

BAB II

TINJAU PUSTAKA

2.1. Definisi Sampah

Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 Pasal 1 ayat 1 menyatakan bahwa sampah adalah sisa berbentuk padat yang berasal dari proses alam maupun aktivitas manusia sehari-hari (UU No. 18 Tahun 2008). Sementara itu, menurut Standar Nasional Indonesia SNI-19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan, sampah dijelaskan sebagai material padat yang terdiri atas bahan organik maupun anorganik yang sudah tidak digunakan lagi dan perlu dikelola agar tidak menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan serta untuk menjaga keberlanjutan pembangunan.

Definisi limbah menurut Tchobanoglous, Theisen, dan Vigil (1993) menjelaskan bahwa limbah adalah segala bentuk bahan padat yang berasal dari aktivitas manusia maupun hewan yang dibuang karena tidak lagi memiliki nilai guna atau manfaat. Limbah ini meliputi berbagai jenis sisa yang tidak diinginkan dan perlu dikelola secara tepat untuk menghindari dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Pengelolaan limbah yang efektif melibatkan proses pengumpulan, penyimpanan, pengolahan, dan pembuangan yang sesuai agar dapat meminimalkan risiko pencemaran dan gangguan lingkungan (Tchobanoglous et al., 1993).

Sementara itu, Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 Pasal 1 ayat 1 mengatur bahwa limbah merupakan sisa dari suatu proses kegiatan atau hasil produksi yang harus dikelola secara benar agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan hidup dan investasi pembangunan. Pengelolaan limbah berbahaya dan beracun menjadi bagian penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan dan mendukung pembangunan yang berwawasan lingkungan (PP No. 18/1999).

Pengertian ini menegaskan bahwa limbah tidak hanya sekadar sisa yang dibuang, tetapi juga merupakan bahan yang harus ditangani secara sistematis untuk mencegah dampak buruk terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, pengelolaan limbah menjadi aspek penting dalam

pembangunan berkelanjutan, termasuk pengembangan teknologi pengolahan limbah dan kebijakan pengelolaan yang efektif di berbagai sektor, baik domestik, industri, maupun institusi.

2.1.1. Dampak Pencemaran Akibat Sampah

Sampah yang tidak terkelola dengan baik dapat mencemari berbagai media lingkungan, antara lain air, tanah, dan udara. Pencemaran air terjadi ketika sampah dibuang ke sungai atau badan air lainnya, sehingga mengganggu kualitas air dan mengancam kehidupan organisme air. Selain itu, sampah yang menumpuk dapat menghambat proses infiltrasi air ke dalam tanah, sehingga mengganggu ketersediaan air tanah yang sangat penting bagi kehidupan manusia (Disperkimta Buleleng, 2023). Pencemaran tanah juga terjadi akibat limbah rumah tangga, limbah industri, dan limbah pertanian yang mengandung bahan berbahaya, seperti pestisida dan logam berat, yang dapat merusak kesuburan tanah dan mengganggu rantai makanan (Kautzar, 2015).

Dampak lain yang sering terjadi adalah banjir yang disebabkan oleh sampah yang menyumbat saluran air dan sungai. Sampah yang menumpuk menyebabkan pendangkalan sungai sehingga air tidak dapat mengalir dengan lancar, memicu genangan dan banjir yang berpotensi menimbulkan kerugian materi dan kesehatan masyarakat. Banjir yang berulang juga dapat meningkatkan risiko timbulnya berbagai penyakit menular seperti diare, tifus, dan disentri (Dinkes Tebing Tinggi, 2023). Selain itu, sampah plastik yang sulit terurai menjadi sumber polusi lingkungan yang besar, mencemari daratan, perairan, dan udara. Mikroplastik dan zat kimia berbahaya yang dihasilkan dari sampah plastik dapat masuk ke dalam rantai makanan dan berdampak buruk pada kesehatan manusia, termasuk risiko kanker dan kerusakan organ (Alodokter, 2023)

Secara keseluruhan, pencemaran akibat sampah tidak hanya merusak lingkungan tetapi juga mengancam kesehatan masyarakat dan keberlanjutan pembangunan. Oleh karena itu, pengelolaan sampah yang efektif dan terpadu sangat diperlukan, termasuk peningkatan kesadaran masyarakat, pengembangan infrastruktur pengelolaan limbah, serta penegakan regulasi

yang ketat untuk meminimalkan dampak negatif tersebut. Berdasarkan Direktorat Pengembangan PLP (2011: Bab 4 hal.1-2) terdapat banyak kendala dalam pengelolaan kebersihan antara lain tidak adanya sarana dan prasarana, sumber daya manusia, regulasi dan anggaran yang sesuai dan berujung pada pelayanan yang kurang maksimal, sehingga terjadi peningkatan pencemaran lingkungan yang menimbulkan berbagai dampak meliputi:

1. Perkembangan Vektor Penyakit

Tempat sampah dan container adalah pilihan yang sangat tepat untuk bertumbuh dan kembangnya sumber penyakit yang di dominasi oleh lalat dan tikus pada tumpukan sampah didalamnya. Vektor penyakit lebih berkembang di kawasan TPA yang disebabkan oleh ketidak sesuaian frekuensi penutupan sampah terhadap ketetapan. Ketidaknyamanan akibat dari lalat pada tumpukan sampah umumnya dapat dirasakan sampai jarak 12 km dari kawasan TPA.

2. Pencemaran Udara

Bau tidak sedap yang bersumber dari tumpukan limbah tidak tertutup, berserakan, serta tidak diangkut dalam waktu dekat dapat menyebarkan bau sepanjang perjalanan. Tidak hanya itu, proses dekomposisi sampah di TPA secara konstan dapat memberikan hasil berupa gas CO, CO₂, CH₄, H₂S dan lainnya sehingga udara tercemar, parahnya dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca yang lambat laun berpengaruh terhadap terjadinya *Global Warming*.

3. Pencemaran Air

Tempat pembuangan yang terbuka pada saat terjadi hujan, berpotensi menghasilkan lindi. Lindi yang mengalir tidak pada tempatnya seperti di tanah atau sekitarnya dapat menjadi penyebab pencemaran.

4. Pencemaran Tanah

Tumpukan sampah organik yang kemungkinan mengandung bahan buangan berbahaya dapat terjadi oleh karena sampah yang dibuang secara sembarangan pada beberapa lahan tertentu.

5. Gangguan Estetika

Lingkungan yang pada tempatnya terdapat sampah yang dibiarkan

terbuka tanpa tutup mengganggu pandangan dan berdampak pada keindahan kawasan disekelilingnya. Selain itu, ceceran sampah di sepanjang TPA juga mengganggu pandangan.

6. Kemacetan Lalu Lintas

Tata letak sarana dan prasarana pengumpul sampah di dekat lokasi yang strategis seperti pasar, pertokoan, dan bongkar muat sampah bisa mengganggu lalu lintas. Kawasan TPA yang terletak dekat jalan umum dengan frekuensi kedatangan truk sampah yang tinggi pada jam puncak menyebabkan kemacetan.

7. Polusi Suara

Polusi suara terjadi disebabkan karena adanya kegiatan pada TPA seperti keluar masuk kendaraan truk sampah, beroperasinya alat-alat yang ada di TPA.

8. Dampak Sosial

Setiap orang merasa kurang nyaman apabila terdapat pembangunan TPA di sekitar tempat tinggalnya, keresahan tersebut disebabkan oleh dampak-dampak yang telah disebutkan sebelumnya.

2.1.2. Sumber Sampah

Sumber sampah dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama berdasarkan Damanhuri dalam Diktat Kuliah TL-3104 (2010), yaitu sampah yang berasal dari pemukiman (sampah rumah tangga) dan sampah dari non-pemukiman seperti rumah sakit, hotel, pasar, serta daerah komersial lainnya. Kedua kelompok ini termasuk dalam kategori sampah domestik atau dalam istilah internasional disebut municipal solid waste (MSW). Sementara itu, limbah yang dihasilkan dari proses industri dikategorikan sebagai sampah non-domestik yang memiliki karakteristik dan penanganan yang berbeda (Damanhuri dan Padmi, 2010).

