rubellus*) memiliki sistematika sebagai berikut (Irawan et al., 2024; Marzuki et al., 2020):

Kingdom	: Animalia	
Division	: Annelida	
Class	: Clitella	
Order	: Crassiclitellata	
Family	: Lumbricidae	
Genus	: Lumbricus	
Spesies	: <i>Lumbricus rubellus</i>	

(N. Y. Sari et al., 2024)

Tabel 2. 1 Taksonomi dan Gambar cacing tanah (*Lumbricus rubellus*)

2.9.2 Morfologi Cacing Tanah (*Lumbricus rubellus*)

Cacing tanah merupakan salah satu makroorganisme yang memiliki peranan penting bagi tanah. Cacing dapat mengubah sifat fisik dan kimia tanah, memperlancar proses mineralisasi bahan organik, dan menstabilkan siklus hara karena adanya kascing (Dwiastuti, 2017).

Menurut Lubis et al (2022) Tubuh *Lumbricus rubellus* berbentuk silindris, dengan permukaan ventral yang datar dengan panjangnya berkisar antara 7,5 hingga 10 cm, dan jumlah segmennya berkisar antara 95 hingga 100, warna punggung tubuhnya coklat muda hingga ungu kemerahan, warna perutnya krem, dan warna ekornya kekuningan. Kliteliumnya berbentuk sadel dan menonjol, yang terletak pada segmen ke-27 sampai ke-32, jumlah segmen pada klitelium antara 6-7 segmen (Mambrasar et al., 2018), Lubang kelamin

jantan terletak pada segmen ke-14, sedangkan lubang kelamin betina terletak pada segmen ke-13. Kandungan air tubuhnya berkisar antara 70 hingga 78% dan mobilitasnya terbatas (lambat) (Lubis et al., 2022). Cacing tanah (*Lumbricus rubellus*) sangat menyukai bahan organik yang berasal dari kotoran hewan dan sisa-sisa tumbuhan. Karena cacing ini dapat mengubah bahan organik menjadi kompos, ia juga dikenal sebagai pengurai.

2.9.3 Peranan Cacing Tanah (*Lumbricus rubellus*) terhadap bahan organik

Lumbricus rubellus memiliki kemampuan mendekomposisi sampah organik 3-5 kali lebih cepat jika dibandingkan dengan mikroba atau pengurai lainnya. Habitat cacing untuk berkembangbiak terdapat faktor yang mempengaruhinya yaitu dari segi suhu berkisar antara 15-25°C (N. Y. Sari et al., 2024), apabila kondisi lingkungan memiliki suhu yang lebih tinggi maka diperlukan kelembapan yang bagus agar kulit cacing dapat berfungsi dengan normal, bila terlalu kering menyebabkan kerusakan pada kulitnya (Araina et al., 2020). *Lumbricus rubellus* bisa bertahan hidup pada pH antara 6,6-7,2. *Lumbricus rubellus* dapat mencerna sampah organik dan lebih dominan menyukai sampah organik melalui tahap pengomposan. *Lumbricus rubellus* ini sangat menyukai bahan organik yang berasal dari kotoran ternak dan sisa tumbuhan (Lubis et al., 2022).

Bahan organik apabila memiliki kandungan yang tinggi akan mikroorganisme dan cacing tanah, maka cacing tanah dapat mencerna bahan organik lebih cepat, dan mampu mempercepat proses dekomposisi, hal tersebut karena cacing tanah memakan bahan organik setara berat tubuh per hari (Hazra et al., 2018). Pada tekstur limbah yang memiliki tekstur lebih halus dapat mempermudah *Lumbricus rubellus* untuk memakannya, hal ini dikarenakan cacing tanah lebih efektif dalam memproses bahan organik dengan partikel yang lebih kecil dan memiliki tekstur halus sehingga mempermudah proses pencernaan dan penyerapan (Rahman et al., 2020). Partikel halus digunakan oleh cacing untuk meningkatkan produktivitas biomassa cacing. Sampah organik dengan tekstur yang lebih halus dapat meningkatkan laju pertumbuhan cacing hingga 25% jika dibandingkan dengan sampah organik yang memiliki tekstur kasar (Yuniwati et al., 2023).

