

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sampah

Karena semakin banyaknya sampah yang dihasilkan manusia setiap harinya. Hal ini semakin diperkuat dengan pengamatan bahwa jumlah penduduk dan daya beli suatu kota akan meningkat seiring dengan tingkat pembangunannya. Jenis dan jumlah sampahJumlah sampah yang dihasilkan dapat sangat dipengaruhi oleh hal ini.

Sampah didefinisikan oleh Tchobanoglous (1993) sebagai hasil kegiatan manusia dan hewan yang tidak lagi dibutuhkan atau dimanfaatkan, biasanya dalam bentuk padat.

Pengelolaan sampah diperlukan untuk melindungi lingkungan dan memastikan pendanaan pembangunan.

Bahan tersebut kadang-kadang masih dapat digunakan sebagai bahan baku meskipun sudah dianggap tidak berguna dan tidak diinginkan lagi. Oleh karena itu, terdapat asas-asas berikut dalam sampah:

1. Adanya suatu benda padat atau substansial
2. Tindakan manusia memiliki hubungan langsung atau tidak langsung.
3. Barang atau substansi tersebut sudah tidak terpakai lagi (Notoatmojo, 2003)

Ada definisi lain yang dikemukakan (Radyastuti, 1996). Sumber yang tidak siap untuk dimanfaatkan disebut sampah. Sampah merupakan material hasil samping dari proses alam atau kegiatan manusia sehari-hari. Seluruh masyarakat harus berperan dalam pengelolaan sampah. Membuang sampah sembarangan di jalan, sungai, dan selokan merupakan kebiasaan buruk yang dapat menyebabkan berbagai masalah seperti:

1. Polusi udara yang menimbulkan bau tak sedap
2. Meningkatnya sejumlah penyakit, termasuk demam berdarah, kolera, dan penyakit kulit.
3. membuang sampah sembarangan di saluran air dapat mengakibatkan banjir

2.2 Jenis dan Sumber Sampah

Penjelasan tentang berbagai asal sampah.

- Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 menyebutkan bahwa asal timbulan sampah adalah sumber sampah
- Menurut Damanhuri (2010), sampah yang dihasilkan dari lingkungan atau kegiatan domestik atau yang disebut juga sampah rumah tangga merupakan sumber sampah yang berasal dari rumah tinggal.
 - Pembagian jenis sampah:
 - Kulit buah, sisa sayuran, dan sisa makanan basi merupakan contoh sampah organik yang cepat terurai.
 - Kertas, kardus, kaca, plastik, logam, dan kaleng merupakan contoh sampah nonorganik..
 - Rumah dan apartemen merupakan contoh umum dari lingkungan tempat tinggal. Jenis sampah yang dihasilkan meliputi sampah makanan, kertas, kardus, plastik, tekstil, kulit, sampah kebun, kayu, kaca, logam, sampah rumah tangga, sampah berbahaya, dan sebagainya.
 - Ruang komersial meliputi pertokoan, rumah makan, pasar, kantor, hotel, dan sebagainya. Produk limbah meliputi barang-barang seperti kertas, kardus, plastik, kayu, sampah makanan, kaca, logam, serta sampah beracun dan berbahaya..
 - Lembaga mencakup berbagai hal seperti gedung pemerintahan, sekolah, rumah sakit, penjara, dan tempat usaha lainnya. Jenis limbah yang dihasilkan sama dengan limbah yang dihasilkan di gedung usaha..
 - Sampah dari bangkai hewan, seperti sapi, kucing, anjing, dan sebagainya
 - Fasilitas umum meliputi taman, pantai, tempat rekreasi, pembersihan jalan, dan banyak lagi. Di antara bahan sampah yang dihasilkan adalah sampah, limbah halaman, ranting, dan sebagainya.
 - Sampah dari pembangunan dan pembongkaran meliputi hal-hal seperti konstruksi baru dan pemeliharaan jalan. Di antara bahan sampah yang dihasilkan adalah debu, beton, baja, kayu, dan sebagainya.
 - Kategori sampah menurut metode pemrosesan dan penanganan:

- Sampah, terkadang dikenal sebagai sampah basah, adalah sampah yang terbuat dari komponen organik yang terurai dengan cepat dalam kondisi lembap. Buah-buahan, sayuran, sisa makanan, denan, dll. adalah beberapa contohnya.
- Sampah, juga dikenal sebagai sampah kering, adalah sampah yang terbuat dari komponen anorganik, yang sebagian besar sulit terurai. Sampah ini dapat dipisahkan menjadi dua kategori, khususnya:
 - Kaleng, pipa besi berkarat, seng, dan logam kuno lainnya adalah contoh sampah logam kering.
 - Sampah yang mudah terbakar, yang meliputi sampah kering yang cepat terbakar, meliputi bahan-bahan nonlogam termasuk kardus, kertas, plastik, kayu, pakaian bekas, dan sebagainya. Sampah yang tidak mudah terbakar meliputi pecahan kaca, botol, dan sampah kering lainnya yang sulit terbakar.
- Istilah "sampah lunak" mengacu pada sampah yang terdiri dari partikel-partikel kecil dan ringan yang dapat beterbangan, sehingga membahayakan penglihatan dan pernapasan:
 - Salah satu komponen sampah adalah debu, yang terdiri dari partikel-partikel kecil dari proses mekanis seperti serbuk gergaji dari tempat penggergajian kayu atau debu dari operasi industri.
 - Abu merupakan produk sampingan dari pembakaran dan meliputi abu kayu, abu vulkanik, abu insinerator, dan jenis lainnya.
- Aliran sampah dapat dikategorikan sebagai yang berasal dari domain publik, komersial, perumahan, dan sosial, menurut Direktur Pengembangan PLP (2011) (Ibrahim et al., 2023).
- Berikut ini adalah sumber sampah, berdasarkan Diktat Kuliah Teknik Lingkungan Enri Damanhuri 2010::
 - Pasar, rumah, toko (operasi komersial dan perdagangan), penyapu jalan, taman, dan area publik lainnya merupakan contoh penghasil sampah. Sumber lainnya termasuk industri yang menghasilkan sampah seperti sampah.
 - Sampah berbahaya, seperti residu baterai, residu minyak rem atau oli kendaraan, residu pengusir nyamuk, residu biosida tanaman, dll., mungkin ada dalam sampah yang dihasilkan manusia setiap hari.

- Sumber sampah dapat dibedakan menurut jenis kegiatan yang menghasilkan sampah. Klasifikasi sumber sampah dipisahkan menjadi:
 - Sampah rumah tangga adalah sampah perumahan.
 - Sampah dari kantor, tempat makan, dan pasar (lokasi perdagangan) disebut sebagai sampah komersial.
 - Sampah oleh operasi perindustrian disebut sebagai sampah industri.
 - Sampah dari operasi pertanian disebut sebagai sampah jalanan.
 - Sampah konstruksi biasanya dihasilkan oleh konstruksi gedung, pemeliharaan jalan, pembongkaran gedung, dan trotoar yang rusak.
 - Sampah dari proses industri, air minum, dan air limbah adalah contoh sampah layanan masyarakat.

2.3 Dampak Pencemaran Akibat Sampah

Direktorat Jenderal Cipta Karya, Direktorat Pengembangan Kesehatan Lingkungan Permukiman (2017) menyatakan bahwa terdapat berbagai permasalahan dalam pengelolaan kebersihan, antara lain kurangnya prasarana dan sarana sehingga tidak mampu memberikan pelayanan yang bermutu sesuai dengan spesifikasi teknis, sehingga mengakibatkan meningkatnya pencemaran lingkungan. Pencemaran yang diakibatkan oleh sampah berpotensi menimbulkan berbagai permasalahan, antara lain:

1. Terciptanya pembawa penyakit

Serangga pembawa penyakit seperti tikus dan lalat berkembang biak di tempat sampah yang masih berisi sampah makanan. Maraknya penutupan sampah yang tidak sesuai dengan peraturan menyebabkan berkembang biaknya vektor penyakit di tempat pembuangan akhir. Gangguan lalat biasanya terjadi dalam jarak 1-2 kilometer dari lokasi pembuangan.

2. Pencemaran udara

Bau tidak sedap disebabkan oleh tumpukan sampah yang tidak ditutup dan tidak segera dibuang. Selain itu, ketika sampah terus membusuk di tempat pembuangan akhir, akan dihasilkan gas seperti H_2S , CO_2 , CH_4 , CO dan lain-lain. Gas-gas ini akan langsung mencemari udara dan meningkatkan emisi gas rumah kaca yang memicu pemanasan global.

3. Pencemaran air

Lindat dapat dihasilkan oleh infrastruktur dan fasilitas pengumpulan terbuka, terutama selama periode presipitasi. Pencemaran air dan air tanah akan terjadi akibat lindi yang mengalir ke saluran atau tanah di dekatnya.

4. Pencemaran tanah

Karena sampah organik menumpuk di tanah setempat dan dapat mengandung komponen limbah berbahaya (B3) yang memerlukan waktu lama untuk terurai, pembuangan sampah yang tidak tepat akan merusak area tersebut. Oleh karena itu, penting untuk mengambil tindakan untuk mengurangi kemungkinan sampah mencemari tanah.

5. Gangguan estetika

Estetika lingkungan sekitar akan terdampak negatif oleh tanah yang terlihat dipenuhi sampah karena akan memberikan kesan yang salah. Opini negatif disebabkan oleh sarana pengangkutan dan pengangkutan yang tidak terawat.