Pengelolaan sampah kota di Indonesia berdasarkan sumbernya meliputi berbagai sektor, antara lain permukiman atau rumah tangga, pasar tradisional, pertokoan, perkantoran, hotel dan restoran, institusi seperti rumah sakit dan industri yang menghasilkan sampah sejenis rumah tangga, penyapuan jalan, serta taman-taman kota. Setiap sumber sampah ini memiliki karakteristik dan

komposisi yang berbeda, yang mempengaruhi metode pengelolaan dan penanganannya (Damanhuri dan Padmi, 2010).

Selain itu, sampah juga dapat diklasifikasikan berdasarkan jenisnya, seperti sampah organik yang mudah membusuk (*garbage*), sampah yang dapat atau tidak dapat terbakar (*rubbish*), abu hasil pembakaran (*ashes*), sampah jalanan (*street sweeping*), dan bangkai hewan (*dead animal*). Klasifikasi ini penting untuk menentukan strategi pengelolaan yang tepat, termasuk pemilahan, pengumpulan, dan pengolahan sampah (Damanhuri dan Padmi, 2010).

Sumber sampah dari non-pemukiman seperti daerah komersial dan institusi umumnya menghasilkan sampah yang mirip dengan sampah rumah tangga, namun dengan volume dan jenis yang bervariasi tergantung aktivitasnya. Sedangkan sampah industri yang bukan sejenis sampah rumah tangga biasanya memiliki karakteristik khusus, seperti limbah berbahaya dan beracun, yang memerlukan pengelolaan khusus sesuai dengan peraturan yang berlaku (Damanhuri dan Padmi, 2010).

2.1.3. Timbulan Sampah

Berdasarkan SNI 19-2454-2002 timbulan sampah dapat diartikan jumlah limbah yang dihasilkan penduduk dalam per kapita perhari, atau perarea bangunan, ataupun permeter jalan. Patokan pengukuran timbulan sampah mengacu pada berat dan volume. Satuan berat yang digunakan adalah kilogram (kg) dan ton. Satuan volume yang digunakan adalah m³ dan liter. Besaran dari timbulan sampah dibedakan menjadi dua, yakni berdasar nilai timbulan sampah dan komposisi sumber limbah. Pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 menunjukkan banyaknya timbulan sampah.

Tabel 2.1 Nilai Timbulan Sampah Mengacu pada Klasifikasi Kota

Klasifikasi Kota	Jumlah Jiwa	Timbulan sampah (l/o/h)	Timbulan sampah (kg/o/h)
Sedang	100.000 – 500.000	2,75 – 3,25	0,70 – 0,80
Kecil	< 100.000	2,5 – 2,75	0,625 – 0,70

Sumber : SNI 19-3983-1995

Tabel 2.2 Nilai Timbulan Sampah Mengacu pada Penyusun Sumber Timbulan

Komponen Sumber Sampah	Satuan	Volume (liter)	Berat (kg)
Rumah Permanen	/orang/h	2,25 – 2,5	0,350 – 0,400
Rumah non permanen	/orang/h	1,75 – 2,00	0,250 – 0,300
Rumah Semi Permanen	/orang/h	2,00 – 2,25	0,300 – 0,350
Sekolah	/murid/hari	0,10 – 0,15	0,010 – 0,020
Jalan arteri sekunder	/m/hari	0,10 – 0,15	0,010 – 0,100
Kantor	/pegawai/hari	0,50 – 0,75	0,025 – 0,100
Jalan kolektor non sekunder	/m/hari	0,10 – 0,15	0,010 – 0,050
Pasar	/m ² /hari	0,20 – 0,60	0,1 – 0,3
Toko/Ruko	/petugas/hari	2,50 – 3,00	0,150 – 0,350

Sumber : SNI 19-3983-1995

2.1.4. Pengelolaan Sampah Padat

Pengelolaan sampah padat merupakan rangkaian aktivitas yang mencakup berbagai tahap mulai dari pengurangan, pembatasan, pendaurulangan, hingga pemanfaatan kembali limbah. Selain itu, pengelolaan ini juga meliputi proses pengurusan sampah yang melibatkan pengumpulan, penyortiran, transmisi, kodifikasi, serta pemrosesan akhir secara sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan sesuai dengan ketentuan Pasal 20 ayat 1 dan Pasal 22 ayat 1 Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah (UU No. 18/2008).

Pengurangan sampah menjadi langkah awal yang penting dalam pengelolaan sampah padat, yang meliputi pembatasan timbulan sampah, pendaurulangan (recycling), dan pemanfaatan kembali (reuse) bahan limbah. Kegiatan ini bertujuan untuk menekan volume sampah yang harus dikelola lebih lanjut sehingga mengurangi beban pada tempat pembuangan akhir (TPA) dan dampak lingkungan yang ditimbulkan (Djkn.kemenkeu.go.id, 2022).

Tahapan penanganan sampah meliputi pemilahan sampah sesuai jenis

dan sifatnya, pengumpulan sampah ke tempat pengolahan residu, pengangkutan sampah dari tempat pengolahan residu ke TPA, serta pengolahan sampah yang bertujuan mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah. Pemrosesan akhir dilakukan dengan mengembalikan sampah dan residu hasil pengolahan ke media lingkungan secara aman, sehingga tidak menimbulkan pencemaran atau gangguan kesehatan (Djkn.kemenkeu.go.id, 2022).

Pengelolaan sampah padat juga mengadopsi prinsip 3R (Reduce, Reuse, Recycle) yang menjadi strategi utama untuk mengurangi dampak negatif sampah terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Pemerintah Indonesia telah mengembangkan berbagai program dan kebijakan untuk mendukung pengelolaan sampah yang berkelanjutan, termasuk pembangunan fasilitas pengolahan sampah terpadu, tempat pemilahan sampah, serta pemanfaatan teknologi pengolahan limbah menjadi energi (Green Infrastructure Initiative, 2023).

Selain itu, pengelolaan sampah padat harus melibatkan peran aktif berbagai pihak, mulai dari pemerintah pusat dan daerah, pelaku usaha, hingga masyarakat sebagai penghasil sampah. Pembiayaan pengelolaan sampah menjadi tanggung jawab pemerintah pusat dan daerah yang bersumber dari APBN dan APBD, serta dapat melibatkan mekanisme kompensasi kepada masyarakat yang terdampak oleh kegiatan pengelolaan sampah (UU No. 18/2008)

2.1.5. Pemrosesan Akhir Sampah

Tahap akhir dari pemrosesan sampah padat umumnya berpusat pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), yang berfungsi sebagai lokasi penampungan dan pengolahan terakhir sebelum sampah dikembalikan ke lingkungan secara aman. Aktivitas utama yang dilakukan di TPA adalah pengurungan sampah atau landfilling, yaitu proses menimbun sampah dengan teknik tertentu untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat (Direktorat Pengembangan PLP, 2011).

Namun, kondisi TPA di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan serius. Berdasarkan data Sistem Laporan Hasil Inventarisasi (SLHI)

tahun 2007 yang dikutip oleh Direktorat Pengembangan PLP (2011), sekitar 90% dari TPA yang ada di Indonesia masih menerapkan sistem *open dumping*. Sistem ini merupakan metode pembuangan sampah secara terbuka tanpa pengelolaan yang memadai, sehingga berpotensi besar menimbulkan pencemaran lingkungan, seperti pencemaran air tanah oleh air lindi (leachate), pencemaran udara akibat bau dan gas metana, serta risiko kesehatan bagi masyarakat sekitar. Sisanya, hanya sekitar 10% TPA yang telah menerapkan sistem pengelolaan yang lebih baik, yaitu *controlled landfill* atau *sanitary landfill*, yang mengutamakan pengurungan sampah dengan lapisan tanah dan pengelolaan air lindi secara terkontrol untuk mengurangi dampak pencemaran (Direktorat Pengembangan PLP, 2011; Undang-Undang No. 18 Tahun 2008).