2.10 Pemanfaatan Hasil Penelitian Sebagai Sumber Belajar

2.10.1 Sumber Belajar

Sumber belajar merupakan hal yang dapat memudahkan proses belajar bagi peserta didik sehingga mereka dapat menemukan informasi, pengetahuan dan memahami materi yang diberikan. Menurut Supriadi (2017) bahwa sumber belajar adalah semua sumber seperti pesan, orang, bahan, alat, teknik, dan latar yang dimanfaatkan peserta didik sebagai sumber untuk kegiatan belajar dan dapat meningkatkan kualitas belajarnya. Selain itu, sumber belajar juga dapat dimanfaatkan sebagai tujuan yang akan dicapai dalam sebuah pembelajaran. Sumber belajar ada 2 kategori yaitu sumber belajar yang dirancang (*learning resources by design*) dan sumber belajar yang kedua adalah sumber belajar yang sudah tersedia dan tinggal dimanfaatkan (*learning resources by utilization*) (Falahudin, 2017). Sumber belajar dapat melalui e-modul, fenomena, dan contoh studi kasus yang ada di sekitar lingkungan, sehingga peserta didik dapat melakukan pengamatan yang terjadi dan menemukan berbagai masalah yang terjadi (Herdiana et al., 2021). Menurut Samsinar (2019), menyatakan bahwa kriteria dalam memiliki sumber belajar meliputi:

1. Tujuan yang ingin dicapai

Dalam membuat materi pembelajaran, ada sejumlah tujuan yang ingin dicapai, dan penggunaan materi tersebut akan menginspirasi siswa, meningkatkan pembelajaran mereka, dan membantu mereka memecahkan tantangan yang mungkin mereka hadapi di sepanjang jalan.

2. Ekonomis

Sebelum memilih sumber belajar haruslah dipertimbangkan dari segi harga yang akan dikeluarkan haruslah murah dan tidak murahan. Pemilihan sumber belajar mempertimbangkan jumlah pengguna, lamanya penggunaan, dan kelangkaan, terlepas dari apakah insiden tersebut akurat atau tidak, serta waktu penyampaian pesan.

3. Praktis dan sederhana

Sumber belajar sebaiknya murah, mudah dibawa, mudah dipahami, praktis, tidak memerlukan alat khusus, dan tidak membutuhkan tenaga kerja khusus.

4. Mudah didapat

Sumber belajar yang baik adalah sumber yang mudah diakses dan dekat dengan kita.

5. Fleksibel atau luwes

Sumber belajar yang baik adalah sumber yang dapat digunakan dalam berbagai konteks dan keadaan..

Menurut Sidiq & Syaripudin (2022), menyatakan bahwa fungsi sumber belajar apabila diterapkan dengan benar, dapat menyebabkan pembelajaran yang efektif sebagai berikut:

1. Sebagai sarana pengembangan keterampilan untuk proses pembelajaran yang akan dicapai
2. Memberikan pengetahuan, melatih dan mendidik peserta didik menggunakan berbagai alat dan memperoleh berbagai buku bacaan bagi peserta didik untuk menambah wawasan dan pengetahuan mereka
3. Menyajikan pembelajaran dengan informasi yang lebih luas agar peserta didik lebih menambah wawasan mereka
4. Memberikan pengalaman nyata dan memupuk rasa tanggung jawab dengan lingkungannya

2.10.2 Materi Pokok Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan merupakan konsep materi yang disuguhkan kepada peserta didik kelas X semester 2 pada fase E mengenai pembahasan tentang pencemaran lingkungan yang memiliki dampak kepada perubahan lingkungan yang mana memiliki tujuan pembelajaran agar peserta didik dapat memahami cara menyajikan solusi untuk menanggulangi sampah yang terdapat dalam kehidupan sehari-hari mereka (Anggraini et al., 2024).

