

## Strategi Efektif dalam Penggunaan Model Biosistem : Menyusun Asumsi Dasar untuk Keberlanjutan

Ahmad, N<sup>1\*</sup>, Eko Sutrisno<sup>2</sup>, Sholikhah, F<sup>3</sup>. M. Adik Rudiyanto<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, <sup>2,3,4</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam  
Majapahit

Author email: [nuril@unim.ac.id](mailto:nuril@unim.ac.id), [ekosudrun@unim.ac.id](mailto:ekosudrun@unim.ac.id), [faizatus@unim.ac.id](mailto:faizatus@unim.ac.id),  
[adikrudianto4@unim.ac.id](mailto:adikrudianto4@unim.ac.id)

**Abstract:** *This article discusses effective strategies for using biosystem models to achieve environmental sustainability. With increasing global challenges such as climate change, biodiversity decline, and growing food demand, the application of the biosystem model is becoming increasingly relevant. The model integrates ecological principles and appropriate technology, which enables efficient and sustainable management of natural resources. Through an analysis of the basic assumptions underlying the use of the biosystem model, this article identifies key elements that can improve agricultural productivity while maintaining ecosystem balance. The implementation of techniques such as crop rotation, agroecology, and the utilization of modern technologies such as automation and biotechnology are expected to strengthen food security and reduce negative impacts on the environment. The results from this study show that collaboration between the government, academia, and the private sector is essential to foster innovation and practice.*

**Keywords:** *biosystem model, productivity*

**Abstrak:** Artikel ini membahas strategi efektif dalam penggunaan model biosistem untuk mencapai keberlanjutan lingkungan. Dengan meningkatnya tantangan global seperti perubahan iklim, penurunan keanekaragaman hayati, dan kebutuhan pangan yang terus bertambah, penerapan model biosistem menjadi semakin relevan. Model ini mengintegrasikan prinsip-prinsip ekologis dan teknologi tepat guna, yang memungkinkan pengelolaan sumber daya alam secara efisien dan berkelanjutan. Melalui analisis asumsi dasar yang mendasari penggunaan model biosistem, artikel ini mengidentifikasi elemen-elemen kunci yang dapat meningkatkan produktivitas pertanian sekaligus menjaga keseimbangan ekosistem. Implementasi teknik seperti rotasi tanaman, agroekologi, dan pemanfaatan teknologi modern seperti otomatisasi dan bioteknologi diharapkan dapat memperkuat ketahanan pangan dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan sektor swasta sangat penting untuk mendorong inovasi dan praktik

**Kata Kunci:** model biosistem, produktifitas

### Pendahuluan

Biosistem merupakan suatu sistem yang melibatkan interaksi antara komponen biotik (makhluk hidup) dan abiotik (lingkungan fisik) dalam suatu ekosistem. Dalam konteks teknik biosistem, terdapat beberapa asumsi dasar yang menjadi landasan untuk memahami dan mengembangkan sistem ini.

#### 1. Interdependensi Komponen

Biosistem terdiri dari beragam komponen yang saling berinteraksi dan bergantung satu sama lain. Komponen-komponen tersebut mencakup tanaman, hewan, mikroorganisme, serta faktor lingkungan seperti tanah dan air (Handayani et al., 2020). Setiap elemen dalam biosistem memiliki peran spesifik yang saling melengkapi, membentuk jaringan interaksi yang kompleks. Misalnya, tanaman berperan sebagai produsen yang mengubah energi matahari menjadi bahan makanan melalui fotosintesis, sementara hewan bergantung pada tanaman sebagai sumber pangan. Mikroorganisme juga memainkan peran penting dalam mendaur ulang nutrisi dengan memecah bahan organik mati, mengembalikan nutrisi tersebut ke tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Koryati et al., 2021; Ramdhini et al., 2021).

Selain itu, faktor lingkungan seperti tanah, air, dan udara menyediakan kondisi yang memungkinkan proses-proses ini berlangsung. Tanah memberikan dukungan



fisik dan sumber nutrisi bagi tanaman, sementara air menjadi media vital bagi kelangsungan hidup semua organisme. Interaksi dinamis antara komponen-komponen tersebut menciptakan keseimbangan yang penting bagi kelestarian ekosistem. Jika salah satu elemen terganggu, keseimbangan biosistem dapat rusak, yang kemudian dapat mempengaruhi kelangsungan hidup organisme di dalamnya (Sutrisno et al., 2024).

## 2. Keberlanjutan Sumber Daya

Keberlanjutan sumber daya alam menjadi salah satu prinsip utama dalam biosistem. Konsep ini menekankan pentingnya menjaga ketersediaan dan kelestarian sumber daya seperti air, tanah, dan energi agar biosistem dapat beroperasi dengan efisien tanpa menimbulkan kerusakan lingkungan. Pengelolaan yang tepat terhadap sumber daya ini sangat penting untuk memastikan keseimbangan ekosistem dan mendukung aktivitas biologis secara berkelanjutan (Simarmata et al., 2021).

Pemanfaatan sumber daya alam harus dilakukan dengan bijaksana, mengutamakan efisiensi dan pengurangan limbah. Penggunaan sumber daya yang berlebihan atau tidak terkendali dapat mengganggu fungsi ekosistem, menyebabkan degradasi lingkungan seperti pencemaran air, erosi tanah, atau peningkatan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, pendekatan biosistem mendorong penerapan praktik-praktik yang berkelanjutan, seperti pengelolaan air yang hemat, konservasi tanah, dan penggunaan energi terbarukan.