Studi kasus di TPA Lempeni, Kabupaten Lumajang, misalnya, menunjukkan bahwa meskipun telah beralih ke sistem *controlled landfill* yang merupakan perpaduan antara *sanitary landfill* dan *open dumping*, penerapan sistem ini belum optimal. Sampah hanya dipadatkan tanpa penimbunan tanah yang memadai karena keterbatasan lahan, sementara volume sampah terus meningkat. Kondisi ini menyebabkan potensi pencemaran air lindi dan kualitas air tanah yang perlu dimonitor secara ketat agar tidak menimbulkan dampak lingkungan yang serius (Undip, 2022).

Selain itu, keterbatasan lahan menjadi kendala utama dalam pengembangan TPA di kota-kota besar di Indonesia, sehingga pengelolaan TPA secara regional mulai menjadi solusi yang diupayakan untuk mengoptimalkan kapasitas dan efisiensi pengelolaan sampah (Data PU, 2023). Pengelolaan TPA yang baik harus mengintegrasikan aspek teknis, lingkungan, dan sosial agar dapat memberikan solusi jangka panjang terhadap permasalahan sampah kota. Secara keseluruhan, pengembangan dan rehabilitasi TPA dari sistem *open dumping* menuju *sanitary landfill* menjadi langkah penting dalam pengelolaan sampah nasional untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat.

2.2. Tipe Urug Saniter

Teknik pengurungan sampah juga disesuaikan dengan kondisi topografi

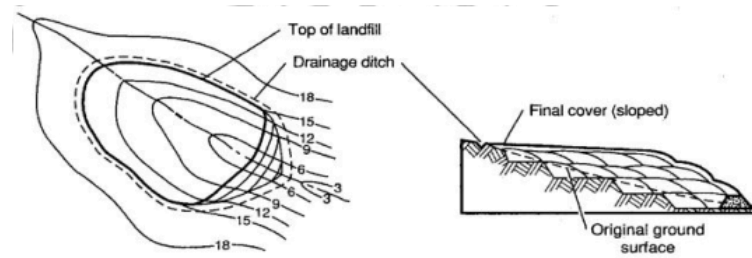
dan muka air tanah. Metode *trench* atau parit diterapkan pada lahan datar dengan muka air tanah dalam, di mana tanah digali membentuk parit sedalam 2-3 meter, sampah dimasukkan, dipadatkan, lalu ditutup dengan tanah. Sedangkan metode *area* digunakan pada lahan datar dengan muka air tanah tinggi, di mana sampah ditimbun di atas permukaan tanah asli dan setiap lapisan sampah dipadatkan dan ditutup tanah (Biroinfrasda Jateng, 2018).

Pengurugan sampah padat pada tanah dikenal dengan *landfilling*. Apabila posisi muka air tanah cukup dalam, maka lahan dapat dikeruk dan penimbunan sampah dapat dilakukan. Penimbunan dengan tanah dilakukan berlapis-lapis pada sampah yang dibuang ke lokasi penampungan sampah sehingga sampah tersebut tidak dibiarkan terbuka. (Tchobagnoglous, 1993:362). *Sanitary landfill* merupakan metode yang paling efektif dan ramah lingkungan. Pada metode ini, sampah ditimbun dalam lahan cekung yang telah dipersiapkan dengan lapisan kedap air (*lining system*) untuk mencegah peresapan air lindi ke dalam tanah dan pencemaran air tanah. Setiap lapisan sampah dipadatkan dan kemudian ditutup dengan lapisan tanah penutup setebal 15-30 cm secara berkala, biasanya setiap hari, untuk menghambat bau, serangan hama, dan mengurangi risiko kebakaran. Sistem ventilasi juga disediakan untuk mengeluarkan gas metana secara terkendali sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi (Waste4Change, 2023; Biroinfrasda Jateng, 2018; Wastecinternational.com, 2024).

Menurut Tchobanoglous, Theisen dan Vigil (1993 : 375), Peletakan sampah pada tipe urug saniter diklasifikasikan menjadi 3 bagian, antara lain :

a) Metode depresi

Metode ini umumnya diterapkan pada lokasi yang berupa cekungan alami seperti bekas galian, jurang, tebing, atau lembah. Pada metode depresi, sampah ditempatkan di dalam area cekungan tersebut sehingga memanfaatkan kontur tanah yang ada untuk menampung dan mengurug sampah secara efisien. Pendekatan ini memanfaatkan kedalaman alami lokasi untuk mengurangi volume permukaan timbunan sampah serta meminimalkan dampak visual dan bau. Gambar 2.1 merupakan gambaran dari *depression method*.

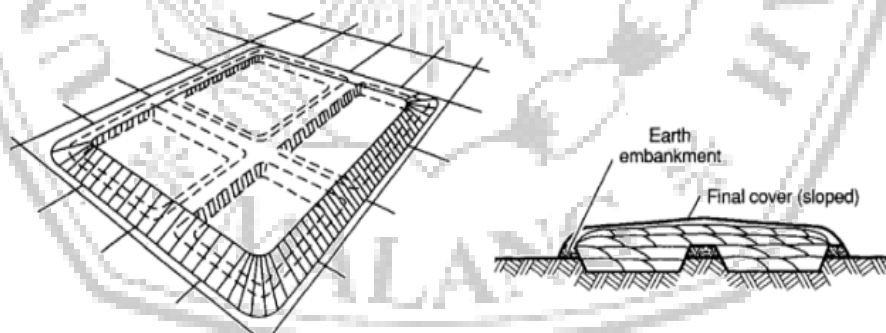


Gambar 2.1 Metode Depresi

Sumber : Tchobanoglous, Theisen dan Vigil (1993 : 375)

b) Mengeruk lokasi secara berjenjang (Metode parit atau trench)

Metode ini dilakukan dengan membuat parit-parit atau galian secara berjenjang di lahan yang memiliki posisi muka air tanah yang cukup dalam. Parit-parit ini berfungsi sebagai tempat penimbunan sampah yang kemudian disebar, dipadatkan, dan ditutup dengan tanah penutup yang diambil dari hasil galian tersebut. Ukuran parit biasanya berkisar panjang 30-60 meter, lebar 5-15 meter, dan kedalaman 1-3 meter. Metode ini efektif untuk mengendalikan pencemaran air tanah karena sampah berada di bawah permukaan tanah dan dilapisi tanah secara berkala. Metode trench dapat dilihat pada Gambar 2.2