6. Kemacetan di jalan

Arus lalu lintas dapat terganggu akibat kegiatan bongkar muat sampah jika peralatan pengangkut sampah diletakkan di dekat sumber sampah, seperti pasar, pertokoan, dan lain-lain.

7. Gangguan kebisingan

Sumber utama gangguan bising ini adalah pengoperasian truk-truk alat berat di tempat pembuangan sampah, baik yang digunakan untuk mengangkut sampah maupun yang digunakan untuk meratakan dan/atau memadatkan sampah.

8. Dampak terhadap masyarakat

Pembangunan tempat pembuangan sampah di dekat lingkungan tempat tinggal mereka hampir pasti tidak akan disambut baik oleh siapa pun. Gangguan tersebut merupakan penyebab keresahan penduduk setempat.

2.4 Timbulan Sampah

- **Definisi Timbulan Sampah**

Tchobanoglous (1993) dan Damanhuri (2010) mendefinisikan produksi sampah sebagai jumlah sampah yang dihasilkan setiap individu setiap harinya. Banyak faktor

yang memengaruhi produksi sampah, seperti geografi, kesejahteraan masyarakat, demografi, musim, adat istiadat masyarakat, dan inisiatif penggunaan kembali dan daur ulang yang telah dilakukan selama ini.

Produksi sampah, di sisi lain, didefinisikan oleh SNI 19-2454-2002 sebagai volume atau berat sampah yang dihasilkan setiap hari oleh masyarakat per orang, perluasan bangunan, atau perluasan jalan., kendaraan pengangkut, rute pengangkutan, fasilitas daur ulang, serta jenis dan luas TPA.

Tabel 2.1 Besaran Timbulan Sampah

No	Komponen Sumber Sampah	Satuan	Volume (liter)	Berat (kg)
1	Rumah permanen	Per orang/hari	2,25-2,50	0,35-0,40
2	Rumah semi permanen	Per orang/hari	2,00-2,25	0,30-0,35
3	Rumah non permanen	Per orang/hari	1,75-2,00	0,25-0,30
4	Kantor	Per orang/hari	0,50-0,75	0,025-0,10
5	Toko/Ruko	Per orang/hari	2,50-3,00	0,15-0,35
6	Sekolah	Per orang/hari	0,10-0,15	0,01-0,02
7	Jalan arteri sekunder	Per orang/hari	0,10-0,15	0,02-0,10
8	Jalan kolektor sekunder	Per orang/hari	0,10-0,15	0,01-0,05

Sumber: SNI 19-3983-1995

Tabel 2.2 Besaran Timbulan Sampah Berdasarkan Klasifikasi Kota

No	Klasifikasi kota	Volume (l/orang.hari)	Berat (kg/orang.hari)
1	Kota Sedang	2,75-3,25	0,70-0,80
	(100.000-500.000 jiwa)		
2	Kota Kecil	2,50-2,75	0,625-0,70
	(20.000-100.000 jiwa)		

Sumber: SNI 10-3983-1995

2.4.1 Pengukuran Timbulan Sampah

Materi Pengelolaan Sampah dari Direktorat Pengembangan PLP (2011) mencantumkan sejumlah teknik untuk menghitung timbulan sampah, seperti:

1. Analisis beban, yang mencatat volume sampah, berat jenis, moda transportasi, dan sumber untuk menghitung berapa banyak setiap volume yang masuk ke tempat pembuangan sampah. Setelah mengidentifikasi sumber sampah, jumlah sampah yang dihasilkan di kota selama periode waktu tertentu dihitung.
2. Analisis berat-volume, yang menimbang dan mengukur sampah untuk menentukan berapa banyak setiap volume yang sampai ke tempat pembuangan sampah, lalu menghitung jumlah sampah kota yang dihasilkan selama periode waktu tertentu.
3. Analisis keseimbangan material: Teknik ini penting untuk program daur ulang dan menghasilkan data menyeluruh untuk sampah rumah tangga, komersial, dan sampah lainnya. Menurut Damanhuri dan Pادمي (2010), ukuran sistem dalam satu kali proses produksi dapat dipastikan menggunakan metrik.

Berdasarkan data bahan buangan dari Direktorat Pengembangan PLP (2011), jumlah penduduk memegang peranan penting dalam menentukan laju timbulan sampah. Oleh karena itu, proyeksi jumlah penduduk sampai dengan tahun perencanaan dihitung terlebih dahulu sebelum dapat ditentukan jumlah timbulan sampah.

Pengukuran langsung satuan timbulan sampah dari berbagai sampel (rumah tangga dan nonrumah tangga) yang dipilih secara acak-proporsional selama delapan hari merupakan cara penerapan metode ini. Terkait dengan pengambilan dan pengukuran sampel timbulan dan komposisi sampah perkotaan, pendekatan ini sesuai dengan SNI 19-3964-1994. Untuk menghitung berapa banyak pemukiman atau berapa banyak yang harus diambil sampelnya selama delapan hari, dapat digunakan rumus sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan metode di bawah ini, $S = Cd$, maka ditentukan jumlah contoh jiwa dan kepala keluarga (KK).

$$S = C_d \cdot \sqrt{P_s}$$

Keterangan :

S = Jumlah contoh (jiwa)

C_d = Koefisien perumahan

$C_d = 1$ (Kota Besar / metropolitan)

$C_d = 0,5$ (Kota Sedang / kecil)

P_s = Populasi (jiwa)

Persamaan berikut kemudian digunakan untuk memasukkan hasil S:

$$K = \frac{S}{N} \quad \text{Keterangan :}$$

Jumlah contoh (KK)

N = Jumlah jiwa per keluarga (5)

2. Jumlah contoh timbulan sampah dari perumahan.

(1) contoh dari perumahan permanen = ($S_1 \times K$) keluarga

(2) contoh dari perumahan semi permanen = ($S_2 \times K$) keluarga

(3) contoh dari perumahan non permanen = ($S_3 \times K$) keluarga

Dimana:

S_1 = Rumah Permanen (25%)

S_2 = Rumah Semi Permanen (30%)

S_3 = Rumah Non Permanen (45%)

S = Jumlah contoh jiwa

N = Jumlah jiwa per keluarga

$K = S / N =$ Jumlah KK

Pengambilan sampel sampah dilakukan dengan menggunakan kotak berukuran 20 cm x 20 cm dengan kedalaman 100 cm. Sampah dimasukkan ke dalam wadah, ditimbang, dan dikocok sebanyak tiga kali untuk mengetahui volume sampah. Faktor yang perlu diperhatikan antara lain berat alat, berat sampel sampah, tinggi sampah di dalam alat, dan tinggi sampah setelah dipadatkan.

Jumlah penduduk dan laju produksi sampah per orang per hari berpengaruh terhadap kuantitas sampah yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan estimasi jumlah penduduk yang akan dilayani hingga akhir masa perancangan, khususnya untuk 10 tahun ke depan, agar dapat memperkirakan volume sampah yang dihasilkan hingga akhir masa perancangan.

2.5 Pertumbuhan Penduduk

Direktorat Jenderal Cipta Karya dan Direktorat Pengembangan Kesehatan Lingkungan Permukiman (2011) menyatakan ada tiga pendekatan yang dapat digunakan dalam menentukan proyeksi penduduk, yaitu:

1. Perkembangan Jumlah Penduduk

Perkembangan Penduduk Tren pertumbuhan penduduk dan karakteristik kota yang direncanakan sangat memengaruhi teknik proyeksi penduduk mana yang sebaiknya digunakan, seperti metode aritmatika, geometri, dan kuadrat terkecil. Teknik-teknik tersebut adalah:

a. Metode Aritmatik

$$P_n = P_0 + r (dn)$$

dimana :

P_n = penduduk akhir periode

P_0 = penduduk awal proyeksi

r = Rata-rata pertambahan penduduk tiap tahun

dn = durasi proyeksi

b. Metode Geometrik

Teknik untuk memperkirakan jumlah penduduk di suatu wilayah dengan pertumbuhan penduduk eksponensial. Rumus yang digunakan dalam matematika adalah

$$P_n = P_0 (1 + r)^{dn}$$

dimana :

P_n = Jumlah penduduk akhir tahun periode

P_0 = Jumlah penduduk awal proyeksi

r = Nilai rata-rata pertambahan penduduk tiap tahun

dn = durasi proyeksi

c. Metode Least Square

Pendekatan ini mengasumsikan bahwa x adalah jumlah data pada tahun ke- n dan y adalah jumlah populasi pada tahun ke- n . Menurut metode ini, garis regresi yang dihasilkan akan menunjukkan varians nilai data untuk populasi sebelumnya serta ciri-ciri perkembangan populasi di masa lalu dan masa mendatang. Rumus berikut

dapat digunakan untuk menghitung perkembangan populasi di tahun-tahun mendatang:

$$P_n = a + b \cdot x$$

P_n = jumlah penduduk tahun ke- n ,

x = beda yang dihitung tahun dasar,

a/b = dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$a = \frac{\sum p \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum x \cdot p}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n \cdot \sum x \cdot p - \sum x \cdot \sum p}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Berdasarkan rumus tersebut, nilai S_d (simpangan baku/simpangan baku sampel) yang memiliki nilai terendah di antara ketiga pendekatan yang digunakan, digunakan untuk memilih pertumbuhan penduduk. Rumus simpangan baku (S_d) adalah:

$$(S_d) = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y_{\text{mean}})^2}{n-1}}$$

SNI 19-3964-1994 membagi sampah menjadi tiga kategori, yaitu kota kecil, kota sedang, dan kota besar. Kota dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu kota kecil yang jumlah penduduknya kurang dari 100.000 jiwa; kota sedang yang jumlah penduduknya antara 100.000 sampai dengan 500.000 jiwa; dan kota besar yang jumlah penduduknya lebih dari 500.000 jiwa. Kota Sangatta yang berada di Kabupaten Kutai Timur dengan jumlah penduduk 124.183 jiwa termasuk dalam kategori kota sedang.