Keberlanjutan ini juga berfokus pada siklus regeneratif, di mana limbah dari satu proses dapat dimanfaatkan kembali sebagai input untuk proses lain, menciptakan sistem yang lebih tertutup dan efisien. Misalnya, limbah organik dapat diubah menjadi kompos yang berguna bagi kesuburan tanah, sementara energi dapat diperoleh dari biomassa atau sumber terbarukan lainnya (Sitorus et al., 2021). Biosistem tidak hanya mempertahankan keberlanjutan lingkungan, tetapi juga menciptakan aliran material dan energi yang mendukung stabilitas ekosistem jangka panjang. Melalui manajemen sumber daya yang berkelanjutan, biosistem mampu berkontribusi pada keseimbangan ekologi global, memastikan bahwa kebutuhan manusia dan makhluk hidup lainnya dapat terpenuhi tanpa merusak alam.

## 3. Prinsip Ekologi

Biosistem bekerja dengan mengadopsi prinsip-prinsip ekologi, seperti siklus nutrisi, rantai makanan, serta dinamika populasi. Pemahaman mendalam mengenai aliran energi dan perpindahan materi dalam ekosistem sangat penting dalam pengembangan sistem biosistem yang optimal dan efisien. Dalam ekosistem alami, nutrisi dan energi beredar di antara organisme melalui rantai makanan, di mana produsen, konsumen, dan pengurai saling berinteraksi untuk menjaga keseimbangan ekosistem. Prinsip ini juga diterapkan dalam biosistem buatan, di mana setiap komponen sistem memiliki peran spesifik dalam menjaga kelangsungan sistem secara keseluruhan (Handayani et al., 2020).

Siklus nutrisi, misalnya, menggambarkan bagaimana unsur hara seperti karbon, nitrogen, dan fosfor bergerak melalui tanah, tanaman, hewan, dan kembali lagi ke tanah melalui dekomposisi. Proses ini dapat direplikasi untuk memastikan bahwa limbah organik didaur ulang menjadi sumber daya yang berguna, seperti kompos atau biogas. Sementara itu, rantai makanan menjelaskan interaksi antara produsen (Arifin et al., 2023) yang menghasilkan energi, konsumen yang memakan produsen, serta pengurai yang memecah materi organik. Adanya pemahaman tentang interaksi ini, sistem biosistem dapat dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya

dan mengurangi limbah. Dinamika populasi dalam biosistem juga memainkan peran penting, karena fluktuasi populasi organisme tertentu dapat memengaruhi keseimbangan ekosistem secara keseluruhan. Pengelolaan populasi organisme dalam biosistem, seperti mikroorganisme dalam pengolahan limbah organik, menjadi kunci untuk menjaga stabilitas dan efisiensi sistem. Prinsip - prinsip ekologi ini menjadi dasar dalam perancangan biosistem yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

#### 4. Inovasi Teknologi

Inovasi teknologi memainkan peran penting dalam teknik biosistem, dengan tujuan utama meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam berbagai sektor. Teknologi ini diterapkan dalam berbagai bidang, seperti pertanian, pengelolaan limbah, dan pemanfaatan sumber daya alam, untuk mendukung keberlanjutan. Penggunaan teknologi modern di bidang pertanian, bisa digunakan untuk mengoptimalkan produksi dengan meminimalkan dampak lingkungan, misalnya melalui irigasi cerdas, sensor tanah, dan sistem pertanian presisi yang mengurangi penggunaan air dan bahan kimia.

Di sisi lain, pengelolaan limbah menggunakan inovasi teknologi untuk mengurangi volume limbah, mendaur ulang material, serta menghasilkan energi dari limbah organik. Misalnya, teknologi biodigester dan komposting memanfaatkan proses biologis alami untuk mengubah limbah organik menjadi biogas atau kompos, yang kemudian dapat digunakan sebagai energi terbarukan atau pupuk. Pengelolaan sumber daya alam juga dioptimalkan melalui penerapan teknologi yang mendukung penggunaan sumber daya secara lebih efisien dan berkelanjutan. Ini termasuk penggunaan teknologi untuk mendaur ulang bahan mentah, mengurangi emisi, dan meminimalkan kerusakan lingkungan. Melalui inovasi ini, teknik biosistem bertujuan untuk mencapai keseimbangan antara kebutuhan manusia dan kelestarian lingkungan, menciptakan solusi yang mendukung keberlanjutan jangka panjang.

#### 5. Penerapan Ilmu Interdisipliner

Pengembangan biosistem memerlukan pendekatan interdisipliner yang melibatkan berbagai bidang ilmu seperti biologi, teknik, kimia, fisika, dan matematika. Penggabungan berbagai disiplin ilmu merupakan suatu tantangan dalam pengelolaan biosistem. Setiap disiplin ilmu berkontribusi dalam memberikan pemahaman yang mendalam dan solusi yang terintegrasi. Biologi, misalnya, menawarkan wawasan tentang organisme hidup dan proses ekologis, sementara teknik membantu merancang alat dan sistem untuk mendukung pengelolaan biosistem. Kimia berperan dalam memahami reaksi dan transformasi bahan, termasuk pengolahan limbah, dan fisika memberikan dasar untuk memahami aliran energi dan materi di dalam sistem. Matematika memainkan peran penting dalam pemodelan dan analisis data, yang membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat.

Pendekatan interdisipliner ini sangat penting karena biosistem sering kali melibatkan interaksi yang kompleks antara komponen biologis dan nonbiologis. Misalnya, pengembangan sistem biokonversi limbah menjadi energi membutuhkan pemahaman biologi mikroorganisme, rekayasa sistem pengolahan, serta analisis kimia dan fisika dari proses tersebut.

