

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Umum Sampah

Sampah dalam ilmu kesehatan lingkungan merupakan sebagian dari benda atau hal-hal yang dipandang tidak digunakan, tidak dipakai, tidak disenangi atau harus dibuang sehingga tidak mengganggu kelangsungan hidup. Berdasarkan lokasinya sampah dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu sampah urban (sampah yang terkumpul di kota-kota besar) dan sampah daerah (sampah yang terkumpul di daerah luar perkotaan). Sampah sebagai limbah dapat bersifat padat atau setengah padat yang terdiri dari zat organik maupun anorganik (Suryani, 2014).

2.1.1 Pengaruh Sampah Terhadap Sosial-Ekonomi

Keberadaan sampah sering kali dianggap merugikan bagi sebagian orang. Oleh sebab itu, diperlukan pemahaman terhadap dampak sosial ekonomi dari adanya sampah. Dengan memahami dan mempelajari dampak tersebut, dapat dilakukan tindakan mitigasi risiko untuk menanggulangi masalah sampah yang ada. Pengaruh sampah terhadap sosial ekonomi suatu lingkungan antara lain (Annidia, Rahiem, & Nourwahida, 2023):

1. Sampah yang tidak dikelola dengan baik menyebabkan rusaknya lingkungan serta mempengaruhi kehidupan sosial penduduk.
2. Sampah padat dapat menyumbat aliran drainase dan sungai, sehingga menyebabkan munculnya bencana alam seperti banjir yang menimbulkan rusaknya fasilitas umum, rusaknya tempat tinggal penduduk, hilangnya ketersediaan pangan, hingga melumpuhkan aktivitas masyarakat.
3. Pengelolaan sampah yang tidak baik menyebabkan menurunnya tingkat kesehatan hidup masyarakat.
4. Sampah berkontribusi terhadap perputaran ekonomi.
5. Potensi terbukanya lapangan kerja dari industri daur ulang sampah.

2.2 Sistem Pengelolaan Sampah

Sampah menjadi salah satu permasalahan lingkungan karena menyebabkan munculnya pencemaran dan dampak buruk bagi kesehatan. Timbunan sampah akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya laju pertumbuhan penduduk dan arus urbanisasi. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menyebutkan produksi sampah nasional Indonesia mencapai 67,8 juta ton atau 185.753 ton sampah perhari yang dihasilkan oleh 270 juta jiwa penduduk. Dapat dikatakan setiap individu menghasilkan 0,68 kg per hari. Angka timbunan sampah terus meningkat dari tahun ke tahun dan menyebabkan beban kapasitas TPA juga semakin bertambah (Purba, Putri, Sitorus, & Sari, 2023).

Pengelolaan sampah tentu diperlukan sebagai upaya mengurangi permasalahan sampah. Pengelolaan sampah merupakan bagian dari kegiatan pengelolaan kebersihan yang meliputi kegiatan pengendalian timbunan sampah, pengumpulan sampah, pengangkutan, pengolahan serta pembuangan akhir sampah. Terdapat tiga hal yang harus dipertimbangkan dalam melakukan pengelolaan sampah yaitu identifikasi kondisi sistem pengelolaan sampah yang telah ada, pola kebijaksanaan pembinaan, dan pengembangan. Penanganan sampah merupakan suatu hal yang kompleks karena mencakup aspek teknis, ekonomi, serta sosiopolitis suatu wilayah (Suryani, 2014).