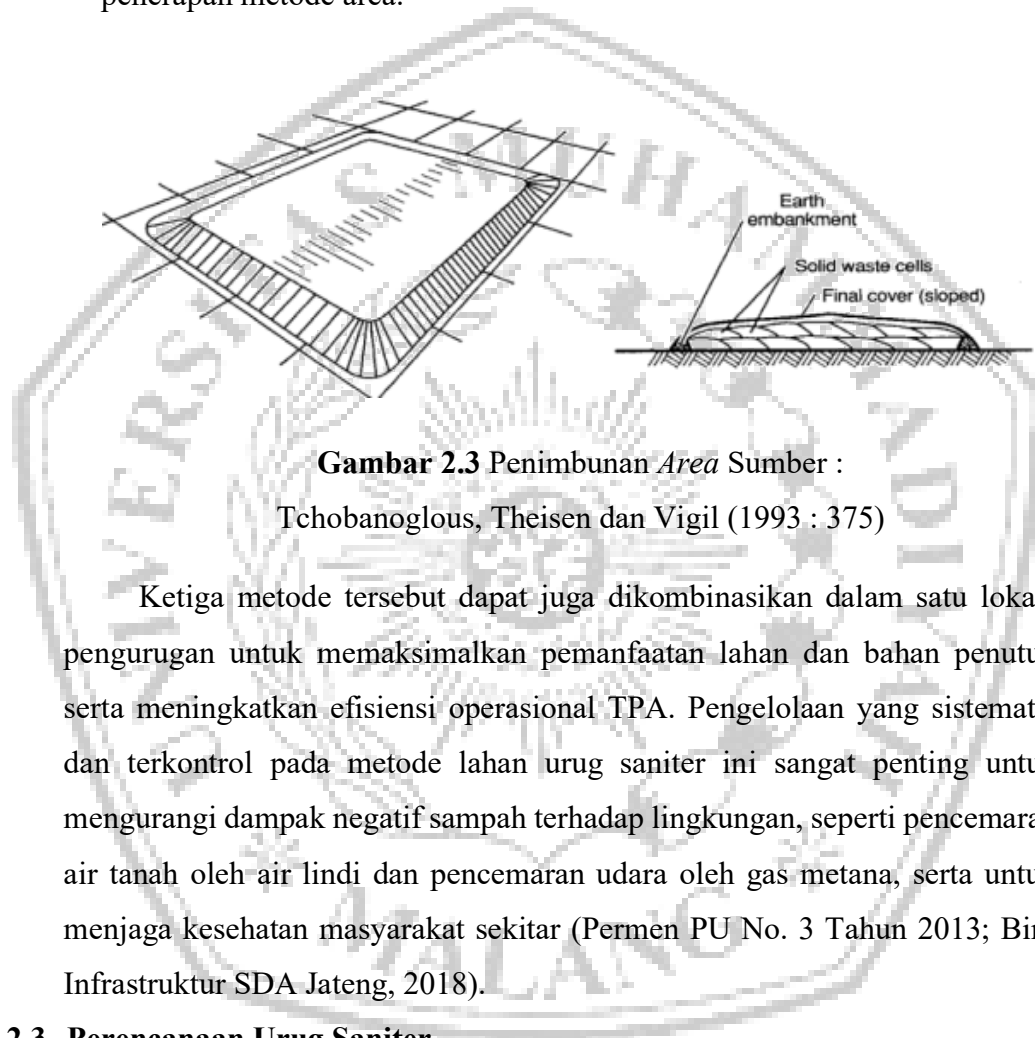
Gambar 2.2 Peletakan Metode Trench

Sumber : Tchobanoglous, Theisen dan Vigil (1993 : 375)

c) Mengubur limbah di atas lahan

Metode area diterapkan pada lokasi dengan muka air tanah yang tinggi dan kondisi tanah yang relatif landai, di mana penggalian parit sulit dilakukan. Pada metode ini, sampah ditimbun langsung di atas permukaan

tanah asli dengan ketebalan beberapa meter. Setiap lapisan sampah ditutup dengan tanah penutup setebal 150 hingga 200 mm untuk mengurangi bau, serangan hama, dan risiko kebakaran. Tanah penutup dapat diambil dari luar lokasi TPA atau dari bagian atas tanah di sekitar lokasi. Metode area ini memungkinkan pengelolaan yang lebih fleksibel di lahan yang tidak memungkinkan penggalian dalam. Gambar 2.3 merupakan gambaran penerapan metode area.



Gambar 2.3 Penimbunan *Area* Sumber :
Tchobanoglous, Theisen dan Vigil (1993 : 375)

Ketiga metode tersebut dapat juga dikombinasikan dalam satu lokasi pengurugan untuk memaksimalkan pemanfaatan lahan dan bahan penutup serta meningkatkan efisiensi operasional TPA. Pengelolaan yang sistematis dan terkontrol pada metode lahan urug saniter ini sangat penting untuk mengurangi dampak negatif sampah terhadap lingkungan, seperti pencemaran air tanah oleh air lindi dan pencemaran udara oleh gas metana, serta untuk menjaga kesehatan masyarakat sekitar (Permen PU No. 3 Tahun 2013; Biro Infrastruktur SDA Jateng, 2018).

2.3. Perencanaan Urug Saniter.

2.3.1. Analisa Timbulan Sampah

Berdasarkan SNI 19 – 3964 - 1994, informasi timbulan sampah diperoleh selama survei 8 hari terus – menerus dari sejumlah sampel. Penentuan sampel dihitung sesuai dengan persamaan di bawah :

$$S = Cd \cdot \sqrt{Ps} \dots\dots\dots (2.a)$$

Diketahui :

S = Akumulasi Penduduk
 Cd = Koefisien perumahan (dipakai 0,5 untuk kota menengah)
 Ps = Penduduk (jiwa)

KK yang disurvei :

$$K = \frac{S}{N} \dots\dots\dots (2.b)$$

Dimana :

K = Akumulasi populasi (KK)
 N = Anggota dalam satu keluarga

Perhitungan timbulan sampah yang berasal dari perumahan:

Hunian permanen = $[S_1 \times K]$

Hunian semi permanen = $[S_2 \times K]$

Hunian tak permanen = $[S_3 \times K]$

Dimana:

S1 = Kuantitas KK hunian permanen dalam persen [25]

S2 = Kuantitas KK hunian semi permanen dalam persen [30]

S3 = Kuantitas KK hunian non permanen persen [45]

Akumulasi penduduk berpengaruh terhadap jumlah timbulan sampah dan laju produksi limbah setiap penduduk tiap harinya. Taksiran jumlah penduduk dapat diketahui dengan menghitung pertambahan populasi pada tahun terdahulu. Berdasarkan Direktorat PLP dalam modul 1 (2011) perhitungan proyeksi pertumbuhan penduduk dibagi menjadi 3, yaitu :

a. Aritmatika

Perhitungan ini berperan untuk memprediksi akumulasi populasi suatu distrik yang menemui pertumbuhan secara lurus.

$$P_n = P_0 + r (dn) \dots\dots\dots(2.c)$$

Keterangan :

P_n = Akumulasi penduduk pada penghujung periode

P_0 = Akumulasi penduduk pada awal rentang waktu proyeksi

r = Rerata pertambahan penduduk per tahun

dn = durasi proyeksi dalam tahun

b. Geometri

Perhitungan ini berfungsi untuk menghitung pertumbuhan penduduk secara eksponensial.

$$P_n = P_0 (1 + r)^{dn} \dots\dots\dots(2.d)$$

Keterangan :

P_n = Akumulasi penduduk pada penghujung periode

P_0 = Akumulasi penduduk pada awal rentang waktu proyeksi

r = Rerata kenaikan jumlah penduduk setiap tahun

dn = durasi proyeksi dalam tahun

c. Least Square

Formula yang diterapkan adalah :

$$P_n = a + (b \cdot t) \dots\dots\dots(2.e)$$

Keterangan :

t = Akumulasi tahun dari perhitungan awal

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

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

perhitungan yang nantinya digunakan ialah metode dengan perolehan nilai koefisien korelasi (r) mendekati 1.

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum Y)(\sum X)}{\sqrt{\{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2\}\{n(\sum X^2) - (\sum X)^2\}}} \dots\dots\dots(2.h)$$

$$\text{Tingkat Pelayanan} = \frac{\text{jumlah sampah yang masuk ke TPA}}{\text{jumlah volume sampah daerah pelayanan}} \times 100 \%$$

2.3.2. Persiapan lahan

Berdasarkan Tchobanoglous, Theisen, Vigil (1993 : 378-381), kawasan penimbunan diharuskan menyanggupi ketentuan berikut :

1. Ketersediaan lahan

Periode perencanaan 10 tahun digunakan sebagai acuan dalam pemilihan lokasi penimbunan.