#### 6. Adaptasi terhadap Perubahan Lingkungan

Biosistem perlu memiliki kemampuan adaptasi terhadap perubahan lingkungan, baik yang terjadi secara alami maupun yang diakibatkan oleh aktivitas manusia. Kemampuan beradaptasi ini penting agar sistem tetap seimbang dan stabil dalam menghadapi berbagai dinamika. Faktor-faktor lingkungan yang berubah, seperti iklim,

ketersediaan sumber daya, atau intervensi manusia, bisa mempengaruhi keseimbangan ekosistem. Ketahanan biosistem terhadap perubahan menjadi aspek penting dalam menjaga keberlangsungan kehidupan di dalamnya. Sistem yang tangguh mampu merespons perubahan ini dengan cara yang mencegah kerusakan besar pada ekosistem, mempertahankan interaksi antarorganisme, dan menjaga fungsi dasar seperti daur ulang materi dan energi. Adaptasi tersebut juga mencakup kemampuan untuk mengembalikan diri ke kondisi stabil setelah mengalami gangguan, baik itu karena perubahan alam seperti bencana atau karena kegiatan manusia seperti urbanisasi, industrialisasi, atau perubahan penggunaan lahan.

Ketahanan biosistem yang baik memastikan bahwa berbagai komponen ekosistem dapat terus berfungsi dengan optimal, meskipun menghadapi tekanan atau gangguan yang terus menerus. Hal ini penting tidak hanya bagi kelangsungan hidup organisme yang berada dalam ekosistem tersebut, tetapi juga bagi manusia yang bergantung pada sumber daya dan jasa yang disediakan oleh ekosistem alami. Secara keseluruhan, kemampuan adaptasi biosistem merupakan kunci untuk menjaga stabilitas dan keberlanjutan lingkungan, serta mencegah terjadinya kerusakan yang lebih luas akibat perubahan yang tak terelakkan.

## **Metode Penelitian**

Metodologi penelitian ini dirancang untuk menyusun asumsi dasar dalam penggunaan model biosistem yang mendukung keberlanjutan lingkungan. Metodologi ini terdiri dari beberapa tahapan yang sistematis dan terstruktur.

### **1. Desain Penelitian**

**Pendekatan:** Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk mengumpulkan data yang komprehensif tentang penggunaan model biosistem. **Jenis Penelitian:** Penelitian deskriptif dan eksploratif untuk memahami kondisi saat ini dan potensi pengembangan model biosistem.

### **2. Lokasi dan Waktu Penelitian**

**Lokasi:** Penelitian akan dilakukan di desa Padangasri Kecamatan Jatirejo Kabupaten Mojokerto yang diuji cobakan di beberapa lokasi yang menerapkan model biosistem, seperti area pertanian berkelanjutan dan ekosistem alami.

**Waktu:** Penelitian dijadwalkan berlangsung selama 6 bulan, pada bulan Juni hingga Nopember 2024

### **3. Pengumpulan Data**

**Survei:** Melakukan survei terhadap petani, pengelola sumber daya alam, dan pemangku kepentingan lainnya untuk mendapatkan informasi tentang praktik biosistem yang ada.

**Wawancara:** Mengadakan wawancara dengan ahli lingkungan dan akademisi untuk mendapatkan perspektif tentang asumsi dasar model biosistem.

**Pengamatan Langsung:** Observasi langsung di lapangan untuk menganalisis penerapan model biosistem dalam praktik.

### **4. Analisis Data**

#### **a. Analisis Kualitatif**

Menggunakan metode analisis tematik untuk mengidentifikasi pola dan tema dari data wawancara dan observasi.

#### **b. Analisis Kuantitatif**

Menggunakan statistik deskriptif untuk menganalisis data survei, termasuk frekuensi dan persentase responden.

#### 5. Perancangan Model Biosistem

##### a. Identifikasi Variabel

Menentukan variable - variabel kunci yang mempengaruhi keberhasilan model biosistem, seperti faktor lingkungan, sosial, dan ekonomi.

##### b. Pengembangan Model

Mengembangkan model biosistem berdasarkan data yang dikumpulkan, dengan mempertimbangkan asumsi dasar yang relevan.

#### 6. Validasi Model

##### a. Uji Coba

Melakukan uji coba terhadap model biosistem yang telah dirancang di lapangan untuk mengevaluasi efektivitasnya.

##### b. Feedback Stakeholder

Mengumpulkan umpan balik dari pengguna model untuk melakukan perbaikan yang diperlukan.

### Hasil dan Pembahasan

Hasil yang di dapat saling terkait, seperti interdependensi komponen, keberlanjutan sumber daya, prinsip ekologi, inovasi teknologi, penerapan ilmu interdisipliner, dan kemampuan adaptasi terhadap perubahan lingkungan. Setiap komponen ini memainkan peran krusial dalam menciptakan biosistem yang efektif dan berkelanjutan. Memahami asumsi - asumsi ini menjadi landasan penting dalam merancang dan mengelola sistem biosistem, terutama dalam konteks pengolahan sampah. Dengan menerapkan prinsip - prinsip ini, pengelolaan sampah dapat dilakukan dengan lebih efisien, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta mendukung upaya keberlanjutan yang lebih luas.

Terdapat beberapa komponen penting yang harus dianalisis dan dipertimbangkan untuk mencapai hasil yang optimal dalam pengolahan sampah berbasis biosistem. Elemen - elemen ini mencakup analisis komposisi sampah, pemilihan teknologi yang sesuai, serta pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya yang berkelanjutan. Setiap elemen harus dipertimbangkan secara cermat dalam studi kelayakan, agar sistem yang dibangun tidak hanya efisien dalam pengolahan, tetapi juga mampu beradaptasi dengan dinamika lingkungan dan kebutuhan masyarakat. Dengan mengintegrasikan semua elemen tersebut, pengolahan sampah berbasis biosistem dapat berfungsi secara sinergis, mendukung keberlanjutan ekosistem dan meningkatkan kualitas hidup manusia.