1. 0,4 hingga 0,5 kg/orang/hari atau 2-2,5 l/orang/hari merupakan satuan produksi sampah kota besar
2. Satuan produksi sampah di kota sedang atau kecil adalah 1,5 hingga 2 kg per orang per hari, atau 0,3 hingga 0,4 kg per orang per hari.

Hal pertama yang perlu diketahui dalam melakukan estimasi timbulan sampah sesuai SNI 19-3964-1994 adalah.

1. laju timbulan sampah (liter/orang/hari atau kg/orang/hari)
2. Laju timbulan sampah per sumber (liter/unit/hari)

3. Rata-rata volume sampah harian yang dihasilkan dengan metode sebagai berikut:

$$V = \frac{V_s}{P}$$

Dimana

V = volume sampah per orang (m³/orang/hari)

V_s = Total volume sampah yang terkumpul (m³/hari)

P = jumlah penduduk

untuk memproyeksikan volume sampah harian:

$$Q_n = P_n \times V$$

Dimana

Q_n = timbukan sampah per hari pada tahun ke n

2. Survei Pengambilan Sampel Sampah di Sumber Sampah

Survei pengambilan sampel sampah harus dilakukan langsung dari sumber sampah untuk mengetahui jumlah sampah yang dihasilkan oleh suatu permukiman. Tujuan pengambilan sampel ini adalah untuk menghitung rata-rata timbulan sampah harian, dinyatakan dalam L/orang atau kg/orang. SNI 19-3964-1994 tentang Metode Pengambilan Sampel dan Pengukuran Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan menjadi dasar pelaksanaan survei dan pengambilan sampel.

2.6 Air Lindi

Lindi, sebagaimana didefinisikan oleh Tchobanoglous (1993), adalah cairan yang tersuspensi dalam limbah padat dan diserap oleh limbah atau oleh faktor luar. Lindi, di sisi lain, adalah cairan yang terbentuk sebagai akibat dari dampak luar dari tumpukan sampah, menurut Damanhuri (2010). Lebih tepatnya, material terlarut dari proses dekomposisi limbah dibawa oleh cairan dari tumpukan sampah.

2.6.1 Mekanisme Pembentukan Air Lindi

Vesilind, Worrel, dan Reinhart (2002) menyatakan bahwa jumlah lindi yang dihasilkan dapat dihitung secara empiris atau melalui penggunaan neraca air, yang dipengaruhi oleh keseimbangan limpasan permukaan, evapotranspirasi, curah hujan, dan kelembaban tanah. Menurut sebuah penelitian, lindi dari tempat pembuangan sampah di lokasi basah menghasilkan 11.200–14.000 liter/ha/hari selama fase aktif, 4.700 liter/ha/hari selama penutupan sementara, dan 930

liter/ha/hari selama penutupan permanen. Sebaliknya, tempat pembuangan sampah di daerah kering hanya menghasilkan 9–60 liter/ha/hari. Menurut penelitian, pembentukan lindi sangat dipengaruhi oleh keadaan iklim.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, data lokasi yang tepat diperlukan untuk penerapan neraca air guna menghitung volume air. Bergantung pada sifat limpasan serta jenis dan kondisi tanah, sebagian kecil air presipitasi akan meresap melalui lapisan penutup, dan sebagian kecil lainnya akan menguap melalui evapotranspirasi. Jumlah air yang dapat tertahan di dalam tanah (kapasitas lapang) akan terlampaui jika perlokasi yang terjadi berlangsung lebih lama daripada evapotranspirasi. Jumlah maksimum air yang dapat ditampung tanah (atau benda lain, seperti sampah) tanpa terus-menerus bergerak ke bawah karena gravitasi dikenal sebagai kapasitas lapang.

Akhirnya, tanah tanpa tanaman di atas tempat penampungan limbah terisi hingga kapasitas lapangnya, sehingga kelebihan air dapat mengisi kembali kadar air tanah. Tidak akan ada kapasitas lapang jika ada tanaman di area penyimpanan limbah. Lebih jauh lagi, lapisan tanah dan sampah TPA yang dipadatkan memiliki kapasitas lapang, atau kemampuan untuk menahan air. Jika kapasitas lapang lapisan campuran terlampaui, cairan yang disebut lindi akan meresap ke lapisan yang lebih rendah. Jika kombinasi tersebut tidak melampaui kapasitas lapangnya, air yang terkumpul tidak akan meresap ke lapisan yang lebih dalam.

Air akan meresap melalui tanah dan sampah ketika tumpukan sampah sel telah tertutup sepenuhnya dan daya tampung tanah dan tumpukan sampah terlalu tinggi. Setelah itu, lindi akan terkumpul di saluran sistem pengolahan lindi. Produksi lindi di lokasi TPA dapat ditentukan dengan menggunakan neraca air, yaitu metode untuk menentukan seberapa besar daya tampung terlampaui.

Perhitungan yang diperlukan dapat dikembangkan menggunakan beberapa estimasi yang ditemukan. Misalnya, koefisien limpasan permukaan diperlukan untuk memperkirakan berbagai jenis tanah dan lereng. Data curah hujan dapat diperoleh dari stasiun cuaca setempat. Selain itu, evapotranspirasi dapat diukur menggunakan

stasiun cuaca atau dihitung menggunakan pendekatan neraca air, yang memperhitungkan fakta bahwa evapotranspirasi turun saat tingkat kelembapan tanah turun.

2.6 Sifat-sifat Sampah

Sampah Sifat-sifat Beberapa karakteristik sampah, seperti termampatkan yang lemah, komposisi yang beragam, dan waktu penguraian yang lama, dapat menimbulkan permasalahan dalam proses pembelajaran. Volume sampel yang besar merupakan masalah mendasar dalam transportasi. Di negara berkembang seperti Indonesia, terkadang masih kurangnya kesadaran dan kepedulian dari berbagai pemangku kepentingan terhadap pentingnya pengelolaan sampah yang baik, hal ini menjadi permasalahan yang muncul dalam pengelolaan sampah.

Penduduk yang begitu pesat di daerah perkotaan (Perkotaan) menyebabkan jumlah sampah yang timbul semakin meningkat. Meningkatnya kepuasan pelanggan juga mengarah pada metode atau pola pengelolaan sampah yang lebih efektif. Keterogenan tingkat sosial budaya penduduk kota menambah permasalahan kompleks, seperti partisipasi masyarakat dalam acara tersebut. Situasi dana prioritas penanganan yang relatif lebih rendah dalam penganggaran rutin merupakan permasalahan umum yang biasanya terjadi dalam lingkup nasional di pemerintah daerah. Kemampuan pemerintah daerah dalam menangani permasalahan meningkat dengan tersedianya sumber daya manusia di daerahnya. Akibatnya, pengembangan sistem dan sarana-prasarana yang dibutuhkan berjalan sangat lambat.

Lebih jauh lagi, karena adanya pergeseran praktik penanganan makanan dan barang konsumsi lainnya ke arah kemasan yang tidak dapat terurai secara hayati seperti plastik, kualitas limbah cenderung condong ke jenis sampah yang lebih sulit ditangani. Ada situasi di mana paradigma pengelolaan limbah saat ini tidak tepat untuk digunakan.

2.6.1 Komposisi Sampah

Persentase setiap komponen dalam sampel ditampilkan dalam komposisi limbah. Komposisi data sampel diperlukan untuk mengidentifikasi manajemen program, sistem, dan peralatan yang diperlukan. Sisa makanan, kertas-karton, kayu, kain-tekstil, karet-kulit, plastik, logam besi-non-besi, kaca, dan bahan lainnya (termasuk

tanah, pasir, bau, dan keramik) semuanya dianggap sebagai sampah, sesuai dengan SNI 19-3964-1994. Karakteristik dan susunan limbah menunjukkan keragaman manusia. Berikut ini adalah deskripsi sampah berdasarkan fakta biologis dan kimia:

- Contoh sampah yang dapat dibuang antara lain sisa makanan, sampah kebun, sampah pasar, sampah pertanian, dan lain-lain.
- Contoh yang tidak meleleh (refuse), misalnya plastik, kertas, karet, gelas, logam, kaca, dan sebagainya
- Contoh yang terdiri dari debu dan abu

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3, Damanhuri dan Padi (2010) mengkarakterisasikan komposisi umum sampah rumah tangga atau perumahan di kota-kota di negara-negara industri.