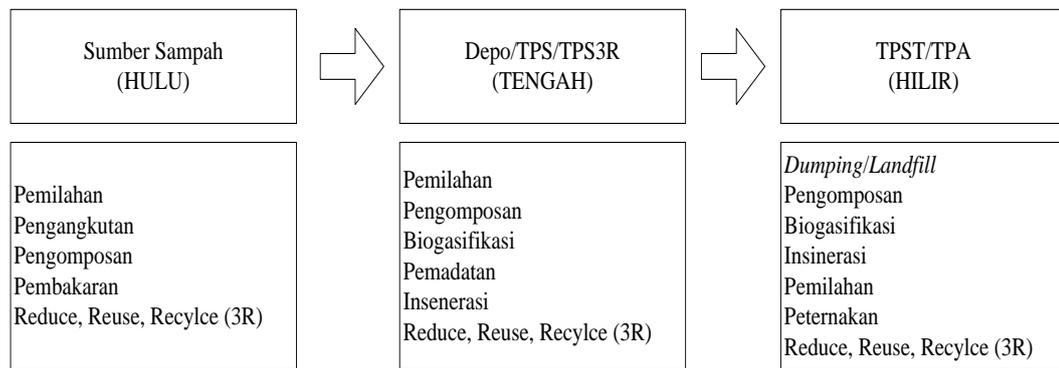
Setiap aktivitas pengelolaan sampah akan berdampak pada lingkungan, sosial-ekonomi baik secara positif maupun negatif. Dampak yang muncul akan mengubah persepsi dan interaksi berbagai pihak bukan hanya pemerintah namun juga masyarakat. Secara tradisional, penilaian keberhasilan atau kegagalan pengelolaan sampah lebih terfokus pada aspek-aspek teknis seperti kinerja dalam hal pelayanan, volume sampah yang diolah, serta dampak bagi lingkungan. Namun para ahli setuju bahwa pengelolaan sampah terpadu serta berkelanjutan tidak hanya berfokus pada aspek teknis dan dampak lingkungannya, keberhasilan atau kegagalan dalam pengelolaan sampah juga disebabkan faktor lain seperti (Zurbrügg, Gfrerer, Ashadi, Brenner, & Küper, 2012):

1. Elemen sosial, yaitu masalah mobilisasi sosial dan penerimaan masyarakat.

2. Elemen institusional, yaitu terkait peran, tanggung jawab, serta fungsi manajemen dari pemerintah selaku pihak yang berwenang dalam membuat peraturan hokum, mengawasi, dan mengendalikan kegiatan pengelolaan sampah, serta sebagai fasilitator dalam upaya penanganan sampah.
3. Elemen ekonomi, yaitu terkait aspek finansial dan operasional serta mekanisme pemulihan biaya.

Terdapat lima aspek yang saling berkaitan dalam upaya meningkatkan pengelolaan sampah. Kelima aspek tersebut adalah aspek kelembagaan, pembiayaan, pengaturan, peran serta masyarakat, serta teknik operasional. Komponen dalam aspek tersebut saling mendukung, berinteraksi, dan saling berhubungan satu sama lain. Peran pokok aspek kelembagaan adalah menggerakkan, mengaktifkan, serta mengarahkan sistem. Peran pembiayaan meliputi penganggaran keuangan yang menyokong kebutuhan operasional dan alternatif sumber pendanaan. Peran pengaturan adalah sebagai dasar hukum yang menjaga dinamika sistem agar mencapai sasaran secara efektif. Peran masyarakat adalah selaku penghasil sampah yang berperan dalam mengurangi timbunan sampah maupun dalam penyediaan dana. Peran teknik operasional adalah sebagai komponen pelaksana yang terdiri dari sarana prasarana, perencanaan, tata cara operasional untuk kegiatan pewadahan, pengumpulan, pengangkutan serta pembuangan akhir sampah (Suryani, 2014).

Terdapat tiga tingkatan penanganan sampah yang secara umum diterapkan di Indonesia. Tahapan pertama yaitu sisi hulu (sumber sampah) penanganan sampah yang dilakukan berupa pengangkutan, pemilahan, pembakaran, pengomposan, dan 3R. Tahap selanjutnya adalah sisi tengah (dilakukan pada depo, TPS3R, dan TPS) penanganan yang dilakukan berupa pemadatan, pemilahan, insenerasi, pengomposan, biogasifikasi, 3R, dan lain-lain. Tahapan hilir (dilakukan pada TPST atau TPA) penanganan sampah yang dilakukan berupa *dumping/landfill*, pemilahan, insenerasi, biogasifikasi, dan lain-lain. Tiga tahapan tersebut menggambarkan proses umum penanganan sampah yang ada saat ini (Purnomo, 2020). Gambar 1 menunjukkan tahapan penanganan sampah dari hulu hingga hilir.