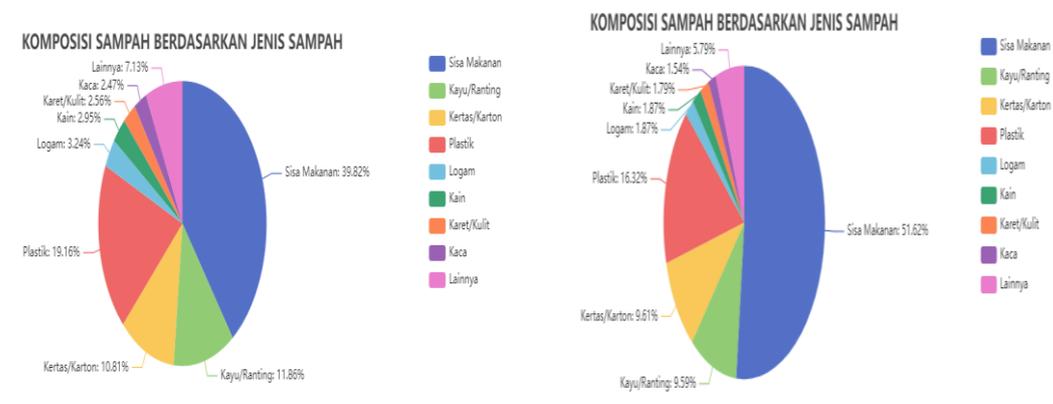
#### 1. Analisis Komposisi Sampah

Rata - rata besaran timbulan sampah rumah tangga sebesar sebesar 0,17 kg/orang/hari atau 3,01 liter/orang/hari (Bangun, 2019); 0,19 Kg/orang/perhari dan volume, sampah rumah tangga yang dihasilkan sebesar 7,9 Liter/orang/hari. Komposisi sampah rumah tangga yang dihasilkan yaitu Organik 46,73%; plastik 5,02%, kertas 5,54%, kaca 11,21%; kaleng/logam 4,33%; kayu 23,08% dan sterophom 3,09%. Khusus karakteristik fisika sampah yang diperoleh yaitu berat jenis 0,023 Kg/liter (Anisa et al., 2022).

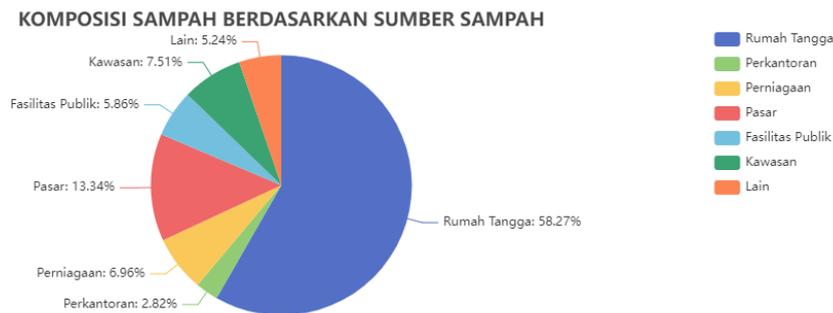
Pemahaman tentang jenis dan proporsi sampah sangat penting dalam memilih teknologi pengolahan yang tepat, terutama ketika menggunakan pendekatan bioteknologi seperti **Black Soldier Fly (BSF)** atau **anaerobic digestion**. Sampah organik, yang terdiri dari sisa makanan, limbah pertanian, dan material organik lainnya, biasanya menjadi fokus utama karena komposisinya yang mudah terurai.

**Black Soldier Fly (BSF):** Teknologi BSF menggunakan larva lalat BSF untuk menguraikan sampah organik. Larva ini dapat mengonsumsi berbagai jenis sampah organik, seperti sisa makanan, buah, sayur, dan limbah dapur. Proses ini cepat dan efisien, menghasilkan biomassa larva yang kaya protein, yang dapat digunakan sebagai pakan ternak. Sampah residu yang tersisa berupa pupuk organik berkualitas tinggi. Teknologi ini ideal untuk menangani sampah organik dengan kandungan air yang tinggi.

1. **Anaerobic Digestion:** Teknologi ini memanfaatkan mikroorganisme anaerobik untuk menguraikan sampah organik dalam kondisi tanpa oksigen, menghasilkan biogas (campuran metana dan karbon dioksida) yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Limbah yang dihasilkan dari proses ini dapat digunakan sebagai pupuk organik. Anaerobic digestion cocok untuk menangani sampah organik dalam jumlah besar, seperti limbah peternakan, limbah pertanian, dan sisa makanan dari rumah tangga.



Gambar 2.1 Komposisi Sampah Nasional Berdasarkan jenisnya tahun 2023 (sumber: <https://sipsn.menlhk.go.id>)



Gambar 2.2 Komposisi Sampah wilayah Jawa Timur Berdasarkan sumber sampah tahun 2023 (sumber: <https://sipsn.menlhk.go.id>)

Proyeksi timbunan sampah adalah upaya untuk memprediksi jumlah sampah yang akan dihasilkan oleh suatu wilayah atau populasi dalam jangka waktu tertentu. Perhitungan ini penting untuk pengelolaan sampah yang efektif, terutama dalam merancang sistem pengelolaan yang sesuai dengan kapasitas infrastruktur, termasuk tempat pembuangan akhir (TPA) atau Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST). Proyeksi timbunan sampah biasanya dilakukan dengan menggunakan data historis

jumlah sampah yang dihasilkan per hari atau per tahun, serta menggabungkan faktor - faktor lain seperti laju pertumbuhan penduduk dan perubahan pola konsumsi.