2. Sifat tanah dan topografi

Informasi mengenai sifat tanah sekitar lokasi dibutuhkan untuk memberikan material lapisan penutup timbunan sampah.

3. Keadaan cuaca

Data krusial yang memengaruhi operasional *sanitary landfill* antara lain intensitas penyinaran matahari, curah hujan, kapasitas evapotranspirasi.

4. Keadaan geohidrologi

Data permeabilitas diperlukan guna mengetahui konstruksi batuan yang ada di lokasi penimbunan.

5. Hidrologi

Data hidrologi diperlukan guna mengestimasi kemungkinan banjir, karakteristik limpasan, mekanisme drainase, kedalaman, kualitas, dan arah gerak air tanah lokasi pemrosesan akhir sampah.

6. Plan pemanfaatan final

Perencanaan sistem urug saniter perlu memerhatikan plan pemanfaatan final sebelum *layout* selesai dikarenakan berpengaruh terhadap plan pelaksanaan kedepannya.

2.3.3. Penyusunan Lapisan Landasan Tempat Pemrosesan Akhir

Penyusunan lapisan landasan pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan tahap krusial dalam perencanaan *sanitary landfill* yang bertujuan untuk mencegah pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran air tanah oleh air lindi (*leachate*). Berdasarkan Modul 1 PLP (2011: Bab 4 hal. 45), tahapan perencanaan konstruksi lapisan dasar (*liner*) TPA meliputi beberapa aspek teknis penting sebagai berikut:

a) Lapisan bawah TPA harus tertutup rapat

Lapisan dasar TPA harus memiliki permeabilitas yang sangat rendah, yakni kurang dari 10^{-7} cm/detik, untuk memastikan bahwa air lindi tidak merembes keluar dari jalur yang telah ditentukan. Hal ini penting untuk menghindari pencemaran air tanah dan lingkungan sekitar *landfill*

b) Penutup kedap air

Penutup dasar TPA dapat dibuat dengan menggunakan tanah liat yang dikompaksi minimal dua lapis dengan ketebalan total minimal 250 mm. Alternatif lain adalah penggunaan geomembrane, yaitu lapisan sintesis kedap air yang sering dipilih tergantung pada kondisi lahan dan

ketersediaan material. Geomembrane memiliki keunggulan dalam hal ketahanan dan efektivitas mencegah infiltrasi air lindi.

c) Akses pengumpul lindi dan kelandaian dasar timbunan

Dasar timbunan sampah wajib dilengkapi dengan sistem drainase untuk mengumpulkan air lindi secara efektif. Kelandaian minimum sebesar 2% harus disediakan agar air lindi dapat mengalir menuju kolam pengolahan lindi. Sistem ini sangat penting untuk mencegah genangan air lindi yang dapat memperbesar risiko pencemaran dan kerusakan struktur *landfill*.

d) Lapisan penangkap dan pengumpul lindi

Lapisan ini terdiri dari kerikil dengan ketebalan sekitar 300 mm dan berukuran butiran antara 30 hingga 50 mm. Kerikil ini mengelilingi pipa High Density Polyethylene (HDPE) yang memiliki lubang dengan jarak antar lubang sekitar 50 mm. Pipa ini berfungsi sebagai saluran utama pengaliran air lindi dari dasar *landfill* menuju kolam pengolahan, sehingga mencegah akumulasi air lindi di dalam timbunan sampah.

Selain itu, perencanaan lapisan landasan juga harus mempertimbangkan penggunaan material *geosintetik* seperti *geotextile non-woven* yang berfungsi sebagai penyaring dan pemisah antara lapisan tanah dan *geomembrane*, serta *geocomposite* drain yang membantu pengaliran air lindi secara efisien (Mutu Utama Geoteknik, 2023).

2.3.4. Pengurugan Sampah

Pengurugan sampah pada metode *sanitary landfill* dilakukan secara terencana dan sistematis dengan pembentukan petak harian (*daily cell*) yang merupakan tumpukan sampah hasil pengumpulan selama satu hari. Petak harian ini kemudian ditutup dengan tanah setiap hari sesuai kebutuhan untuk mengurangi bau, serangan hama, dan risiko kebakaran. Volume sel harian dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain posisi sel dalam lapisan baris sel, total volume sampah harian yang masuk, serta ketersediaan dan jangkauan bahan penutup tanah (Wahid Iqbal & Nurul C., 2009; Direktorat Pengembangan PLP, 2011).

Setelah perencanaan lokasi penimbunan selesai, langkah berikutnya

adalah peletakan sampah pada sel penimbunan. Sampah dituangkan ke dalam sel, kemudian disebar dan dipadatkan menggunakan alat berat seperti *steel compactor* atau *bulldozer*. Umumnya, ketika tumpukan sampah mencapai ketinggian sekitar 1,5 meter, proses pemadatan dilakukan sebanyak 4 hingga 6 kali untuk memastikan kepadatan dan stabilitas timbunan. Setelah pemadatan, tumpukan sampah langsung ditutup dengan lapisan tanah penutup minimal setebal 150 mm setiap hari untuk menghindari paparan langsung sampah ke udara bebas (Wahid Iqbal & Nurul C., 2009; Waste4Change, 2023).

Praktik penutupan harian ini merupakan standar internasional dalam pengelolaan *sanitary landfill* yang bertujuan meminimalkan potensi gangguan lingkungan seperti bau, serangan hama, dan pencemaran udara. Penutupan dengan tanah juga membantu mengendalikan proses dekomposisi sampah yang menghasilkan gas metana dan mengurangi risiko kebakaran di lokasi TPA (Scribd, 2025; Damanhuri, 2010).

Pengelolaan *sanitary landfill* yang baik juga dilengkapi dengan sistem pengumpulan air lindi dan gas metana untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan memanfaatkan gas metana sebagai sumber energi. Air lindi yang terkumpul diolah melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) agar memenuhi baku mutu sebelum dibuang ke lingkungan sekitar (PHR, 2025).

2.3.5. Tanah Penutup

Sistem penutup akhir pada lahan urug saniter merupakan komponen penting dalam pengelolaan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang berfungsi untuk mengisolasi sampah dari lingkungan, mengurangi infiltrasi air hujan, serta mengendalikan emisi gas dan bau. Berdasarkan Modul 1 PLP (2011: Bab 4, hal. 67-68), lapisan penutup akhir pada *sanitary landfill* disusun secara berlapis dari bawah ke atas dengan struktur sebagai berikut:

1. Tanah penutup harian dan antara

Di atas tumpukan sampah, dilakukan penutupan dengan tanah secara harian (*daily cover*) dan penutupan antara (*intermediate cover*). Penutupan harian biasanya menggunakan tanah dengan ketebalan

minimal 15-20 cm untuk mengurangi bau, serangan hama, dan risiko kebakaran. Jika penutupan tidak dilakukan dalam waktu satu bulan, maka diperlukan penutupan tanah yang lebih tebal, yaitu sekitar 30 cm, yang dikompaksi dengan baik agar efektif sebagai penghalang.

2. Lapisan kerikil penahan gas horizontal

Di atas lapisan tanah penutup terdapat lapisan kerikil dengan diameter butir antara 30 sampai 50 mm dan ketebalan sekitar 200 mm. Lapisan ini berfungsi sebagai penahan gas secara horizontal dan dihubungkan dengan perpipaan penangkapan gas vertikal yang mengalirkan gas metana hasil dekomposisi sampah ke sistem pengolahan atau ventilasi. Sistem ini penting untuk mengurangi akumulasi gas metana yang berpotensi menimbulkan ledakan dan pencemaran udara.