Tabel 2.3 Komposisi Sampah Domestik

Kategori Sampah	% Berat	% Volume
Kertas dan bahan-bahan kertas	32,98	62,61
Kayu/produk dari kayu	0,38	0,15
Plastik, kulit dan produk karet	6,84	9,06
Kain dan produk tekstil	6,36	5,1
Gelas	16,06	5,31
Logam	10,74	9,12
Bahan batu, pasir	0,26	0,07
Sampah organik	26,38	8,58

Sumber : Diktat Kuliah TL- 3104

2.6.2 Sampling Analisa Komposisi

TPS atau TPA biasanya merupakan tempat pengambilan sampel komposisi dan karakteristik sampah. Jika pengambilan sampel dilakukan dari rumah ke rumah, semua sampel yang terkumpul akan diangkut dengan roda ke TPS dan kemudian ke tempat sampah. Setelah sampel sampah tertentu terkumpul, sampel yang tersisa akan dipilah menurut komponen (komposisi) komponennya, seperti sampah

makanan, kertas, dan plastik, seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Setiap jenis komponen dikategorikan dengan cermat jika diperlukan, terutama menjadi bagian-bagian yang memiliki nilai jual. Biasanya pemilahan ini harus melibatkan bantuan orang yang sudah terbiasa, karena diperlukan pengetahuan yang cukup untuk mengetahui bagian sampah mana yang memiliki nilai jual. Masing-masing komponen komposisi terpilah tersebut kemudian ditimbang. Akan ada bagian sampah yang sulit untuk teridentifikasi, biasanya dinyatakan dengan “dan lain-lain”. Perlu diperhatikan, bahwa total semua komponen sampah tersebut harus membentuk nilai 100%. Berat masing-masing komponen tersebut kemudian di timbang, atau bila akan diukur volume-nya.

2.7 Densitas Sampah

Jumlah sampah yang dihasilkan akan bertambah seiring dengan pertambahan jumlah penduduk. Kepadatan sampah adalah berat sampah per satuan volume yang dinyatakan dalam kerapatannya. Jumlah sampah yang dihasilkan dan komposisinya diukur bersamaan dengan pengukuran kerapatan. Pengukuran kerapatan ini, yang membagi massa sampah yang dihasilkan dengan volume sampah, sesuai dengan SNI 19-3964-1994 tentang Metode Pengumpulan dan Pengukuran Sampel Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan.

$$\text{Densitas Sampah } (\rho) = \frac{\text{Berat Sampah (kg)}}{\text{Volume Sampah (m}^3\text{)}}$$

➤ Penentuan Densitas Sampah

Berat sampah dalam kilogram dibagi dengan volume sampah (kg/m³) dikenal sebagai densitas sampah. Dalam memperkirakan jumlah sampah yang dihasilkan, densitas sampah sangat penting. Selain itu, densitas sampah juga digunakan untuk mengetahui luas lahan TPA yang dibutuhkan. Dengan menimbang sampah yang diuji dalam volume sampah 1/5 hingga 1 m³, kita dapat menentukan densitas sampah berdasarkan SNI 19-3964-1994. Kotak berukuran 20 x 20 cm dan kedalaman 100 cm telah siap. Setelah sampah dimasukkan ke dalam wadah dan ditimbang serta dikocok sebanyak tiga kali, maka dapat ditentukan jumlah sampah

yang dihasilkan. Proses ini dilakukan secara bergantian dengan menggunakan hasil sampel sampah yang telah dihasilkan.

Berdasarkan hasil pengelolaan, kepadatan sampah dapat dihitung dalam kilogram per meter kubik. Sampah dalam gerobak yang sering dipadatkan, sampah yang dikeluarkan dari sumber sampah, atau sampah dari truk pemadat yang biasanya dipadatkan, semuanya akan berdampak signifikan terhadap kepadatan sampah yang diamati. (Kementerian PU 2011; Direktur Pengembangan PLP).

2.7.1 Karakteristik Sampah

Selain komposisi, Damanhuri dan Padmi (2010) menyatakan bahwa sifat fisik dan kimia juga sering terlihat dalam pengelolaan sampah. Bergantung pada bagian-bagian penyusun sampah, atribut-atribut ini dapat berbeda secara signifikan. Fitur-fitur yang berbeda dimungkinkan oleh kekhasan sampah dari berbagai lokasi dan wilayah, serta berbagai jenis sampah. Komposisi sampah kota di negara-negara berkembang akan berbeda dari komposisi sampah di negara-negara maju.

Sulistiyoweni (2002) berpendapat bahwa untuk menilai perlunya perangkat, sistem, program pengelolaan, dan perencanaan khususnya dalam pelaksanaan pengelolaan sampah serta perlindungan sumber daya dan energi, maka perlu dipahami terlebih dahulu karakteristik sampah yang dikelompokkan berdasarkan ciri-ciri sebagai berikut:

1) Karakteristik Fisik

Berat Jenis Sampah

dinyatakan dalam kilogram per meter kubik. Saat menentukan berat jenis sampah, perlu untuk menentukan lokasi dan keadaan pengambilan sampel sampah. Lokasi geografis, waktu dalam setahun, dan lama penyimpanan semuanya memengaruhi berat jenis sampah. Mengetahui jumlah sampah yang diolah sangatlah penting. Tabel 2.4 memberikan contoh berat jenis setiap karakteristik sampah.

Tabel 2.4 Berat Jenis Masing-Masing Karakteristik Sampah

No	Karakteristik sampah	Berat jenis (kg/m ³).	
		Rentang	Tipikal
1	Limbah makanan	120 – 480	290
2	Kertas	30 – 130	85
3	Karton	30 – 80	50
4	Plastik	30 – 130	65
5	Kain	30 – 100	65
6	Karet	90 – 200	130
7	Kulit	90 – 260	160
8	Sampah taman	60 – 225	105
9	Kayu	120 – 320	240
10	Misc.organik	90 – 360	140
11	Kaca	160 – 480	195
12	Timah	45 – 160	90
13	Logam <i>nonferrous</i>	60 – 240	160
14	Logam <i>ferrous</i>	120 – 2000	320
15	Debu,abu dan lainnya	320 – 960	480
16	Limbah padat perkotaan. <i>Uncompacted</i> <i>compacted</i>	90 – 180	130
		180 – 450	300
17	Pada <i>landfill</i> (Normal Padat)	350 – 550	475
18	Pada <i>Landfill</i> (Padat Baik)	600 – 750	600

Sumber : Sulistyoweni, 2002

a. Kadar Kelembaban

Massa air per satuan massa sampah kering atau basah dikenal sebagai kadar air. Kadar air sampah kota ditampilkan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.5 Kelembaban Sampah Perkotaan

Komponen Sampah	Rentang %	Tipikal %
Limbah makanan	50-80	70
Kertas	4-10	6
Karton	4-8	5
Plastik	1-4	2
Tekstil	6-15	10
Karet	1-4	2
Kulit	8-12	10
Sampah perkebunan	30-80	60
Kayu	15-40	20
Misc. Organik	10-60	25
Kaca	1-4	2
Timah	2-4	3
Logam <i>non ferrous</i>	2-4	2
Logam <i>ferrous</i>	2-6	3
Abu, debu	6-12	8
Limbah padat perkotaan	15-40	20

Sumber : Sulistyoweni, 2002

b. Ukuran Partikel

Pengertian tentang tingkat penyaringan dan pemisahan mekanis sangat penting untuk pemrosesan akhir sampah, khususnya selama tahap mekanis.

2) Sifat Bahan Kimia

Saat memilih pemulihan energi dan menilai berbagai teknik, sifat kimia sampah sangat penting.

a. Kandungan Energi

Berat sampah padat dan kadar airnya memengaruhi seberapa banyak energi yang dibutuhkan untuk membakarnya menjadi abu (residu akhir).

b. Kandungan Kimia

jumlah bahan kimia yang dibutuhkan untuk membedakan antara bahan yang mudah terbakar dan yang tidak. Komposisi kimia sampah kota yang mudah terbakar dijelaskan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.6 Kandungan Sampah Perkotaan Yang Mudah Terbakar
(Dalam %)

Komponen Sampah	Karbon	Hidrogen	Oksigen	Nitrogen	Sulfur	Abu
Limbah makanan	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5
Kertas	43,5	6	44	0,3	0,2	6
Karton	44	5,9	44,6	0,3	0,2	5
Plastik	60	7,2	22,8	-	-	10
Tekstil	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Karet	78	10	-	2	-	10
Kulit	60	8	11,6	10	0,4	10
Sampah perkebunan	47,8	6	38	3,4	0,3	4,5
Kayu	49,5	6	42,7	0,2	0,1	1,5
Misc. Organik	48,5	6,5	37,5	2,2	0,3	5
Abu , debu	26,3	3	2	0,5	0,2	68

Sumber : Sulistyoweni,

2.8 Pengelolaan Sampah Tingkat Kota

Pengelolaan sampah kota didefinisikan sebagai sampah yang dikelola oleh pemerintahan kota, yang dapat direkrut oleh pemerintah daerah atau organisasi lain untuk tujuan tersebut (Damanhuri, 2010). Di antara ciri-ciri tingkat pengelolaan sampah ini adalah:

1. Prasarana perkotaan diposisikan untuk mencakup pengelolaan sampah.
2. Perusahaan Daerah, Dinas, UPTD, atau bagian dari suatu dinas dapat digunakan sebagai struktur pengelolaan jika diawasi langsung oleh pemerintah daerah.
3. Pengelolaan dapat dilakukan oleh sektor swasta atau pihak lain.
4. Ciri tingkat ini adalah bagaimana menunjukkan bahwa kota tersebut bersih, yang akan memberikan prioritas lebih kepada area yang menjadi wajah kota dalam hal pelayanan.

2.9 Daerah Pelayanan

Wilayah pelayanan adalah wilayah yang berada dalam lingkup kewenangan seorang kepala kota dan pengelolaan sampahnya ditangani, atau paling tidak, tempat sampahnya diangkut untuk diproses lebih lanjut, menurut Damanhuri (2010).