Faktor - faktor yang mempengaruhi proyeksi timbulan sampah:

1. Jumlah Penduduk
2. Tingkat Konsumsi
3. Laju Urbanisasi
4. Pertumbuhan Ekonomi

### Rumus Proyeksi Timbulan Sampah

Proyeksi timbulan sampah dapat dihitung dengan rumus sederhana sebagai berikut:

$$\text{Timbulan Sampah} =$$

$$\text{Timbulan Sampah per Kapita} \times \text{Jumlah Penduduk} \times \text{Lama Waktu}$$

Di mana:

- Timbulan sampah per kapita = rata - rata jumlah sampah yang dihasilkan oleh setiap individu per hari (kg/orang/hari).
- Jumlah Penduduk = Jumlah penduduk di wilayah yang dianalisis (jiwa).
- Lama Waktu = Jangka waktu proyeksi (hari, bulan, atau tahun).

### Contoh Aplikasi:

Jika rata-rata timbulan sampah per kapita adalah 0,7 kg/orang/hari dan populasi **suatu** wilayah adalah 5.000 jiwa, maka proyeksi timbulan sampah untuk 1 tahun (365 hari) dapat dihitung sebagai:

$$\begin{aligned} \text{Timbulan Sampah per Tahun} &= 0,7 \text{ kg} \times 5.000 \times 365 \\ &= 1.277.500 \text{ kg (1.277,5 Ton)} \end{aligned}$$

Jadi, dalam 1 tahun wilayah tersebut diproyeksikan menghasilkan **1.277,5 ton sampah**.

### Analisis Volume dan Berat Jenis Sampah

Setelah mengetahui timbulan sampah dalam hal berat (ton), langkah berikutnya adalah menghitung volumenya. Untuk ini, kita memerlukan **berat jenis** sampah. Berat jenis sampah adalah massa sampah per satuan volume, umumnya dinyatakan dalam **kg/m<sup>3</sup>**. Nilai berat jenis sampah bervariasi tergantung pada jenis dan komposisinya, misalnya:

- Sampah organik: sekitar 400–800 kg/m<sup>3</sup>.
- Sampah anorganik (plastik, kaca, logam): sekitar 100–300 kg/m<sup>3</sup>.

Jika kita ingin mengkonversi timbulan sampah dalam ton menjadi volume dalam m<sup>3</sup>, kita dapat menggunakan rumus:

$$\text{Volume Sampah} = \frac{\text{Berat Sampah}}{\text{Berat Jenis Sampah}}$$

Sebagai contoh, misalkan berat jenis sampah campuran (organik dan anorganik) di kota tersebut adalah 600 kg/m<sup>3</sup>. Maka volume sampah yang dihasilkan dalam 1 tahun dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Volume Sampah per Tahun} = \frac{18.250.000 \text{ kg}}{600 \text{ kg / m}^3}$$

$$\text{Volume Sampah per Tahun} = 30.417 \text{ m}^3$$

Jadi, sampah yang dihasilkan dalam 1 tahun tersebut akan memerlukan volume sekitar **30.417 m<sup>3</sup>**. Data proyeksi ini juga dapat menjadi dasar untuk merencanakan program pengurangan sampah, seperti peningkatan daur ulang, pemanfaatan kompos, atau produksi energi dari sampah (wastetoenergy), serta untuk mengevaluasi kebijakan terkait pengelolaan sampah di masa mendatang.

## 2. Aspek Finansial

Aspek finansial merupakan komponen penting dalam analisis proyek, terutama dalam konteks pengolahan sampah. Penilaian ini mencakup beberapa elemen kunci yang akan membantu dalam mengevaluasi kelayakan dan potensi keberhasilan proyek pengolahan sampah. Berikut adalah penjelasan mendetail mengenai setiap elemen dalam aspek finansial tersebut:

#### 1) Menghitung Biaya Investasi Awal

Biaya investasi awal merujuk pada semua pengeluaran yang diperlukan untuk memulai proyek. Ini mencakup:

- a. Pengadaan Peralatan dan Infrastruktur, biaya ini mencakup untuk membeli atau menyewa peralatan yang diperlukan untuk pengolahan sampah, seperti mesin pemilah, mesin penghancur, dan fasilitas penyimpanan.
- b. Biaya Pembangunan fasilitas baru, biaya konstruksi akan menjadi bagian besar dari investasi awal. Ini termasuk biaya material, tenaga kerja, dan izin yang diperlukan.
- c. Biaya yang terkait dengan pengurusan izin lingkungan, izin operasional, dan lisensi yang diperlukan untuk menjalankan proyek.
- d. Biaya Riset dan Pengembangan (R&D) produk baru dari sampah yang diolah, biaya untuk penelitian dan pengujian juga harus diperhitungkan.

#### 2) Menghitung Biaya Operasional

Setelah investasi awal, proyek akan memerlukan biaya operasional untuk menjalankan kegiatan sehari-hari. Ini mencakup:

- a. Gaji dan tunjangan untuk karyawan yang terlibat dalam proses pengolahan dan manajemen proyek.
- b. Penggunaan energi untuk menjalankan peralatan dan fasilitas. Ini bisa berupa listrik, bahan bakar, dan air.
- c. Biaya untuk pemeliharaan dan perbaikan peralatan agar tetap berfungsi dengan baik.
- d. Pengolahan sampah bisa memerlukan input tambahan.
- e. Biaya yang berkaitan dengan administrasi, seperti sewa kantor, komunikasi, dan layanan umum lainnya.

#### 3) Potensi Pendapatan dari Produk Olahan Sampah

Setelah menghitung biaya, penting untuk mengevaluasi potensi pendapatan yang dapat dihasilkan dari produk yang dihasilkan melalui pengolahan sampah. Ini mencakup:

- a. Pendapatan yang diperoleh dari penjualan produk olahan, seperti kompos, bahan baku daur ulang, atau energi terbarukan. Analisis pasar perlu dilakukan untuk mengetahui harga dan permintaan produk tersebut.
- b. Beberapa proyek pengolahan sampah mungkin mendapatkan pendapatan dari program penghargaan untuk pengurangan emisi karbon atau inisiatif lingkungan lainnya.
- c. Pemerintah seringkali memberikan subsidi untuk proyek yang mendukung keberlanjutan lingkungan. Ini bisa menjadi sumber pendapatan tambahan.