3. Lapisan lempung kedap air

Lapisan berikutnya adalah lapisan lempung dengan ketebalan minimal 200 mm yang memiliki permeabilitas sangat rendah, maksimal 1×10^{-7} cm/detik. Lapisan ini berfungsi sebagai penghalang utama untuk mencegah air hujan meresap ke dalam timbunan sampah sehingga mengurangi pembentukan air lindi (*leachate*) yang dapat mencemari lingkungan.

4. Lapisan kerikil *Under-drain* penangkap air infiltrasi

Di bawah lapisan lempung terdapat lapisan kerikil berdiameter 30-50 mm dengan ketebalan sekitar 20 cm yang berfungsi sebagai saluran drainase untuk menangkap dan mengalirkan air infiltrasi menuju sistem drainase utama. Untuk mencegah masuknya partikel tanah ke dalam lapisan kerikil, dapat dipasang lembaran geotekstil sebagai penyaring (*filter*). Sistem drainase ini sangat penting untuk menjaga kestabilan timbunan dan mencegah genangan air yang dapat merusak struktur *landfill*.

5. Tanah kompos

Lapisan paling atas adalah tanah kompos dengan ketebalan minimal 600 mm yang berfungsi sebagai media tumbuh tanaman penutup. Tanaman ini membantu mengurangi erosi, memperbaiki estetika lokasi TPA, dan

meningkatkan fungsi ekologis penutup akhir *landfill*.

Penerapan sistem penutup akhir yang berlapis ini bertujuan untuk mengoptimalkan isolasi sampah dari lingkungan, mengurangi dampak negatif seperti pencemaran air tanah dan udara, serta mendukung rehabilitasi lahan pascaoperasi TPA menjadi area hijau atau fungsi lain yang bermanfaat. Standar teknis ini sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 3 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Sampah yang mengatur secara rinci persyaratan teknis landfill saniter di Indonesia (Permen PU No. 3/2013).

2.4. Analisa Stabilitas Lereng

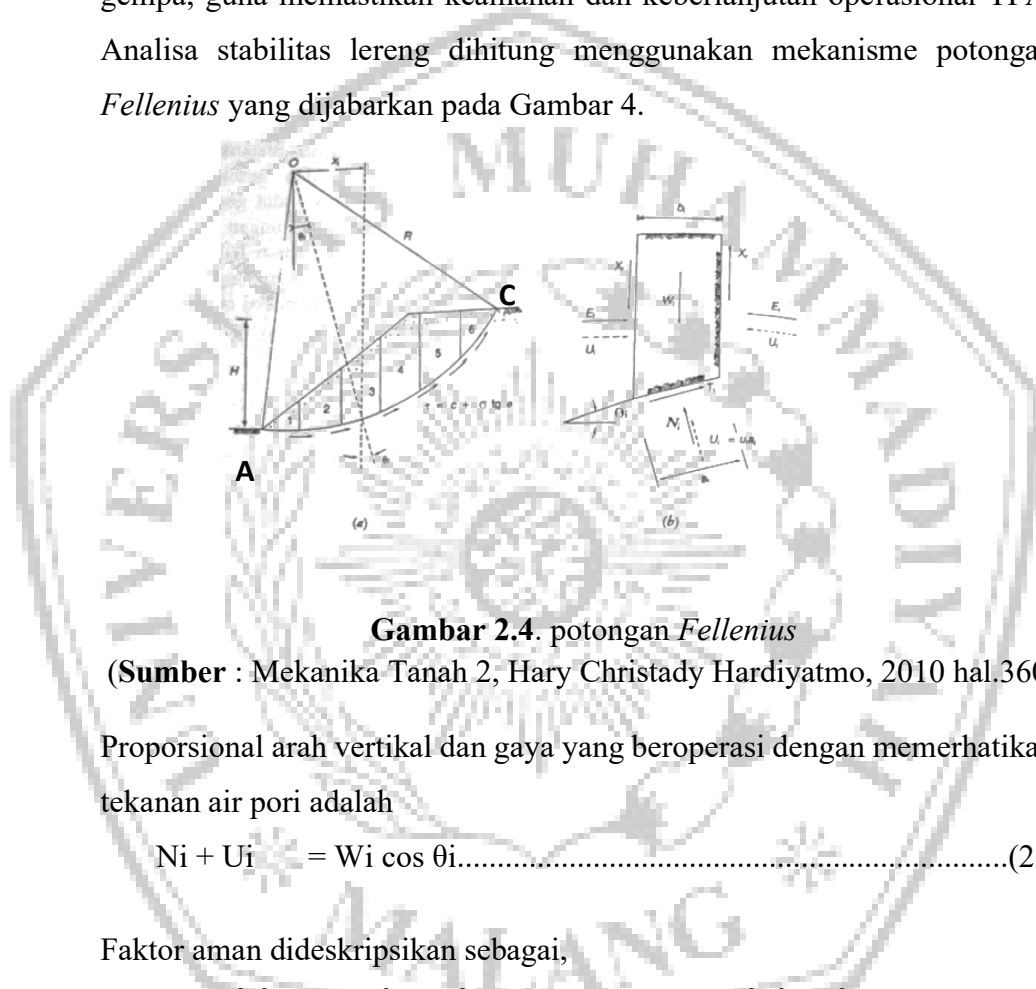
Analisa stabilitas lereng merupakan aspek penting dalam perencanaan dan pengelolaan timbunan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) untuk mencegah terjadinya longsor yang dapat membahayakan lingkungan dan keselamatan sekitar. Komponen gaya gravitasi cenderung menggerakkan massa tanah atau timbunan sampah di lereng miring ke bawah. Jika gaya tarik (gaya yang mendorong massa tanah bergerak) melebihi gaya geser (gaya tahan yang menahan pergerakan), maka akan terjadi kegagalan lereng berupa longsor. Menurut Hary Christady Hardiyatmo (2010:404), kondisi lokasi timbunan dianggap aman jika faktor keamanan (FK) mencapai nilai minimal 1,5 dalam kondisi stabil dan minimal 1,0 dalam kondisi gempa.

Pemodelan stabilitas lereng juga harus memperhitungkan pengaruh air, baik dari curah hujan maupun infiltrasi air lindi, karena keberadaan air dapat menurunkan nilai kohesi dan sudut geser tanah, sehingga menurunkan faktor keamanan lereng. Namun, penelitian menunjukkan bahwa variasi debit hujan tidak selalu memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan faktor keamanan jika sistem drainase dan perkuatan lereng diterapkan dengan baik (Sari & Hamdhan, 2019).

Dalam kondisi gempa, nilai faktor keamanan yang diperbolehkan lebih rendah, yaitu sekitar 1,0, karena adanya gaya tambahan akibat getaran yang dapat memicu kegagalan lereng. Oleh karena itu, perencanaan stabilitas lereng di daerah rawan gempa harus memperhatikan analisis dinamik dan

penggunaan teknik perkuatan tambahan seperti cerucuk bambu atau geotekstil untuk meningkatkan kekuatan lereng (Hardiyatmo, 2010; ITS Repository, 2022)

Secara keseluruhan, analisa stabilitas lereng timbunan sampah harus dilakukan dengan pendekatan yang komprehensif, mempertimbangkan faktor mekanik tanah, kondisi hidrologi, pengaruh cuaca, serta potensi gempa, guna memastikan keamanan dan keberlanjutan operasional TPA. Analisa stabilitas lereng dihitung menggunakan mekanisme potongan *Fellenius* yang dijabarkan pada Gambar 4.