Wilayah pelayanan adalah wilayah yang berada dalam lingkup kewenangan seorang kepala kota dan pengelolaan sampahnya ditangani, atau paling tidak, tempat sampahnya diangkut untuk diproses lebih lanjut. Daerah yang belum terlayani seharusnya mengelola sampahnya sendiri, baik secara individu maupun kolektif.

Berikut ini adalah beberapa faktor yang sering diperhitungkan di Indonesia:

- a. Daerah rendah kepadatan memungkinkan mereka untuk membangun sistem pengelolaan sampah lokal sendiri.
- b. Karena penerapan pola pengelolaan sampah lokal dapat menyebabkan gangguan lingkungan, maka diperlukan layanan sampah di daerah dengan kepadatan penduduk lebih dari 50 orang per hektar.
- c. Pusat kota, kawasan bisnis, lingkungan padat penduduk, komunitas baru, lokasi penting, dan daerah pokok merupakan daerah pelayanan prioritas pertama.

- d. Pendekatan "rumah perluasan", yang melibatkan pengembangan area yang berdekatan atau berbatasan langsung dengan area yang telah menerima layanan, digunakan untuk memandu pertumbuhan area layanan.

Tabel 2.7 Proporsi Pelayanan Sampah di Indonesia

Pulau	Penduduk (juta-jiwa)	Penduduk dilayani (juta-jiwa)	Penduduk dilayani (%)
Sumatra	49,3	23,5	48
Jawa	137,2	80,8	59
Bali dan Nusa Tenggara	12,6	6,0	47
Kalimantan	12,9	6,0	46
Sulawesi, maluku, dan papua	20,8	14,2	68
Total	232,7	130,3	56

Sumber : Damanhuri, 2010

2.9.1 Kualitas Pelayanan

Menurut Damanhuri, frekuensi pengumpulan dan pengangkutan, perawatan dan kondisi bangunan serta infrastruktur, dan estetika hasil layanan semuanya dianggap sebagai aspek kualitas layanan. Jenis sampah yang akan dikelola dan sistem layanan saat ini akan menentukan seberapa sering sampah tersebut dikumpulkan dan diangkut. Sementara sampah kering dapat diangkut sekali atau dua kali seminggu, sampah basah idealnya harus dipindahkan setidaknya dua hari sekali.

2.9.2 Jenis Layanan

Damanhuri (2010) menyatakan bahwa ada beberapa kondisi yang dapat digunakan untuk menentukan cakupan kepentingan wilayah layanan dan frekuensi layanan:

a. Kondisi 1

Wilayah layanan intensif meliputi pusat kota, distrik komersial, kawasan permukiman tidak teratur, dan wilayah di sepanjang jalan raya utama.

b. Kondisi 2

Zona permukiman biasa adalah zona dengan penanganan sedang.

c. Kondisi 3

Wilayah pinggiran kota memiliki kualitas layanan yang buruk.

d. Kondisi 4

Wilayah tanpa layanan, seperti wilayah yang truk sampahnya belum datang karena jarak.

2.10 Pengumpulan Sampah

Metode pengelolaan sampah meliputi pengumpulan sampah dari setiap sumber dan pengirimannya ke TPS, tempat pengolahan sampah regional, atau langsung ke TPA tanpa melalui prosedur pemindahan. Terdapat dua metode pengumpulan dan pengangkutan sampah dari sumber sampah ke TPA: secara langsung (dari pintu ke pintu) atau tidak langsung (melalui penggunaan depo atau kontainer pemindahan) sebagai TPS (SNI 19-2454-2002).

Untuk menghindari masalah biaya operasional, keselamatan kerja, dan lingkungan, perlu memiliki pemahaman dasar tentang karakteristik masing-masing jenis limbah saat memilih jenis wadah dan mengumpulkannya. Memisahkan wadah yang tepat diperlukan untuk sampah yang telah dipilah agar dapat memaksimalkan pemulihan komponen limbah yang bermanfaat secara ekonomi.

2.11 Analisis Hidrologi

Analisis debit curah hujan desain maksimum memerlukan analisis hidrologi. Ketersediaan data pendukung sangat penting untuk analisis debit curah hujan desain maksimum. Data curah hujan teoritis digunakan untuk menghitung nilai debit menggunakan teknik yang diterima secara luas (Soemarto, 1987). Dalam pekerjaan ini, saluran drainase—bangunan pelengkap—direncanakan di sekitar tempat pembuangan limbah atau zona menggunakan analisis hidrologi.

2.11.1 Analisis Curah Hujan

Jumlah curah hujan maksimum yang dapat jatuh di lokasi tertentu selama bulan tertentu dikenal sebagai curah hujan desain. Curah hujan desain berfungsi sebagai dasar untuk menentukan ukuran bangunan yang diinginkan. Curah hujan di suatu wilayah bervariasi dari waktu ke waktu dan melintasi batas geografis; curah hujan tidak konstan. Curah hujan bervariasi dari hari ke hari dan dari jam ke jam sepanjang musim hujan. Demikian pula, jumlah hujan bervariasi dari tahun ke tahun, dan jumlah curah hujan tertinggi dalam satu hari juga bervariasi dari tahun ke tahun.

1. Distribusi Gumbell

Gumbel (1941) menyatakan dalam Soemarto (1995) bahwa jika probabilitas kumulatif adalah P, pada nilai apa pun di antara n nilai X_n akan lebih kecil daripada nilai X tertentu (dengan waktu pengembalian T_r). Berikut ini adalah penjelasan rumus distribusi Gumbell:

$$RT = X + (S \cdot K)$$

Dimana : RT = Variat yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun

X = Harga rata – rata sampel

S = Penyimpangan baku sampel / standar deviasi

K = Faktor frekuensi yang merupakan fungsi dari waktu ulang dan tipe distribusi frekuensi

R = Total curah hujan daerah

$$S = \sqrt{R^2(K \cdot \sum R) n^{-1}}$$

Faktor frekuensi K untuk harga harga ekstrim Gumbell ditulis dengan rumus sebagai berikut:

Dimana :

$$Cs = YT - Y_n S_n$$

YT = Reduce Variat

Y_n = Reduce Mean yang tergantung dari besarnya sampel n



= Reduce Mean Deviation yang tergantung dari besarnya sampel n Dari rumus diatas diperoleh :

$$XT = X + S \cdot YT - Y_n$$

$$= X + (Y_n - S) S_n + YT S_n \cdot S$$

Jika dimasukkan $S_n S = a$ dan $X + Y_n \cdot S : S_n = b$

$$\text{Maka : } X_T = b \frac{1}{a} Y_T$$

X_T = Hujan dengan kala ulang T tahun

YT = Reduce variate

2. Distribusi Log Pearson Type III

Sejumlah karakteristik statistik, termasuk nilai rata-rata atau tengah, deviasi standar, dan koefisien kemiringan, diperlukan untuk menghitung distribusi ini.

Berikut ini adalah penjelasan umum tentang cara menghitung distribusi log Pearson tipe III.

1. Mengubah data hujan tahunan menjadi $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ Menjadi $\log X_1, \log X_2, \log X_3, \dots, \log X_n$
2. Rumus perhitungan nilai tengah:

$$\log X = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n}$$

3. Rumus perhitungan standart deviasi,:

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log X)^2}{n-1}}$$

4. Rumus perhitungan koefisien kemencengan:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log X)^3}{(n-1)(n-2)S_1^3}$$

2.12 Pemrosesan Akhir Sampah

Sebagaimana yang disampaikan dalam kuliah manajemen sampah tahun 2010 oleh Damanhuri dan Diktat, langkah terakhir dalam serangkaian prosedur manajemen sampah yang biasanya ditemukan di tempat pembuangan akhir atau TPA. Pengolahan akhir sampah di TPA biasanya dilakukan dalam bentuk penimbunan, dan sebagian besar dilakukan di Indonesia melalui pembuangan terbuka, yang mengakibatkan masalah lingkungan seperti asap, bau busuk, dan pencemaran air tanah. Karena teknik penimbunan tradisional memiliki potensi terbatas untuk mengurangi volume sampah, maka diperlukan lahan yang sangat luas.

Sebagian besar TPA di Indonesia merupakan fasilitas pembuangan sampah terbuka, atau *open dumping* yang berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan, menurut data SLHI tahun 2007. Menurut data, hanya 9% TPA yang dikelola dengan landfill terregulasi atau saniter landfill, sementara 90% dikelola dengan *open dumping*.

Pengolahan dan daur ulang sampah sebelum penimbunan merupakan salah satu cara untuk memperpanjang masa pakai TPA, menurut Kuliah Diktat Damanhuri tahun 2008. Hal ini mengurangi jumlah sampah yang perlu diisi, misalnya:

- Daur ulang sampah (Pemanfaatan Kembali, Daur Ulang, Pemulihan)
- Pengomposan
- Pembakaran

Kondisi TPA perlu ditingkatkan agar dapat mengelola sampah di tingkat kota.