Gambar 1. Tingkatan Penanganan Sampah

(Sumber: Purnomo, 2020)

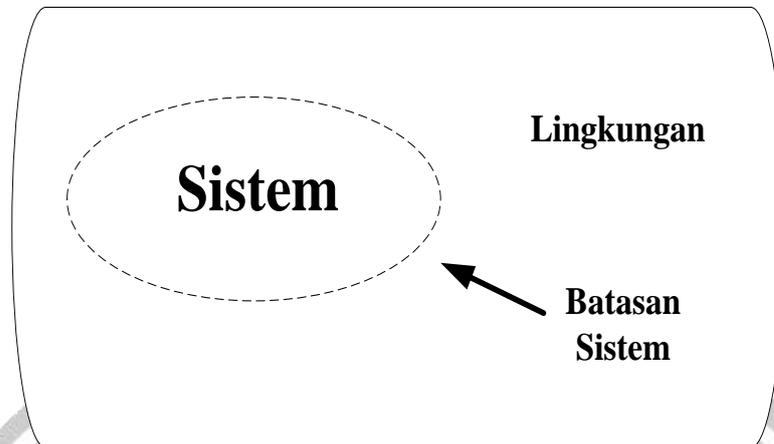
Tantangan utama dalam penanganan sampah adalah pemilahan sampah dalam setiap tahapan pengelolaan sampah. Pemilahan sampah dari sumber akan mempermudah tahapan pengolahan sampah selanjutnya. Menurut para ahli praktisi 3R, 50% keberhasilan kegiatan daur ulang ditentukan dari kegiatan pemilahan sampah. Sampah yang tercampur dan kotor akan menjadi tidak bernilai, sedangkan nilai sampah akan naik berkali lipat apabila kondisi sampah bersih dan terpilah sesuai dengan jenisnya (Irmawartini, Mulyati, & Pujiono, 2023).

2.3 Pemodelan Sistem Dinamis

Pemodelan merupakan salah satu alat yang sering digunakan untuk mempelajari atau menganalisis kinerja dari suatu sistem atau proses. Pemodelan digunakan untuk menggambarkan model yang sesuai dengan hasil analisis permasalahan. Tujuan dari suatu pemodelan adalah untuk menganalisa dan memberi prediksi yang mendekati sistem nyata (Az-zahra, Syahputri, Setifani, Ningrum, & Rolliawati, 2020). Model dapat berupa tiruan dari suatu sistem, benda, maupun kejadian (fenomena) sesungguhnya yang didalamnya berisi informasi yang diformulasikan untuk menemukan solusi dari persoalan yang ada.

Sistem merupakan kumpulan pernyataan yang digunakan untuk membantu seseorang dalam memahami sistem, sehingga praktisi dapat memahami dan memperoleh penjelasan yang kuat serta dapat menginterpretasikannya dengan tepat (Adams, Hester, Bradley, Meyers, & Keating, 2014). Menurut (Suryani, Hendrawan, & Rahmawati, 2021) sistem merupakan suatu kelompok entitas yang berinteraksi saling terkait membentuk satu kesatuan untuk mencapai tujuan

tertentu. Pada Gambar 2 sistem ditunjukkan memiliki batasan dengan lingkungan di luar sistem. Batasan sistem merupakan batas antara sistem dengan lingkungan luar yang mempengaruhi sistem.



Gambar 2. Gambaran Sistem

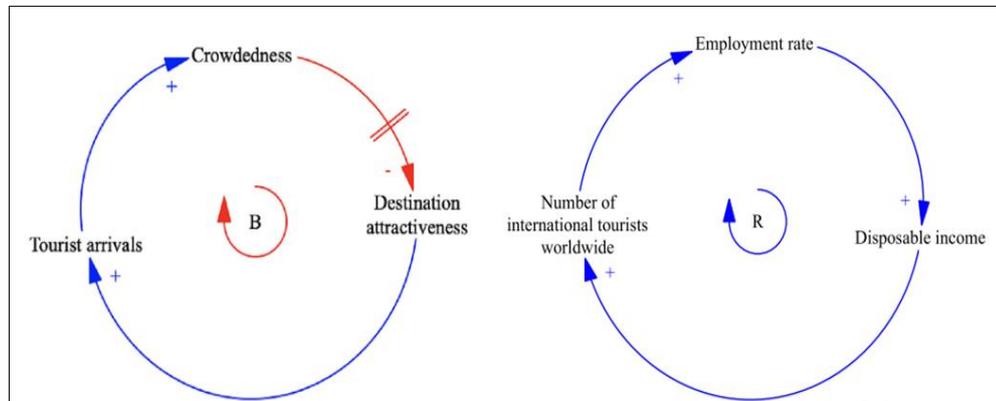
(Sumber: Suryani, Hendrawan, & Rahmawati, 2021)