Gambar 2.4. potongan *Fellenius*

(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hary Christady Hardiyatmo, 2010 hal.360)

Proporsional arah vertikal dan gaya yang beroperasi dengan memerhatikan tekanan air pori adalah

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \dots\dots\dots(2.i)$$

Faktor aman dideskripsikan sebagai,

$$F = \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsir}}$$

$$= \frac{\sum M_r}{\sum M_d}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, maka :

$$\sum M_d = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \dots \dots \dots (2. k)$$

Keterangan :

- R = radius bagian longsor
- n = total potongan
- W_i = massa tanah potongan ke-n
- θ_i = sudut dalam derajat gambar 2.5

$$\sum M_r = R \sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \varphi) \dots \dots \dots (2. l)$$

langkah yang sama, momen yang menanggulangi tanah akan longsor, adalah :

Sehingga persamaan faktor aman menjadi,

$$F = \sum_{i=1}^{i=n} \left[\frac{ca_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{W_i \sin \theta_i} \right] \dots \dots \dots (2. m)$$

Keterangan :

- SF = Safety factor
- c = nilai kohesi sampah (kN/m^2)
- φ = sudut geser dalam sampah (derajat)
- a_i = panjang lengkung lingkaran potongan ke-i (m)
- W_i = berat potongan tanah ke-i (kN)
- u_i = tekanan air pori pada potongan ke-i (kN/m^2)
- θ_i = sudut yang dimaksud gambar 2.4 dalam derajat

2.5. Tata Pengelolaan Gas

Gas yang dihasilkan di lokasi penimbunan sampah, khususnya di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), merupakan hasil dari proses penguraian

limbah organik yang terkubur oleh aktivitas mikroba anaerobik. Proses biologis ini memecah bahan organik menjadi berbagai gas, dengan komposisi utama berupa metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Metana merupakan gas yang sangat mudah terbakar dan memiliki potensi sebagai sumber energi, sedangkan karbon dioksida merupakan gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global (Tchobanoglous et al., 1993; Direktorat Pengembangan PLP, 2011).

Gas-gas ini jika dibiarkan lepas ke udara tanpa pengendalian dapat menimbulkan berbagai masalah lingkungan. Metana yang mudah terbakar dapat menyebabkan ledakan apabila konsentrasinya di udara mencapai lebih dari 5%. Selain itu, pelepasan gas metana dan karbon dioksida secara langsung ke atmosfer berkontribusi pada pencemaran udara dan pemanasan global. Oleh karena itu, pengendalian gas *landfill* menjadi aspek penting dalam pengelolaan TPA untuk mencegah dampak negatif tersebut sekaligus memanfaatkan gas metana sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan (EPA, 2020; Waste4Change, 2023).

Pengendalian gas *landfill* dapat dilakukan dengan dua metode utama, yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode pasif biasanya diterapkan dengan memasang saluran kendali gas berupa pipa-pipa ventilasi yang dipasang secara vertikal maupun horizontal di dalam timbunan sampah. Saluran ini berfungsi untuk mengalirkan gas metana keluar dari timbunan dengan cara alami tanpa menggunakan pompa atau sistem mekanis lainnya. Metode ini sederhana dan efektif untuk TPA dengan produksi gas yang relatif rendah atau sebagai tahap awal pengendalian gas (Direktorat Pengembangan PLP, 2011; Waste4Change, 2023)

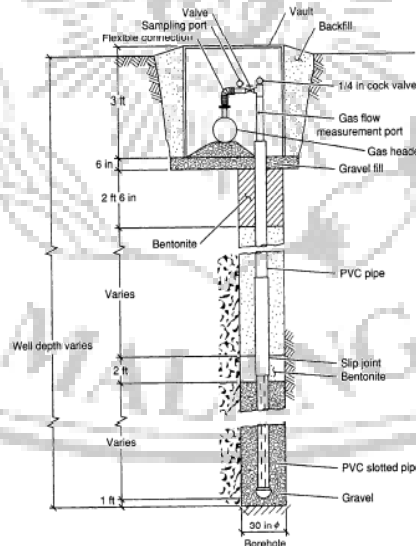
Sementara itu, metode aktif melibatkan penggunaan sistem penghisap gas dengan pompa vakum yang mengalirkan gas metana ke instalasi pengolahan atau pemanfaatan energi, seperti pembangkit listrik tenaga gas *landfill* (*landfill gas to energy*). Metode ini lebih kompleks dan memerlukan investasi yang lebih besar, namun sangat efektif untuk TPA dengan produksi gas yang besar dan berkelanjutan. Pemanfaatan gas metana sebagai bahan bakar rumah tangga atau energi listrik tidak hanya

mengurangi polusi udara dan risiko ledakan, tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi dari limbah yang sebelumnya dianggap tidak berguna (EPA, 2020; World Bank, 2018).

Selain itu, pengendalian gas landfill juga harus memperhatikan sistem keamanan untuk mencegah kebocoran gas yang dapat membahayakan pekerja dan masyarakat sekitar. Monitoring konsentrasi gas secara rutin dan pemeliharaan sistem pengendalian gas menjadi bagian penting dalam operasional TPA yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Direktorat Pengembangan PLP, 2011).

2.5.1. Penempatan pipa pengumpul gas secara vertikal

Pendekatan pertama adalah memasang sumur vertikal. Setelah seluruh TPA mencapai ketinggian akhir, lubang akan dibor dan pipa serta material dengan permeabilitas sedang seperti kerikil dan batu akan dipasang. Sumur vertikal ini biasanya mencapai kedalaman limbah 60 hingga 90 persen dan dilubangi hingga kedalaman 50 hingga 66 persen apabila digunakan untuk penyimpanan dan pemanfaatan gas. Jika perigi hanya digunakan untuk ventilasi, lubang dibor sepanjang selubung.

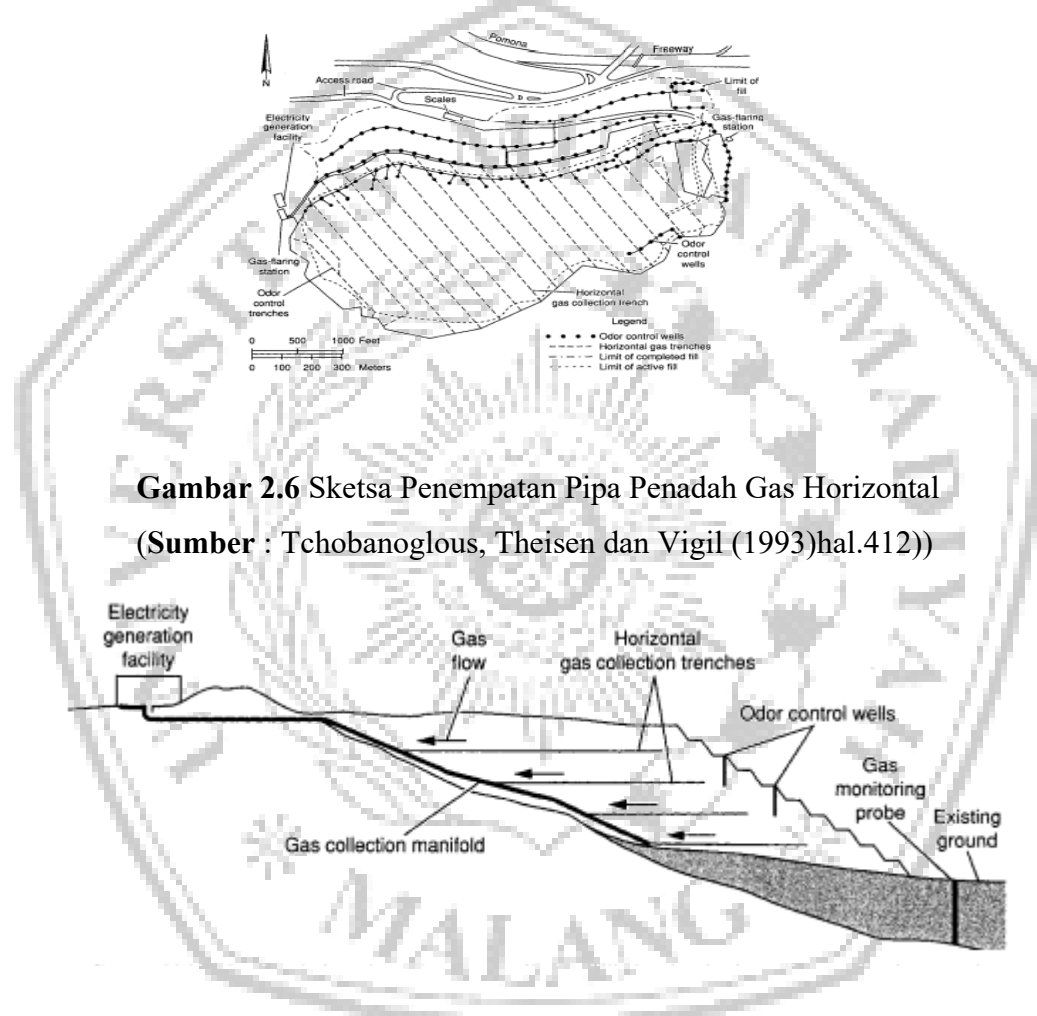


Gambar 2.5 Penempatan Pipa Gas Vertikal

(Sumber : Tchobanoglous, Theisen, dan Vigil (1993)hal.408))