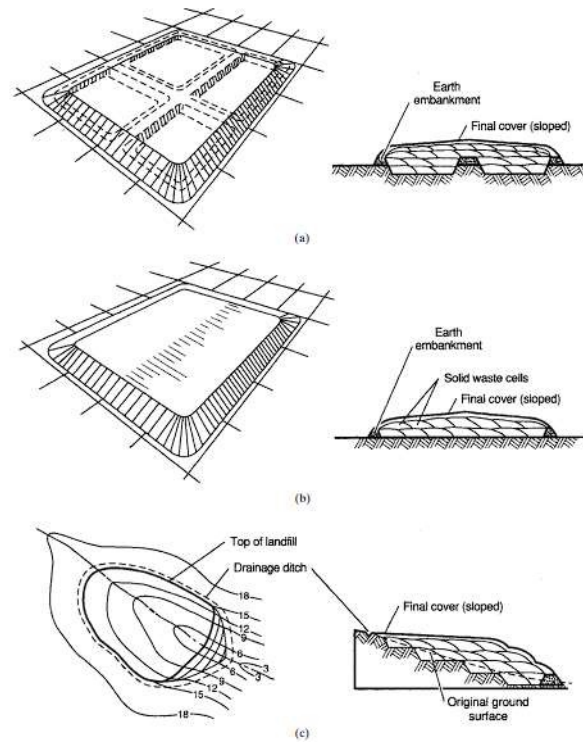
2.13 Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

➤ Metode Sanitary Landfill

Tujuan dari tempat pembuangan sampah sanitasi adalah untuk mencegah bau dan tempat bersarang hewan dengan membuang sampah di daerah rendah atau parit yang telah digali untuk menampungnya. Sampah kemudian ditutup dengan tanah, lapis demi lapis, hingga tidak lagi berada di tempat terbuka.

Tchobanoglous, Theisen, dan Vigil (1993) menguraikan sejumlah pedoman mendasar untuk teknik pembuangan sampah tempat pembuangan sampah sanitasi, termasuk:

- a. Metode *trench*, yang biasanya digunakan di daerah dengan muka air tanah yang dalam, melibatkan pembukaan lahan untuk membuat parit.
- b. Metode Area, yang biasanya diterapkan di daerah dengan muka air yang tinggi, melibatkan pendistribusian sampah di permukaan tanah yang relatif datar.
- c. Metode tekan melibatkan penumpukan sampah dari bawah di ruang kosong di daerah lembah, seperti tebing, jurang, cekungan kering, dan galian lama.



Gambar 2.1 Metode penimbunan yang digunakan: (a) Metode *trench*, (b) Metode *Area*

Sumber: (Tchobanoglous & Keith, 2002)

2.14 Alternatif Pengolahan Lindi

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 03 Tahun 2013 Republik Indonesia menyebutkan bahwa lindi dapat diolah dengan beberapa cara. Berikut ini adalah lima metode pengolahan lindi:

Alternatif 1 : Biofilter, Kolam Fakultatif, Kolam Maturasi, dan Kolam Anaerobik

Alternatif 2 : Kolam Fakultatif, Kolam Anaerobik, Kolam Maturasi, dan Pengolahan Lahan Basah/Lahan

Alternatif 3 : Reaktor Berpenahan Anaerobik (ABR) Lagoon Aerated

Alternatif 4 : Kolam Anaerobik, sedimentasi, proses koagulasi-flokulasi, atau ABR

Alternatif 5 : Lagoon Aerated, sedimentasi I, proses koagulasi-flokulasi, sedimentasi II

Banyaknya material yang bergantung pada lindi di TPA menunjukkan pilihan alternatif pengolahan lindi. Ketika memilih opsi ini, pertimbangan juga diberikan pada bagaimana material atau kandungan lindi akan dikurangi atau dihilangkan. Tabel 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, dan 2.11 menyajikan sejumlah alternatif pengolahan lindi yang berbeda.

Tabel 2.8 Alternatif 1 Pengolahan Lindi

No.	Kriteria	Proses Pengolahan			
		Anaerobik	Fakultatif	Maturasi	Biofilter
1.	Fungsi	Penyisihan BOD yang relatif tinggi (>1000 mg/L), sedimentasi, stabilisasi influen	Penyisihan BOD	Penyisihan mikroorganisme patogen, nutrien	Menyaring effluen sebelum dibuang ke badan air
2.	Kedalaman (m)	2,5 – 5	1 – 2	1 – 1,5	2
3.	Penyisihan BOD (%)	50 – 85	70 – 80	60 – 89	75
4.	Waktu Detensi (hari)	20 – 50	5 – 30	7 – 20	3 – 5
5.	Beban Organik (kg/Ha hari)	224 – 560	56 – 135	≤ 17	< 80
6.	pH	6,5 – 7,2	6,5 – 8,5	6,5 – 10,5	-
7.	Material	Pasangan batu	Pasangan batu	Pasangan batu	Batu, Kerikil, Ijuk, Pasir

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum (2013)

Tabel 2.9 Alternatif 2 Pengolahan Lindi

No.	Kriteria	Proses Pengolahan			
		Anaerobik	Fakultatif	Maturasi	<i>Wetland</i>
1.	Fungsi	Penyisihan BOD yang relatif tinggi (> 1000 mg/L), sedimentasi, stabilisasi influen	Penyisihan BOD	Penyisihan mikroorganism epathogen, nutrien	Penyisihan BOD, menghilangkan nutrien
2.	Kedalaman (m)	2,5 – 5	1 – 2	1 – 1,5	0,1 – 0,6* 0,3 – 0,8**

3.	Penyisihan BOD (%)	50 – 85	70 – 80	60 – 89	-
4.	Waktu Detensi (hari)	20 – 50	5 – 30	7 – 20	4 – 15
5.	Beban Organik (kg/Ha hari)	224 – 560	56 – 135	≤ 17	< 67
6.	pH	6,5 – 7,2	6,5 – 8,5	6,5 – 10,5	-
7.	Material	Pasangan batu	Pasangan batu	Pasangan batu	Tanah permeabilitas rendah***

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum (2013)

Tabel 2.10 Alternatif 3 Pengolahan Lindi

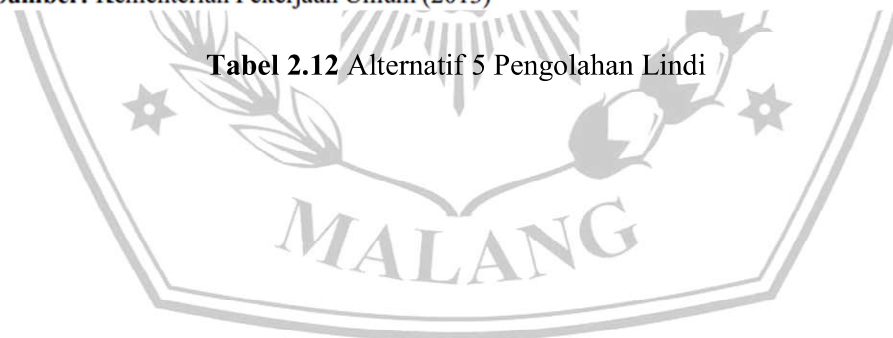
No.	Kriteria	Proses Pengolahan		
		ABR	<i>Aerated Lagoon</i>	Pemisah Padatan
1.	Fungsi	Penyisihan BOD yang relatif tinggi (> 1000 mg/L), sedimentasi padatan, stabilisasi influen	Penyisihan BOD	Penyisihan solid
2.	Kedalaman (m)	2 – 4	1,8 – 6	3 – 5
3.	Penyisihan BOD (%)	70 – 85	80 – 95	-
4.	Waktu Detensi (hari)	1 – 2	3 – 10	0,06 – 0,125
5.	Beban Organik (kg/m ³ hari)	4 – 14	0,32 – 0,64	0,5 – 5 kg/m ² jam
6.	pH	16,8 – 38,4	-	8 – 16
7.	Material	Beton bertulang – bata	Pasangan batu	Pasangan batu

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum (2013)

Tabel 2.11 Alternatif 4 pengolahan Lindi

No.	Kriteria	Koagulasi – Flokulasi	Proses Pengolahan		
			Sedimentasi	Anaerobik	ABR
1.	Fungsi	Pembentukan flok padatan	Penyisihan flok padatan	Penyisihan BOD yang relatif tinggi (> 1000 mg/L), sedimentasi padatan, stabilisasi influen	Penyisihan BOD yang relatif tinggi (> 1000 mg/L), sedimentasi padatan, stabilisasi influen
2.	Kedalaman (m)	-	3 – 5 m	2,5 – 5 m	2 – 4 m
3.	Penyisihan BOD (%)	-	-	50 – 85	70 – 85
4.	Waktu Detensi	0,5 jam	1,5 – 3 jam	20 – 50 hari	1 – 2 hari
5.	Beban Organik (kg/Ha hari)	-	-	224 – 560	14 kg/m ³ hari
6.	Beban Hidrolik	-	8 – 16 m ³ /m ² hari	-	16,8 – 38,4 m ³ /m ² hari
7.	pH	-	-	6,5 – 7,2	6,5 – 7,2
8.	Dosis koagulan (mg/L)	300 – 4500 Kapur (CaOH) 100 – 5000 Tawas (Al ₂ (SO ₄) ₃) 0,2 ml/L Polimer kationik 1%		-	-

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum (2013)

Tabel 2.12 Alternatif 5 Pengolahan Lindi

No.	Kriteria	Proses Pengolahan		Sedimentasi I/II
		Koagulasi – Flokulasi	<i>Aerated Lagoon</i>	
1.	Fungsi	Pembentukan flok padatan	Penyisihan BOD	Penyisihan solid
2.	Kedalaman (m)	-	1,8 – 6	3 – 5
3.	Penyisihan BOD (%)	-	80 – 95	-
4.	Waktu Detensi (jam)	0,5	3 – 10	1,5 – 3 jam
5.	Beban Organik (kg/m ³ hari)	-	0,32 – 0,64	0,5 – 5 kg/m ² jam
6.	Beban Hidrolik (nf/m ³ hari)	-	-	8 – 16
7.	pH	-	6,5 – 8	-
8.	Material	Beton/Baja	Pasangan batu	Pasangan batu
9.	Dosis koagulan (mg/L)	300 – 4500 Kapur (CaOH) 100 – 5000 Tawas (Al ₂ (SO ₄) ₃) 0,2 ml/L lindi Polimer kationik 1%		-

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum (2013)

2.14.1 Kolam Penampungan

Lindi dari daerah tangkapan pipa pengumpul primer ditampung di kolam retensi lindi ini. Kedap air dan tahan asam merupakan persyaratan teknis kolam retensi lindi ini. Selanjutnya, kolam retensi lindi ini perlu disesuaikan dengan persyaratan (Direktorat Pengembangan Kesehatan Lingkungan Permukiman, Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2016). Metode empiris dapat digunakan dalam estimasi pengolahan lindi untuk kolam retensi. Pengolahan lindi sering kali melibatkan sejumlah kolam atau unit, termasuk kolam fakultatif, anaerobik, maturasi, dan lahan basah. Metode yang ditunjukkan pada Tabel 2.12 dapat digunakan untuk menghitung luas setiap kolam.