Sistem memiliki struktur dan tujuan yang diekspresikan dalam bentuk fungsi. Fungsi tersebut berupa variabel dependen (variabel yang tergantung) dan variabel independen (variabel tidak tergantung). Sistem diklasifikasikan menjadi dua, yaitu sistem diskret dan sistem kontinu. Status variabel dalam sistem diskret dapat berubah pada kejadian-kejadian tertentu dan perubahannya dapat dilihat dengan kasat mata, contohnya sistem antrean *customer* bank. Status variabel pada sistem kontinu berubah secara kontinu terhadap waktu, contohnya penumpang dalam pesawat dapat merasakan posisi dan kecepatan berubah secara kontinu sepanjang waktu (Suryani, Hendrawan, & Rahmawati, 2021).

2.3.1 Causal Loop Diagram (CLD)

Causal Loop Diagram (CLD) merupakan diagram yang digunakan untuk menggambarkan interaksi serta perilaku dari elemen suatu sistem. *Causal Loop Diagram* (CLD) memvisualisasikan faktor, hubungan, serta pengaruh variabel dalam suatu sistem dengan putaran umpan balik (*loop*). Hubungan dikatakan positif apabila kondisi A meningkat dan B juga meningkat, atau ketika kondisi A menurun dan B juga menurun. Kondisi hubungan positif diilustrasikan dengan simbol (+). Sedangkan hubungan negatif terjadi saat kondisi A meningkat dan B menurun, atau

kondisi A menurun dan B meningkat. Sehingga kondisi negatif diilustrasikan dengan simbol (-) (Crabolu, Font, & Eker, 2023).



Gambar 3. Contoh *Balancing Loop* dan *Reinforcing Loop*

(Sumber: Crabolu, Font, & Eker, 2023)

Faktor dan hubungan yang membentuk rangkaian urutan sebab-akibat yang disebut dengan *feedback loops* atau putaran umpan balik. Gambar 3 merupakan contoh putaran umpan balik pada *causal loop diagram* (CLD). Putaran umpan balik dapat bersifat *reinforcing* (menguatkan) atau *balancing* (menyeimbangkan). *Reinforcing* terjadi ketika semua faktor saling merespons satu sama lain dengan arah yang sama. Sebaliknya, *balancing* terjadi ketika faktor saling merespons dengan arah yang berlawanan (Crabolu, Font, & Eker, 2023).

2.3.2 *Stock Flow Diagram* (SFD)

Stock Flow Diagram (SFD) merupakan model yang disusun untuk merepresentasikan sistem nyata ke dalam bentuk model simulasi yang terdiri dari variabel level, *rate*, dan *auxiliary*. Penjabaran variabel *Stock Flow Diagram* (SFD) adalah sebagai berikut:

1. *Stock* atau Level

Stock atau level merupakan sebuah elemen yang berupa kumpulan, kuantitas, kumpulan material ataupun informasi. *Stock* digambarkan dalam bentuk kotak.

2. *Flow*

Flow merupakan proses hubungan yang mengubah nilai dari *stock*. *Flow* biasa disebut juga dengan *interconnection*. *Flow* merupakan proses

yang dapat mengarah ataupun berangkat dari elemen *stock*. *Flow* akan bertindak sebagai variabel yang menambah nilai *stock* apabila *flow* mengarah kepada *stock*. Begitupun saat *flow* mengarah keluar *stock* maka *flow* akan mengurangi jumlah *stock*. Nilai *flow* dapat berasal dari persamaan matematik yang diinput pada bagian *stock*, *auxiliary*, ataupun *constant*.

3. *Auxiliary*

Auxiliary, digambarkan dalam bentuk lingkaran, merupakan variabel yang mengandung nilai atau persamaan matematik yang akan digunakan jika ingin mengubah nilai sebuah variabel.

4. Konstanta

Konstanta, digambarkan dalam bentuk belah ketupat atau diamond, merupakan variabel yang berisi nilai yang konstan atau cenderung tidak berubah selama proses simulasi berlangsung (Panggabean, Ekaputra, & Satria, 2018).