#### 4) Analisis Net Present Value (NPV)

Analisis NPV adalah metode untuk menilai kelayakan finansial proyek dengan mempertimbangkan nilai waktu dari uang. NPV dihitung dengan mengurangkan total biaya investasi awal dan biaya operasional dari total pendapatan yang diharapkan selama masa proyek.

$$NPV = \sum \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0$$

Di mana:

- a.  $C_t$  = arus kas bersih di tahun ke  $t$ .
- b.  $r$  = tingkat diskonto (biaya modal).
- c.  $t$  = tahun.
- d.  $C_0$  = biaya investasi awal.

Jika NPV positif, proyek dianggap layak secara finansial karena diperkirakan akan menghasilkan lebih banyak pendapatan daripada biaya yang dikeluarkan.

## 5. Sumber Pendanaan

Menentukan sumber pendanaan adalah langkah penting dalam perencanaan proyek.

Pendanaan dapat berasal dari berbagai sumber:

- a. Pemerintah, banyak proyek pengolahan sampah mendapat dukungan keuangan dari pemerintah, baik melalui hibah, subsidi, atau pinjaman dengan bunga rendah. Pemerintah biasanya tertarik pada proyek yang berdampak positif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat.
- b. Investor swasta, baik individu maupun lembaga, bisa menjadi sumber pendanaan yang penting. Mereka mencari proyek dengan potensi keuntungan yang menarik dan dampak sosial yang positif.
- c. Crowdfunding, model pendanaan ini melibatkan masyarakat umum untuk berinvestasi dalam proyek. Ini bisa dilakukan melalui platform online yang memungkinkan individu untuk mendanai proyek dengan jumlah kecil.
- d. Skema Pembiayaan, diantaranya pembiayaan yang dapat diterapkan termasuk pembiayaan berbasis hasil, dimana pembayaran dilakukan berdasarkan pencapaian tertentu, atau model Public Private Partnership (PPP) yang melibatkan kerjasama antara pemerintah dan sektor swasta.

## 3. Dampak Lingkungan

Dampak lingkungan dari suatu proyek atau kegiatan, seperti pengolahan sampah, mencakup berbagai aspek yang dapat memengaruhi ekosistem, masyarakat, dan kualitas lingkungan hidup secara keseluruhan. Evaluasi dampak lingkungan adalah langkah penting dalam merencanakan dan melaksanakan suatu proyek, terutama dalam konteks pengelolaan sampah. Berikut adalah penjabaran mendetail dari kalimat tersebut:

### 1) Evaluasi Dampak Lingkungan

Evaluasi dampak lingkungan (Environmental Impact Assessment EIA) adalah proses sistematis untuk menilai potensi dampak suatu proyek atau kegiatan terhadap lingkungan. Proses ini meliputi identifikasi, prediksi, dan evaluasi dampak yang mungkin timbul dari aktivitas tersebut.

Komponen Evaluasi:

- a. Mengidentifikasi semua aspek lingkungan yang mungkin terpengaruh, seperti udara, tanah, air, flora, fauna, dan masyarakat.
- b. Menganalisis tingkat keparahan dampak, baik positif maupun negatif. Ini termasuk mengevaluasi potensi pencemaran yang mungkin terjadi akibat kegiatan pengolahan, seperti limbah yang dihasilkan, emisi gas rumah kaca, dan dampak terhadap kualitas air.
- c. Mengembangkan rencana untuk mengurangi atau menghindari dampak negatif, serta meningkatkan dampak positif.

### 2) Mempertimbangkan Dampak dari Kegiatan Pengolahan

Kegiatan pengolahan sampah memiliki dampak yang bervariasi terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan berbagai faktor berikut:

#### Potensi Pencemaran

- a. Proses pengolahan sampah dapat menghasilkan emisi gas dan partikel, seperti debu, asap, dan gas rumah kaca. Ini dapat berdampak pada kualitas udara dan kesehatan masyarakat.
- b. Jika limbah cair dari proses pengolahan tidak dikelola dengan baik, bisa mencemari sumber air terdekat, yang berbahaya bagi ekosistem akuatik dan kesehatan manusia.
- c. Pembuangan limbah padat yang tidak tepat dapat mencemari tanah, mempengaruhi kesuburan, dan mengancam kesehatan tanaman serta organisme tanah.

#### Manfaat Ekologis dari Pengurangan Volume Sampah

- a. Pengolahan sampah dapat mengurangi volume sampah yang dibawa ke tempat pembuangan akhir (TPA), yang berdampak positif dalam mengurangi tekanan pada TPA.
- b. Pengolahan dapat meningkatkan tingkat daur ulang bahan - bahan seperti plastik, logam, dan kertas, yang berkontribusi pada pengurangan pemakaian sumber daya alam dan energi.
- c. Dengan mengolah dan mendaur ulang sampah, emisi gas rumah kaca dapat diminimalisir, sehingga membantu mitigasi perubahan iklim.

### 3) Manfaat bagi Masyarakat Lokal

Proyek pengolahan sampah tidak hanya berdampak pada lingkungan tetapi juga memberikan manfaat bagi masyarakat lokal. Berikut adalah beberapa cara bagaimana proyek tersebut dapat bermanfaat:

#### **Penciptaan Lapangan Kerja**

- a. Proyek pengolahan sampah dapat menciptakan lapangan kerja baru, baik dalam proses pengolahan, transportasi, maupun manajemen limbah. Ini membantu mengurangi tingkat pengangguran di komunitas lokal.
- b. Masyarakat lokal dapat dilibatkan dalam pelatihan untuk keterampilan baru terkait pengelolaan sampah, yang dapat meningkatkan kemampuan mereka dan menambah pendapatan.