Tabel 2.13 Pendekatan Luas Masing-masing Unit Pengolah Lindi

Unit Operasi Bangunan Pengolah Lindi	Luas Formula	Satuan
Anaerobik	$1,232 \times 10^{-1} \times CH \times LUPS$	m ²
Fakultatif	$1,643 \times 10^{-1} \times CH \times LUPS$	
Aerobik	$1,643 \times 10^{-1} \times CH \times LUPS$	
Adsorbition/ <i>Wetland</i>	$3,583 \times 10^{-2} \times CH \times LUPS$	
Total	$4,876 \times 10^{-1} \times CH \times LUPS$	

Sumber: Dirjen Cipta Karya, Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan Permukiman(2018)

1. Kolam Anaerobik

Proses anaerobik terjadi ketika sistem pengolahan bahan organik berada dalam lingkungan bebas oksigen. Kolam anaerobik memiliki kedalaman 2–5 meter dan biasanya menampung sampah dengan beban organik yang signifikan (Mara, 1997; Thomas dan Santoso, 2019). Pada kedalaman tiga meter, kondisi beban organik tinggi sering didefinisikan sebagai lebih dari 100 g BOD/m³ hari, atau lebih dari 3000 kg/hari. Tujuan dari kolam ini adalah untuk mengolah cairan yang masih memiliki kandungan BOD tinggi.

Proses anaerobik merupakan langkah penting dalam pengolahan air limbah karena secara biologis dapat memecah beban organik yang besar, menghasilkan gas metana, mengonsumsi energi minimal, dan menghasilkan sedikit lumpur pengolahan. Pertumbuhan mikroorganisme yang relatif lambat memerlukan perhatian yang cermat terhadap proses ini. Dipercaya bahwa pertumbuhan mikroba yang lambat ini akan terbawa oleh aliran limbah, yang dapat memperlambat proses pembuangan polutan.

2. Kolam Fakultatif

Kolam primer dan kolam sekunder merupakan dua jenis kolam fakultatif. Tidak seperti kolam primer yang menangani air limbah yang belum diolah, kolam sekunder mengolah air limbah yang telah diolah. Kolam tambahan ini biasanya menerima air limbah dari kolam anaerobik. Beban BOD permukaan yang rendah, yang berkisar antara 100 hingga 400 kg BOD per hektar per hari, dikurangi oleh kolam ini. Alga berperan penting dalam menurunkan kadar BOD karena mereka menggunakan fotosintesis untuk menghasilkan oksigen. Permukaan kolam secara alami akan mendorong pertumbuhan alga.

Periode detensi, kedalaman kolam, dan material kolam merupakan beberapa persyaratan umum perencanaan kolam fakultatif yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 03 Tahun 2013. Kolam fakultatif direncanakan memiliki kedalaman 1 hingga 2 meter dan periode detensi 5 hingga 30 hari. Namun, material kolam yang disarankan adalah pasangan batu.

3. Kolam Aerobik

Cahaya dapat mencapai dasar kolam ini karena kedalamannya yang relatif dangkal, yaitu berkisar antara 0,3 hingga 0,6 meter. Hal ini membantu menyebarkan DO ke seluruh kolam, yang akan meningkatkan kinerja alga dan mencegah kondisi anaerobik. Proses fotosintesis alga dan oksigen di permukaan kolam menghasilkan DO. Untuk menerima nutrisi, bakteri aerobik di kolam ini menggunakan dan menstabilkan bahan organik dalam air limbah. Menurut Thomas dan Santoso (2019), kolam ini sering kali hanya digunakan di daerah dengan cuaca hangat dan cerah yang memerlukan penghilangan BOD dalam jumlah tertentu tetapi ketersediaan lahan tidak terbatas.

4. Kolam Maturasi

Kolam aerobik mirip dengan kolam pematangan atau proses pematangan. Karena bahan organik telah berkurang setelah proses di kolam fakultatif dan anaerobik, maka disebut sebagai proses aerobik. Efluen akhir dari kolam fakultatif harus dikurangi oleh kolam pematangan. Tujuan utama kolam pematangan adalah untuk menghilangkan bakteri dan mendistribusikan lindi ke seluruh sistem secara gravitasi. Menurut Thomas dan Santoso (2019), kolam pematangan memiliki kedalaman 1-1,5 meter dan periode atau waktu tinggal 7-20 hari. Waktu detensi, kedalaman kolam, dan material kolam termasuk di antara persyaratan umum perencanaan kolam pematangan yang ditentukan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 03 Tahun 2013. Kolam pematangan memiliki kedalaman perencanaan 1-1,5 meter dan periode retensi 7-20 hari. Namun, pasangan batu digunakan dalam material kolam yang disarankan.

5. Kolam Biofilter

Menurut Thomas dan Santoso (2019), pengolahan lindi menggunakan kolam biofilter ini dapat dilakukan secara aerobik, anaerobik, atau keduanya. Secara alami, oksigen terlarut diperlukan agar proses aerobik dapat berlangsung. Tahap terakhir sebelum lindi dibuang ke sungai adalah kolam pengolahan ini. Waktu tampung, kedalaman kolam, dan material kolam termasuk dalam persyaratan umum perencanaan kolam biofilter yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 03 Tahun 2013. Kolam biofilter memiliki masa tampung tiga hingga

lima hari dan kedalaman rencana dua meter. Kolam ini membutuhkan lapisan pasir, batu, kerikil, dan sabut kelapa untuk penyaring lindi.

6. Kolam Wetland/Absorpsi

Di sini, rawa buatan berfungsi sebagai penampung lindi dan air limbah rumah tangga. Selain itu, lahan basah ini dimanfaatkan untuk gangguan lingkungan seperti reklamasi lahan pertambangan. Dengan berperan sebagai biofilter, lahan basah membantu menurunkan endapan lumpur dan kontaminan seperti logam berat. Penggunaan tanaman tertentu yang murah, lokal, dan mampu memberikan kontribusi pada tujuan tambak. Untuk memperlancar pergerakan lindi, lahan basah dirancang memiliki kemiringan dasar 1% hingga 4%. Alirannya dapat berupa bawah permukaan atau mengalir bebas. Lapisan kerikil atau batu pecah dapat dimanfaatkan untuk aliran bawah permukaan, dan lapisan pasir dapat diaplikasikan di atasnya untuk bertindak sebagai media tumbuh bagi tanaman (Thomas dan Santoso, 2019). Waktu penahanan, kedalaman tambak, dan material tambak termasuk di antara parameter umum perencanaan lahan basah yang diuraikan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 03 Tahun 2013. Lahan basah ditahan selama 4–15 hari pada kedalaman 0,1–0,8 meter.

2.15 Kebutuhan Lahan

➤ **Prediksi Kebutuhan Lahan**

Masalah utama sampah di kota adalah, meskipun jumlah sampah yang dihasilkan setiap tahunnya terus bertambah, lahan untuk Tempat Pembuangan Akhir (TPA) semakin menipis. Selain itu, jika perekonomian suatu kota tumbuh, lahan yang belum dikembangkan akan semakin berkurang. Luas lahan TPA seharusnya sudah mendapatkan pasokan lahan baru untuk menangani sampah pada tahun mendatang, mengingat jumlah sampah yang dihasilkan setiap tahunnya semakin bertambah. TPA suatu kota akan mampu memenuhi kebutuhan penyimpanan sampahnya untuk tahun mendatang dengan memperoleh sumber lahan baru.