Solusi yang akan di ambil oleh peserta didik disajikan dalam sebuah penelitian atau mini riset. Solusi yang harus dilakukan dengan cara pengubahan sampah organik menjadi sebuah pupuk yang dapat digunakan kembali dan memiliki daya saing tinggi serta menjadi solusi kepada masyarakat dan petani sekitar. Solusi tersebut memanfaatkan sampah organik menjadi salah satu terobosan agar meminimalisir penggunaan pupuk kimia dan tetap menjaga pelestarian lingkungan (Suraya et al., 2021).

2.11 Penelitian Relevan

Berbagai penelitian sebelumnya yang telah dilakukan tentang fermentasi tandan kosong kelapa sawit dan proses vermicompost sebagaimana diuraikan pada

Tabel 2.1

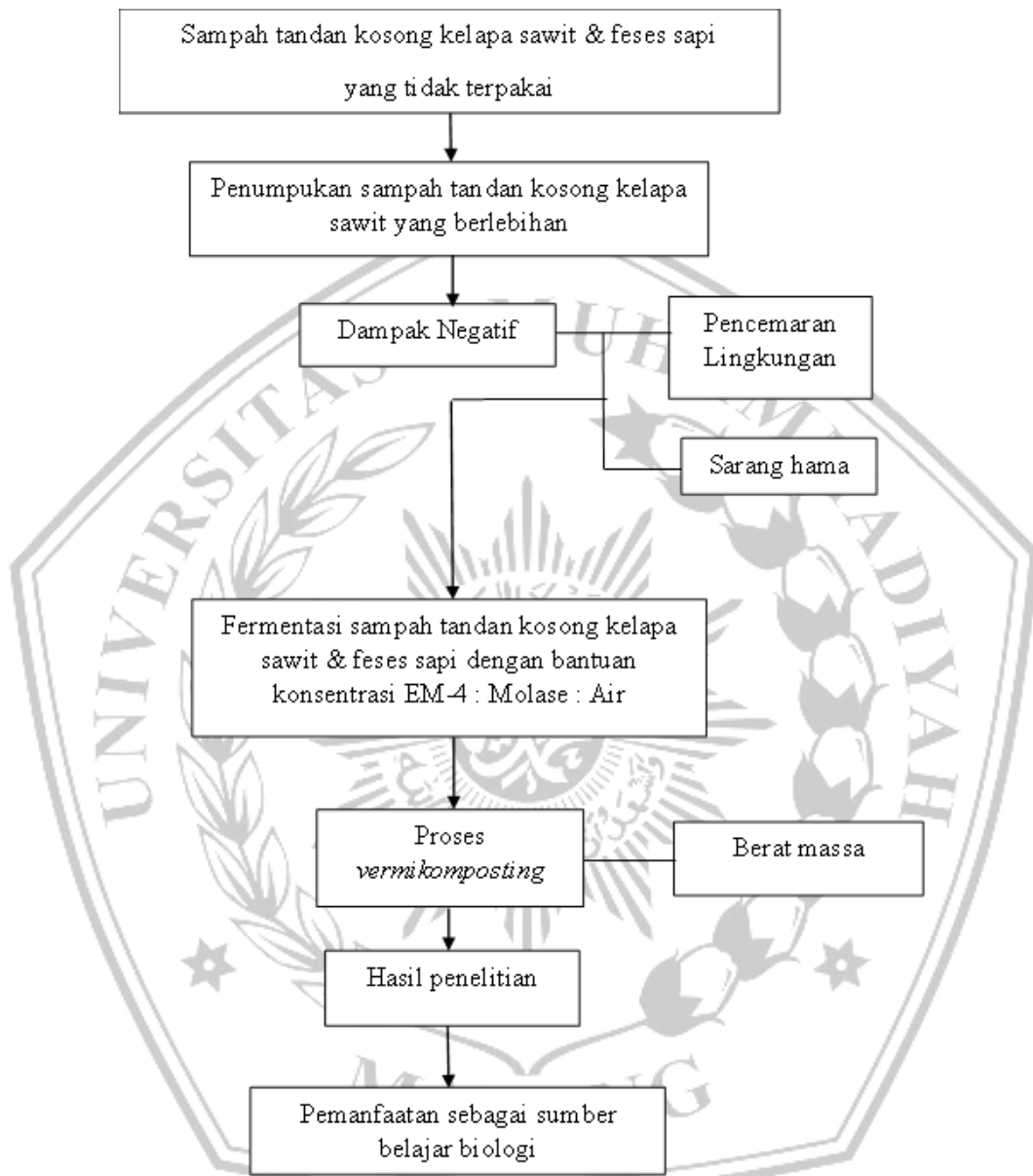
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No	Nama Penulis, tahun terbit, jurnal	Judul	Perlakuan/Metode	Hasil dan Pembahasan	Perbedaan atau kesamaan
1.	Edhi Sarwono, Dwi Ermawati Rahayu, Weldy Dziya Millati, Sariyadi (2023). Jurnal Agriointek	Proses pengomposan tandan kosong kelapa sawit (TKKS): analisis fisik dan kenampakan organisme	Penelitian ini menggunakan metode pengomposan open windrow, yang melibatkan penumpukan cacahan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan OPEFB) dengan dimensi 120cm x 80cm x 100cm. Variasi dalam proses pengomposan meliputi penambahan Effective Microorganisms 4 (EM4) dan air lindi, serta kombinasi dari aktivator tersebut. OPEFB dicacah dengan ukuran 2-4 cm sebelum dikomposkan.	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit dan organisme yang muncul selama proses tersebut.	Persamaan dari penelitian ini yang akan dilakukan dengan proses pencacahan tankos dengan ukuran 2-4 cm dan menggunakan microorhanisme 4 (EM4) Perbedaan proses pengomposan atau fermentasi dilakukan secara terbuka (pengomposan open windrow)
2.	Eddy Kurniawan, Rozanna Dewi, Rouzatul Jannah (2022). Jurnal Teknologi Kimia Unimal	Pemanfaatan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Organik Cair Dengan Penambahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah memproduksi pupuk organik cair dari limbah cair pabrik kelapa sawit dan serat tandan kosong melalui proses fermentasi. Proses fermentasi menggunakan bioaktivator EM-4 (Effective Microorganisms) dengan volume yang bervariasi yang	Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa waktu fermentasi yang optimal untuk memproduksi pupuk organik cair adalah 13 hari, dengan menggunakan volume 60 ml EM4, menghasilkan kandungan nitrogen (N) sebesar 2,47, kandungan fosfor (P2O5) sebesar 3,14, dan	Persamaan Proses fermentasi menggunakan bioaktivator EM-4 (Effective Microorganisms) dengan volume yang bervariasi yang dikombinasikan dengan massa serat tandan kosong. Volume EM4. Perbedaan pada penelitian yang akan dilakukan adalah dari volume