#### **Peningkatan Kualitas Lingkungan Hidup**

- a. Kualitas udara dan air akan meningkat karena proses pencemaran yang berkurang atau menurun, sehingga berdampak positif pada kesehatan masyarakat.
- b. Pengurangan volume sampah juga dapat memungkinkan pengembangan ruang terbuka hijau, yang penting untuk kesejahteraan masyarakat dan ekosistem.
- c. Proyek pengolahan sampah dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan limbah dan perlunya menjaga lingkungan. Ini dapat mendorong partisipasi aktif masyarakat dalam menjaga kebersihan dan keberlanjutan lingkungan.

### 4. Kebijakan dan Regulasi

Kebijakan dan regulasi adalah komponen krusial dalam setiap proyek pengelolaan sampah, termasuk proyek pengolahan sampah berbasis biosistem. Kebijakan dan regulasi yang tepat tidak hanya membantu dalam memastikan kepatuhan terhadap hukum, tetapi juga menciptakan kerangka kerja yang mendukung keberlanjutan lingkungan. Berikut adalah penjelasan mendetail mengenai aspek-aspek ini:

- 1) Memastikan Kepatuhan terhadap Peraturan yang Berlaku  
Proyek pengelolaan sampah harus mematuhi berbagai peraturan dan kebijakan yang ditetapkan oleh pemerintah dan lembaga terkait. Hal ini mencakup:
  - a. Undang-Undang dan Peraturan Daerah: Proyek harus sesuai dengan undang-undang nasional yang mengatur pengelolaan sampah, perlindungan lingkungan, dan kesehatan masyarakat. Misalnya, UU No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah di Indonesia.
  - b. Peraturan Lingkungan: Mematuhi standar emisi, pengolahan limbah, dan praktik ramah lingkungan yang ditetapkan oleh instansi lingkungan hidup. Ini mencakup pengurangan polusi, pengelolaan limbah berbahaya, dan pemantauan kualitas lingkungan.
  - c. Standar Kualitas: Memastikan bahwa semua tahap dalam pengolahan sampah mengikuti standar kualitas yang ditetapkan untuk menjaga kesehatan masyarakat dan lingkungan.
- 2) Merumuskan Langkah - langkah untuk Pengembangan Berkelanjutan  
Langkah - langkah untuk pengembangan berkelanjutan dari sistem pengolahan sampah harus dirumuskan secara sistematis untuk memastikan relevansi dan efektivitas dalam jangka panjang. Langkah - langkah ini dapat mencakup:
  - a. Riset dan Inovasi guna mengidentifikasi teknologi dan metode baru dalam pengolahan sampah yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Misalnya, penerapan teknologi anaerobik untuk menghasilkan biogas dari limbah organik.
  - b. Pendidikan dan Kesadaran Publik untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah dan partisipasi aktif dalam program pengurangan sampah. Kegiatan edukasi dapat mencakup kampanye tentang daur ulang, pengomposan, dan pengurangan penggunaan plastik.
  - c. Membangun kemitraan dengan sektor swasta, lembaga pemerintah, dan organisasi nonpemerintah untuk meningkatkan sumber daya dan teknologi dalam pengelolaan sampah. Ini dapat memperkuat jaringan pengumpulan dan pengolahan sampah.
  - d. Menetapkan sistem pemantauan yang baik untuk mengevaluasi efektivitas langkah-langkah yang diambil. Dengan melakukan evaluasi berkala, proyek dapat melakukan penyesuaian yang diperlukan untuk meningkatkan kinerja.
- 3) Relevansi dan Efektivitas dalam Jangka Panjang  
Proyek pengolahan sampah berbasis biosistem harus dirancang untuk bertahan dalam jangka panjang. Aspek ini meliputi:
  - a. Memastikan bahwa proyek memiliki model bisnis yang dapat mendukung operasional dan pemeliharaan sistem. Ini mencakup analisis biayamanfaat yang menunjukkan potensi keuntungan dari pengelolaan sampah yang efisien.
  - b. Proyek harus fleksibel untuk beradaptasi dengan perubahan kondisi, baik dari segi kebijakan, teknologi, maupun kebutuhan masyarakat. Misalnya, jika terjadi peningkatan volume sampah akibat pertumbuhan populasi, sistem harus dapat mengakomodasi hal tersebut.
  - c. Mengidentifikasi dan merencanakan langkah - langkah untuk mengurangi risiko yang dapat mengganggu keberlanjutan proyek, seperti bencana alam, perubahan kebijakan, atau perubahan dalam perilaku konsumen.
- 4) Studi Kelayakan yang Komprehensif

Studi kelayakan menjadi alat penting untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang potensi keberhasilan proyek pengolahan sampah berbasis biosistem. Studi ini akan mencakup:

- a. Analisis pasar guna memahami kebutuhan dan harapan masyarakat terkait pengelolaan sampah.
- b. Analisis teknis untuk menilai teknologi yang digunakan dan bagaimana teknologi tersebut dapat memenuhi kebutuhan pengelolaan sampah secara efisien.
- c. Analisis lingkungan guna mengevaluasi dampak lingkungan dari proyek dan bagaimana proyek tersebut akan berkontribusi terhadap perlindungan lingkungan.
- d. Analisis sosial untuk menilai dampak sosial dari proyek terhadap masyarakat lokal, termasuk peningkatan kualitas hidup dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah.

### **Kesimpulan**

Penggunaan model biosistem sebagai pendekatan untuk mencapai keberlanjutan lingkungan menawarkan potensi yang signifikan dalam pengelolaan sumber daya alam. Melalui penelitian ini, telah diidentifikasi bahwa asumsi dasar yang mendasari model biosistem harus mencakup pemahaman yang mendalam terhadap interaksi antara komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem. Dengan menerapkan prinsip - prinsip keberlanjutan, seperti perlindungan keanekaragaman hayati dan penggunaan sumber daya secara bijaksana, model biosistem dapat berfungsi sebagai alat yang efektif untuk mengatasi tantangan lingkungan yang kompleks.