2.4 Verifikasi dan Validasi Model

Berdasarkan (Widodo, Rifa'i, & Fuadyani, 2023) tahapan verifikasi merupakan tahapan yang dilakukan untuk menjamin logika (formulasi) pada variabel sudah sesuai. Verifikasi dilakukan untuk menguji variabel dengan memberikan perlakuan yang berbeda. Sedangkan validasi, menurut (Somantri & Thahir, 2007), merupakan tahap terakhir dalam pengembangan model untuk mengetahui keadaan model dengan meninjau apakah keluaran model sesuai dengan sistem nyata dengan melihat konsistensi internal, korespondensi, dan representasi. Validasi dalam pemodelan sistem dinamis dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu uji struktur secara langsung (*direct structure tests*) tanpa mengoperasikan (*running*) model, uji struktur tingkah laku model (*structure-oriented behavior test*) dengan mengoperasikan (*running*) model, dan perbandingan tingkah laku suatu model dengan kondisi sistem nyata (*quantitative behavior pattern comparison*). Dalam sistem dinamis, validitas dibedakan menjadi dua yaitu validitas perilaku (*behavioural validity*) dan validitas struktural (*structural validity*). Validitas perilaku (*behavioural validity*) mengacu pada seberapa baik keluaran model selaras

dengan perilakunya pada dunia nyata yang diamati. Sedangkan validitas struktural (*structural validity*) mengacu pada input model, komponen, serta hubungannya (Broeke & Tobi, 2021). Semakin kecil simpangan antara model yang dibuat dengan sistem nyata, maka dapat dikategorikan model yang dibuat semakin baik dalam menggambarkan sistem nyata (Nisa, Murti, & Jawwad, 2023). Validasi model dilakukan dengan perhitungan *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Square Error* (MSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_m - X_s| \dots\dots\dots (1)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_m - X_s)^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \left(\sum_{t=1}^n \frac{|X_m - X_s|}{X_m} \right) \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

n = nilai periode waktu

X_m = data aktual

X_s = data hasil simulasi

Mean Absolute Deviation (MAD) merupakan perhitungan rata-rata kesalahan mutlak pada peramalan dalam unit ukuran yang sama seperti data aslinya. *Mean Square Error* (MSE) merupakan perhitungan untuk menghitung rata-rata kesalahan berpangkat pada peramalan yang biasanya menghasilkan kesalahan yang lebih kecil tetapi tidak memungkinkan menghasilkan kesalahan yang sangat besar. Sedangkan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) merupakan perhitungan yang memberikan petunjuk seberapa besar kesalahan peramalan dibandingkan dengan nilai sebenarnya. Semakin rendah nilai MAPE maka kemampuan model peramalan dapat dikatakan baik (Montgomery, Jennings, & Kulahci, 2008). Nilai MAPE memiliki *range* pengukuran mengenai kemampuan model peramalan. Nilai MAPE < 10% menunjukkan kemampuan model peramalan sangat baik. Nilai MAPE berada diantara 10% - 20% menunjukkan kemampuan model peramalan baik. Nilai MAPE berada 20% - 50% menunjukkan kemampuan model peramalan layak. Sedangkan nilai MAPE > 50% maka hasil menunjukkan kemampuan model peramalan buruk (Maricar, 2019).

2.5 *Benefit-Cost Ratio (BCR)*

Perhitungan rasio *benefit-cost* digunakan untuk mengevaluasi nilai investasi ketika konsekuensi penting dari investasi tidak sepenuhnya tercermin dalam pemasukan dan pengeluaran. Metode perbandingan *benefit-cost* dapat digunakan untuk mengevaluasi berbagai jenis investasi seperti pada sektor program pemerintah, investasi sosial, program bantuan asing, dan lain-lain (Budiono, 2012). *Benefit-cost ratio* (BCR) merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui besaran keuntungan atau kerugian serta kelayakan suatu proyek. Penggunaan metode BCR untuk mengevaluasi proyek dilakukan dengan membandingkan nilai seluruh manfaat dengan biaya yang dikeluarkan proyek tersebut (Sururi & Agustapraja, 2020). Rumus yang digunakan dalam menghitung nilai BCR adalah:

$$BCR = \frac{B}{C} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

B = *Benefit*

C = *Cost*