			dikombinasikan dengan massa serat tandan kosong. Volume EM4 yaitu : 20, 30, 40, 50, 60.	kandungan kalium (K ₂ O) sebesar 2,29.	EM4 dan waktu fermentasi
3.	Mashur, Hunaepi, Kemas Usman, & Iwan Desimal (2020). Bioscienti st: Jurnal Ilmiah Biologi.	Pengolahan limbah organik pasar menggunakan reaktor cacing tanah (<i>lumbricus rubellus</i>) dengan metode <i>continuous flow bin</i>	Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) untuk menilai dampak pengolahan sampah organik menggunakan reaktor Continuous Flow Bin yang dimodifikasi dengan cacing tanah (<i>Lumbricus rubellus</i>). Tiga perlakuan berbeda dari reaktor Continuous Flow Bin yang dimodifikasi diuji untuk meningkatkan produksi kepompong, biomassa, dan kualitas kotoran. Pengumpulan data melibatkan pengukuran variabel seperti produksi kokon, jumlah biomassa, berat biomassa, tingkat kematian, produksi kotoran, suhu media, pH, dan kelembaban. Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan klasifikasi satu arah dan uji jarak berganda Duncan untuk mengevaluasi perbedaan antar perlakuan	Penelitian ini menunjukkan bahwa jenis reaktor secara signifikan mempengaruhi produksi kokon, biomassa, dan kotoran, dengan efek penting pada berbagai parameter seperti berat biomassa dan tingkat kematian cacing, sementara tingkat pH tetap tidak terpengaruh. Reaktor 2, yang menggunakan campuran 50% kotoran kuda dan 50% jerami padi, terbukti paling efektif, menghasilkan rata-rata 4,35 kg sampah organik yang diproses per kotak selama 40 hari. Kualitas kotoran yang dihasilkan melebihi standar yang ditetapkan oleh SNI 19-7030-2004, yang mengindikasikan potensinya sebagai pupuk organik yang berharga	Persamaan dengan penelitian yang akan dilakukan menggunakan cacing (<i>Lumbricus rubellus</i>) Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan dari jenis bahan yang akan digunakan yaitu akan menggunakan hasil fermentasi anaerob tandan kosong kelapa sawit.
4.	Irawati Suherman, Amir Awaluddin, Itnawita (2014). JOM FMIPA	Analisis Kualitas Kompos dari campuran tandan kosong kelapa sawit dengan kotoran ayam menggunakan limbah cair pabrik kelapa	Penelitian ini mengeksplorasi pengomposan TKKS dengan kotoran ayam, menggunakan POME dan EM-4 sebagai aktivator. Kualitas kompos dinilai berdasarkan pH, kadar air, dan	Pengomposan bersama tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan kotoran ayam dengan menggunakan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (POME) dan EM-4 sebagai aktivator	Persamaan yaitu dengan penggunaan bahan tandan kosong kelapa sawit dengan bantuan EM4:Air:Molase. Waktu fermentasi selama 30 hari. Perbedaan yaitu pada penelitian