Penerapan strategi yang berbasis pada model biosistem tidak hanya meningkatkan produktivitas pertanian tetapi juga menjaga integritas ekosistem. Uji coba dan validasi model di lapangan menunjukkan bahwa kolaborasi antara berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, akademisi, dan masyarakat lokal, sangat penting untuk keberhasilan implementasi. Dengan demikian, pengembangan model biosistem yang berkelanjutan dapat menjadi langkah strategis menuju pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan, memastikan bahwa kebutuhan generasi saat ini dapat dipenuhi tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri.

### **Rekomendasi**

1. Penerapan Praktik Pertanian Berkelanjutan: Ditekankan pentingnya penerapan praktik pertanian berkelanjutan yang mencakup penggunaan bahan organik, rotasi tanaman, dan pengelolaan hama terpadu. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan keberagaman biologis, serta mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis yang dapat merusak lingkungan.
2. Konservasi Sumber Daya Alam : Prioritaskan konservasi sumber daya dengan menerapkan praktik efisiensi penggunaan air dan tanah. Pengelolaan limbah pertanian juga harus diperhatikan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap ekosistem.
3. Inovasi Teknologi Pertanian : Mengintegrasikan teknologi canggih dalam pertanian, seperti Smart Agri Plant Factory, untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Teknologi ini dapat membantu dalam optimasi kondisi pertumbuhan tanaman dan memaksimalkan hasil produksi.
4. Pemberdayaan Komunitas : Melibatkan masyarakat lokal dalam pengelolaan biosistem melalui program pendidikan dan pelatihan. Pemberdayaan ini akan

meningkatkan kesadaran lingkungan dan mendorong partisipasi aktif dalam praktik pertanian berkelanjutan.

5. Kolaborasi Multi Pemangku Kepentingan : Mendorong kolaborasi antara pemerintah, akademisi, sektor swasta, dan masyarakat untuk menciptakan kebijakan yang mendukung pengembangan model biosistem yang berkelanjutan. Kerja sama ini dapat menghasilkan inovasi dan solusi yang lebih efektif untuk tantangan lingkungan.
6. Monitoring dan Evaluasi : Melakukan monitoring secara berkala terhadap penerapan model biosistem untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam mencapai keberlanjutan lingkungan. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk melakukan penyesuaian strategi yang diperlukan.

## Referensi

- Anisa, P., Ahmad, S. N., Welendo, L., & A, L. M. N. R. (2022). Analisis Karakteristik Dan Komposisi Sampah Rumah Tangga Di Kecamatan Kendari Barat Kota Kendari. *Stabilita*, 10(3), 100–106. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.55679/jts.v10i3.31245>
- Arifin, Z., Ariantini, M. S., Sudipa, I. G. I., Chaniago, R., Dwipayana, A. D., Adhichandra, I., Ariana, A. A. G. B., Yulianti, M. L., Rumata, N. A., & Alfiah, T. (2023). *GREEN TECHNOLOGY: Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan Berbagai Bidang*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Bangun, M. L. (2019). *Kajian Timbulan, Komposisi dan Karakteristik Sampah Non Rumah Tangga di Kota Binjai*. Universitas Sumatera Utara.
- Handayani, H., Duhita, M. R., Ulinniam, U., Hetharia, C., Sianturi, B. J., Yusal, M. S., Sutrisno, E., Purbowati, R., Manik, V. T., & Octorina, P. (2020). *Biologi Umum*. CV WIDINA MEDIA UTAMA.
- Koryati, T., Purba, D. W., Surjaningsih, D. R., Herawati, J., Sagala, D., Purba, S. R., Khairani, M., Amartani, K., Sutrisno, E., & Panggabean, N. H. (2021). *Fisiologi tumbuhan*. Yayasan Kita Menulis.
- Ramdhini, R. N., Manalu, A. I., Ruwaida, I. P., Isrianto, P. L., Panggabean, N. H., Wilujeng, S., Erdiandini, I., Purba, S. R. F., Sutrisno, E., & Hulu, I. L. (2021). *Anatomi tumbuhan*. Yayasan Kita Menulis.
- Simarmata, M. M. T., Sudarmanto, E., Kato, I., Nainggolan, L. E., Purba, E., Sutrisno, E., Chaerul, M., Faried, A. I., Marzuki, I., & Siregar, T. (2021). *Ekonomi Sumber Daya Alam*. Yayasan Kita Menulis.
- Sitorus, E., Sutrisno, E., Armus, R., Gurning, K., Fatma, F., Parinduri, L., Chaerul, M., Marzuki, I., & Priastomo, Y. (2021). *Proses Pengolahan Limbah*. Yayasan Kita Menulis.
- Sutrisno, E., Sari, A. N., Faradika, M., Noviana, L., Mohamad, E., Sari, S. P., Indrawanto, D., Theresia, & Tangio, J. S. (2024). *Toksikologi Lingkungan*. Yayasan Kita Menulis.
- Rahayu, S. B., Widodo, S., & Binawati, E. (2019). Pengaruh Akuntabilitas Dan Transparansi Lembaga Zakat Terhadap Tingkat Kepercayaan Muzakki (Studi Kasus Pada Lembaga Amil Zakat Masjid Jogokariyan Yogyakarta). *Journal Of Business And Information Systems (E-Issn: 2685-2543)*, 1(2), 103–114.
- Salma, S. (2023). *Pengelolaan Keuangan Masjid Di Maroangin Kecamatan Maiwa (Analisis Akuntansi Syariah)*. Iain Parepare.