Jumlah sampah yang masuk ke TPA Batota dapat dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk Kota Sangatta. Lahan yang diberikan oleh pengelola TPA Batota akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah sampah yang masuk ke

TPA, sehingga kapasitas TPA pun meningkat. Dengan demikian, TPA Batota dapat menangani sampah yang dihasilkan oleh penduduk Kota Sangatta dengan baik. Menurut Direktur Pengembangan PLP (2011), perhitungan berikut dapat digunakan untuk menentukan jumlah lahan yang dibutuhkan:

$$\text{Kebutuhan Lahan (m}^2 \text{/tahun)} = \frac{\text{volume sampah} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}{\text{kedalaman sampah terkompaksi}}$$

$$\text{Volume sampah (m}^3 \text{/hari)} = \frac{\text{sampah yang dihasilkan} \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times 100 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}}{\text{masa jenis sampah terkompaksi}}$$

Sampah yang dihasilkan (ton/hari) =

$$\frac{\text{populasi penduduk} \times \text{sampah yang dihasilkan} \frac{\text{kg}}{\text{perkapita hari}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}}$$

► Nilai Guna Usia Lahan

Menurut Damanhuri (2010) nilai guna usia lahan dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

1. Usia lahan dengan ketinggian rencana 13 meter (lahan kosong)

$$\text{Usia guna lahan} = \frac{\text{luas lahan yang disediakan}}{\text{kebutuhan lahan pertahun}}$$

1. Usia lahan dengan ketinggian rencana 4 meter (lahan aktif)

- a. Volume yang dihasilkan = $\frac{\text{volume sampah yang masuk}}{\text{massa jenis sampah terkompaksi}}$

Massa jenis sampah terkompaksi = 1000 kg/m³

- b. Kebutuhan lahan (m³/tahun) = $\frac{\text{luas lahan yang dibutuhkan perhari} \times 365 \text{ hari}}{\text{tinggi rencana tumpukan sampah}}$

- c. Usia guna lahan tahunan = $\frac{\text{luas lahan yang disediakan}}{\text{kebutuhan lahan pertahun}}$

2.16 Perhitungan Debit Lindi

Metode Neraca Air dapat digunakan untuk menentukan jumlah lindi yang terjadi, menurut Direktorat Jenderal Cipta Karya dan Direktorat Pengembangan Kesehatan Lingkungan Permukiman (2016). Pendekatan ini didasarkan pada gagasan bahwa lindi hanya terbentuk setelah curah hujan secara efektif meresap ke dalam timbunan sampah (per lokasi). Elemen-elemen berikut memengaruhi pendekatan ini:

1. Air dari atas, khususnya air hujan yang jatuh di permukaan lapisan TPA dan menyebabkan infiltrasi ke dalam TPA. Koefisien aliran lapisan penutup menentukan seberapa banyak infiltrasi yang terjadi.

2. Air dari sampah, khususnya air dari air sampah yang berasal dari hujan atau penyerapan kadar air di udara.
3. Air dari lapisan penutup, khususnya kadar air lapisan penutup, yang bervariasi menurut jenis, asal, dan waktu tahun bahan penutup.
4. Jumlah air yang digunakan untuk mengurai produk sampah organik.
5. Air yang muncul dari lindi yang dihasilkan TPA di bawah permukaan.
6. Penguapan gas TPA menyebabkan kehilangan air.

Damanhuri (2010) menyatakan bahwa persamaan berikut dapat digunakan dalam perencanaan pengolahan lindi untuk estimasi debit lindi, khususnya pada TPA yang mengadopsi tipe Sanitary Landfill. Rumus yang digunakan untuk menentukan debit lindi adalah sebagai berikut:

$$L = P - (E + T + Ro)$$

Dimana :

L= Lindi (mm/hari)

P= Presipitasi dari hujan tahunan (mm/hari)

E= Evaporasi (mm/hari)

T= Transpirasi (mm/hari)

$$Q = L \cdot A$$

Dimana :

Q = Debit lindi (m³/hari)

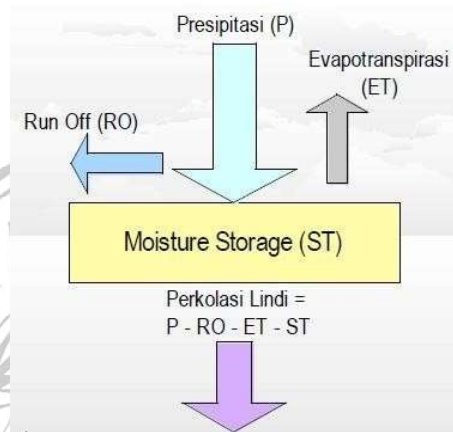
A = Luas area (m²)

L = Lindi (mm/hari)

Ada metode alternatif untuk mengetahui aliran keluar lindi saat ini. Perhitungan aliran permukaan dan curah hujan tahunan digunakan untuk ini. Lebih baik menggunakan data curah hujan yang mencakup sepuluh tahun, dan curah hujan yang digunakan adalah curah hujan tahunan rata-rata. Curah hujan dibagi menjadi dua kategori berdasarkan temuan penelitian empiris: 60% akan terinfiltrasi dan 40% akan menjadi aliran permukaan atau limpasan.

2.16.1 Metode Neraca Air

Lindi yang terbentuk setelah proses selesai dapat diprediksi menggunakan teknik yang dikenal sebagai Metode Keseimbangan Air, klaim Damanhuri (2008). Pendekatan ini didasarkan pada gagasan bahwa lindi hanya dapat dibuat oleh air hujan yang telah secara efektif meresap ke tumpukan sampah.



Gambar 2.2 Neraca Air

Keseimbangan air dapat diterapkan dengan menurunkan massa air yang hilang dari lapisan selama peningkatan waktu saat ini untuk lapisan tertentu pada tumpukan sampah dan membandingkan massa air yang memasuki area lapisan tertentu dari tumpukan selama peningkatan waktu dengan kadar air pada akhir peningkatan waktu sebelumnya. Anda dapat membandingkan kapasitas tempat pembuangan sampah dengan jumlah air yang tersedia pada saat itu untuk menentukan apakah lindi telah terbentuk. Lindi akan terbentuk jika kapasitas tempat pembuangan sampah lebih kecil dari air yang tersedia. Rumus berikut digunakan dalam metode penyeimbangan air:

$$\text{PERC} = P - (\text{RO}) - (\text{AET}) - (\Delta\text{ST})$$

$$I = P - (\text{R/O})$$

$$\text{APWL} = \sum \text{NEG} (I - \text{PET})$$

$$\text{AET} = (\text{PET}) + \{(I - \text{PET}) - (\Delta\text{ST})\}$$

Dimana :

PERC = Perlokasi, air yang keluar dari system menuju lapisan dibawahnya akhirnya menjadi lindi

P = Presipitasi rata – rata bulanan dari data tahunan

RO = Limpasan permukaan (*runoff*) rata – rata bulanan dihitung dari presipitasi serta koefisien limpasan

AET = Aktual Evatranspirasi, menyatakan banyaknya air yang hilang secara nyata dari bulan ke bulan

Δ ST = Perubahan simpananair dalam tanah dari bulan ke bulan yang terkait dengan *Soil mesture storage*

ST = *Soil moisture storage*, merupakan banyaknya air yang tersimpan dalam tanah pada saat kesimbang

I = Infiltrasi, jumlah air yang teridentifikasi ke dalam tanah

APWL = *Accumulated potential water loss*, merupakan nilai negatif dari $| (I - PET)$ yang merupakan kehilangan air secara kumulasi

$I - PET$ = Nilai infiltrasi dikurangi potensi evapotranspirasi, nilai negative menyatakan banyaknya infiltrasi air yang gagal untuk dipasok pada tanah sedang nilai positif adalah kelebihan air selama periode tertentu untuk mengisi tanah

PET = Potensial evpotranspirasi, dihitung berdasarkan atas nilai rata – rata bulanan dari data tahunan.

2.17 Alat Berat

Tenaga kerja manusia dibantu oleh mesin berat saat membangun struktur bangunan (Rosiiyanti 2014). Tiga tujuan utama penggunaan mesin berat di TPA adalah sebagai berikut:

1. Traktor roda, chain wheel loader, dan compactor digunakan terutama untuk tugas-tugas pada area TPA
2. Setiap hari, mesin berat yang menangani sampah akan mengisinya dengan tanah. Pemilihan mesin berat khusus dengan peralatan pengisian tanah merupakan pilihan jika pengisian tanah merupakan fungsi utama mesin tersebut.

Penyediaan alat bantu TPA memerlukan penyediaan peralatan pendukung seperti motor grader, backhoe leader, hydraulic excavator, water tanker, air compressor,

service vehicle, water pump, gens set, dan lain-lain. Excavator, vibra compactor, dan bulldozer merupakan contoh mesin berat yang sering digunakan dalam penimbunan sampah. Sumber: sebagaimana disampaikan oleh Direktur Pengembangan PLP tahun 2011.

Rosiyanti (2014) menyatakan bahwa kapasitas dan waktu siklus alat merupakan faktor yang mempengaruhi produktivitas alat berat. Secara umum, rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan produktivitas alat:

$$\text{Produktivitas alat} = \frac{\text{kapasitas}}{\text{CT}}$$

$$\text{Produktivitas alat} = \text{kapasitas} \times \frac{60}{\text{CT}} \times \text{efisiensi}$$

2.17.1 Alat Gali (*Excavator*)

Ekskavator merupakan alat multifungsi yang dapat digunakan untuk meratakan, mengikis tebing, mengangkat barang, memuat barang ke truk sampah, dan menggali tanah (Buntarto, 2016). Berikut ini adalah rumus yang dapat digunakan untuk mengetahui produktivitas ekskavator:

$$\text{Produktivitas (m}^3/\text{jam)} = V \times \frac{60}{\text{CT}} \times S \times \text{BFF} \times \text{efisiensi}$$

Dimana:

CT = waktu siklus

S = faktor koreksi untuk kedalaman dan sudut putar

V = kapasitas bucket

BFF = faktor koreksi