	sawit dan EM-4.	rasio C/N selama 30 hari. Pengomposan dilakukan selama 30 hari, dengan menganalisa pH, kadar air, dan rasio C/N setiap 5 hari sekali. EM-4 diaktivasi dengan cara dicampurkan dengan larutan gula dan air sebelum digunakan. Dengan perbandingan 200 ml EM-4 + 200 ml larutan gula merah + 1.000 ml air.	menghasilkan kompos dengan pH 7, kadar air antara 40-50%, dan rasio C/N 17-19 setelah 30 hari pengomposan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa proses pengomposan secara efektif memanfaatkan limbah kelapa sawit dan kotoran ayam.	yang akan dilakukan penambahan bahan kotoran sapi dan perbandingan EM4:Air:Molase sebesar 1 : 1 : 5	
5.	Muhammad Miftah Nasrullah(2023). Universitas Muhammadiyah Malang	Pengaruh Rasio Feses Sapi dengan Tandan Kelapa sawit Terhadap Kadar Fosfor dan Kadar Kalium Kompos	Penelitian ini menggunakan metode 3 perlakuan yaitu : P1 : Rasio feses sapi 40% : 60% TKKS, P2 : Rasio feses sapi 50% : 50% TKKS, P3 : Rasio feses sapi 60% : 40% TKKS. Dan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali, sehingga akan diperoleh 9 sampel	Rasio tandan kosong kelapa sawit dengan feses sapi memberikan pengaruh yang tidak nyata ($P > 0,5$) terhadap kadar fosfor dan kalium kompos. Rasio feses sapi dan tandan kosong kelapa sawit dari semua perlakuan sama. Hasil kompos sudah memenuhi standart SNI-19-7030-2004.	Persamaan pada penelitian tersebut dengan penelitian yang akan datang adalah dengan perbandingan rasio tandan kosong sawit dengan feses sapi sebesar 50%:50%. Perbedaannya yaitu dari proses fermentasi dan penggunaan starter fermentasi, pada penelitian ini menggunakan starter moebilin dan air sedangkan penelitian yang akan datang menggunakan perbandingan EM4:Molase:Air.

2.12 Kerangka konseptual



Gambar 2.1 Kerangka konseptual

2.13 Kajian Variabel Terikat kaitannya dengan Variabel Bebas

Dalam penelitian ini, variabel bebas berupa variasi fermentasi tandan kosong sawit (TKS) dan feses sapi diperkirakan memiliki pengaruh signifikan terhadap beberapa variabel terikat, yaitu preferensi makan *Lumbricus rubellus*,

berat badan *Lumbricus rubellus*, dan kualitas vermicompost yang dihasilkan. Kajian hubungan antara variabel-variabel tersebut dijelaskan sebagai berikut.

1) Kaitan dengan Preferensi Makan *Lumbricus rubellus*

Tingkat fermentasi bahan organik seperti Tandan Kosong Sawit dan Feses Sapi berpengaruh terhadap daya cerna dan ketersediaan nutrient dalam media makan cacing. Proses fermentasi dapat mengurangi senyawa toksik dan lignoselulosa kompleks yang sulit dicerna, serta meningkatkan kandungan mikroorganisme dekomposer yang mempercepat penguraian bahan (Surianti et al., 2020). Oleh karena itu, variasi dosis fermentasi dapat memengaruhi sejauh mana *Lumbricus rubellus* menyukai media tersebut. Semakin tinggi tingkat fermentasi, kemungkinan besar preferensi makan cacing meningkat karena substrat menjadi lebih mudah dicerna dan mengandung nutrien yang lebih tersedia (Arancon et al., 2004).

2) Kaitan dengan Berat *Lumbricus rubellus*

Kualitas pakan sangat menentukan pertumbuhan berat badan cacing. Variasi fermentasi TKS dan feses sapi akan memengaruhi ketersediaan unsur hara dan kandungan protein dalam media makan. Selain itu, Tandan Kosong Sawit juga merupakan salah satu media yang cocok untuk pertumbuhan cacing (Manurung et al., 2014). Media yang sudah terfermentasi optimal biasanya mengandung mikroorganisme dan senyawa hasil dekomposisi yang dapat meningkatkan penyerapan nutrien oleh *Lumbricus rubellus*. Kandungan nitrogen yang tinggi pada kotoran sapi juga menyebabkan tingkat konsumsi cacing menjadi lebih tinggi (S. Liberty et al., 2022). Dengan demikian, semakin baik tingkat fermentasi, maka kemungkinan peningkatan berat cacing juga semakin besar.

3) Kaitan sebagai Sumber Belajar Biologi

Hasil penelitian yang menunjukkan adanya pengaruh nyata dari fermentasi terhadap aspek biologis cacing dan kualitas vermicompost dapat dijadikan materi pembelajaran berbasis lingkungan. Hal ini dapat mendukung penguatan kompetensi siswa dalam memahami ekosistem, daur materi, dan penerapan bioteknologi sederhana. Perlakuan fermentasi sebagai variabel bebas menjadi dasar pengembangan bahan ajar kontekstual, yang membantu siswa memahami

keterkaitan antara biologi dan isu lingkungan seperti pengelolaan limbah organik yang dapat mengatasi pencemaran lingkungan.

2.14 Hipotesis

Saya merumuskan hipotesis sebagai berikut:

1. H_0 = Tidak ada pengaruh variasi fermentasi tandan kosong sawit dan feses sapi terhadap kecepatan habis pakan dan pertumbuhan berat cacing tanah (*Lumbricus rubellus*)
 H_a = Ada pengaruh variasi fermentasi tandan kosong sawit dan feses sapi terhadap kecepatan habis pakan dan pertumbuhan berat cacing tanah (*Lumbricus rubellus*)