2.5.2. Penempatan pipa secara horizontal

Pemasangan pipa horizontal dicapai dengan menempatkan tabung pengumpul udara jenuh. Dasar tabung dilengkapi dengan pengendali bau. Tumpukan limbah digali hingga kedalaman tertentu kemudian di isi dengan kerikil dan dipasang pipa untuk dioperasikan. Instalasi pipa horizontal disajikan pada Gambar 2.6 dan 2.7



Gambar 2.6 Sketsa Penempatan Pipa Penadah Gas Horizontal
(Sumber : Tchobanoglous, Theisen dan Vigil (1993)hal.412))

Gambar 2.7 Spesimen Rancangan Penempatan Pipa Pengumpul Gas
Horizontal dalam TPA

(Sumber : Tchobanoglous, Theisen, dan Vigil (1993)hal.412))

2.6. Sistem Pengolahan Lindi

Sistem pengolahan lindi merupakan bagian penting dalam pengelolaan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) untuk mencegah pencemaran lingkungan

yang diakibatkan oleh cairan lindi (leachate). Berdasarkan Direktorat Pengelolaan Limbah dan Pengembangan Pengelolaan (PLP) 2011 (Bab 4, hal. 15), lindi adalah cairan yang terbentuk dari hasil penguraian sampah dan pencampuran dengan cairan asing yang masuk ke TPA, seperti air permukaan, air tanah, air hujan, dan lain-lain. Lindi mengandung berbagai senyawa organik dan anorganik berbahaya, termasuk logam berat dan bahan pencemar lain yang dapat mencemari air tanah dan lingkungan jika tidak diolah dengan baik (Direktorat PLP, 2011).

Proses pengolahan lindi di TPA umumnya melibatkan beberapa tahap yang dirancang untuk menurunkan konsentrasi bahan pencemar sehingga memenuhi baku mutu lingkungan. Sistem pengolahan lindi dapat dilakukan secara alami maupun buatan. Metode alami menggunakan fungsi vegetasi, media tanah, dan mikroorganisme dalam lahan basah (wetlands) yang mengoptimalkan proses biodegradasi dan filtrasi. Sedangkan metode buatan meliputi penggunaan kolam anaerobik, aerobik, fakultatif, kolam maturasi, dan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang dirancang secara teknis untuk mengolah lindi dengan efisiensi tinggi (Direktorat PLP, 2011).

2.6.1. Konstruksi Pengumpul Lindi

Konstruksi pengumpul lindi merupakan komponen vital dalam sistem pengelolaan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) untuk mengendalikan dan mengalirkan cairan lindi (leachate) yang terbentuk dari proses dekomposisi sampah dan infiltrasi air hujan. Sistem pengumpul lindi terdiri dari jaringan saluran yang meliputi saluran pengumpul sekunder dan primer, yang didesain untuk mengoptimalkan pengumpulan dan pengaliran lindi menuju instalasi pengolahan (Direktorat PLP, 2011).

a) Saluran pengumpulan sekunder

Saluran ini berupa rangkaian pipa PVC yang dipasang di sepanjang sisi receiver di tengah area penimbunan sampah. Pipa-pipa ini menerima aliran lindi dari dasar timbunan yang memiliki kelandaian minimal 2 persen, dengan dasar yang dilapisi lembaran kedap air (liner) untuk mencegah infiltrasi ke tanah dasar. Fungsi saluran sekunder adalah mengumpulkan lindi dari area yang lebih kecil dan menyalurkannya ke

saluran primer

b) Saluran pengumpul utama

Saluran utama menggunakan pipa polietilena berdensitas tinggi (HDPE) dengan diameter minimum 150 mm. Pipa ini berfungsi sebagai saluran pengalir utama yang menghubungkan sistem pengumpul lindi ke kolam penampungan atau instalasi pengolahan. Pipa utama ini khusus dan tidak berlubang untuk menghindari kebocoran lindi ke lingkungan sekitar. Saluran utama dapat dihubungkan ke saluran hilir melalui tangki pengondisian yang berfungsi mengatur aliran dan kualitas lindi sebelum diproses lebih lanjut

c) Saluran penadah

Saluran ini mencakup kumpulan pipa HDPE yang berfungsi sebagai pengumpul lindi dari berbagai titik di dalam timbunan sampah. Saluran ini biasanya dipasang secara horizontal dan vertikal untuk memastikan seluruh lindi yang terbentuk dapat dikumpulkan dengan efektif.

d) Menghitung desain pembuangan lindi

Desain sistem pengumpulan lindi didasarkan pada perhitungan hidrologi yang mempertimbangkan curah hujan dan karakteristik timbulan lindi. Salah satu metode yang digunakan adalah asumsi konsentrasi hujan selama 4 jam mencapai 90 persen (metode Van Breen), dengan koefisien puncak sebesar 5,4. Diasumsikan pula bahwa dalam satu bulan terjadi maksimal 20 hari hujan, dan sekitar 20-30 persen dari volume hujan tersebut akan menjadi lindi. Data curah hujan dan debit lindi dianalisis menggunakan data historis maksimal 5 tahun terakhir untuk mendapatkan perencanaan yang akurat dan sesuai kondisi lapangan.

Data yang diperlukan maksimal terjadi 5 tahun kebelakang.

Thorntwaite digunakan sebagai acuan perhitungan drainase lindi.

Perhitungan memerlukan data klimatologi berikut :

1. Informasi curah hujan (rerata bulanan tahunan)
2. Data suhu (rerata tahunan dan bulanan)
3. Lokasi geografis stasiun cuaca lokal

Metode neraca air Thorntwaite mengasumsikan bahwa air lindi dihasilkan

semata-mata dari curah hujan yang merembes ke dalam limbah. Berikut *input-output* sistem neraca air dengan persamaan 2.n hingga 2.q :

$$\text{PERC} = \text{P} - (\text{RO}) - (\text{AET}) - (\Delta\text{ST}) \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\text{I} = \text{P} - (\text{R/O}) \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\text{APWL} = \Sigma \text{NEG} (\text{I} - \text{PET}) \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\text{AET} = (\text{PET}) + [(\text{I} - \text{PET}) - (\Delta\text{ST})] \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan :

PERC = perkolasi

P = presipitasi rerata bulanan dari data tahunan

RO = *runoff* rerata bulanan dihitung dari presipitasi serta koefisien limpasan

AET = sejumlah besar air hilang dari bulan ke bulan

ΔST = perubahan simpanan air tanah dari bulan ke bulan, berhubungan dengan kemampuan tanah menyimpan air.

ST = cadangan kelembaban tanah pada keadaan seimbang

I = Infiltrasi

APWL = potensi kehilangan air kumulatif, yaitu nilai negative yang berhubungan dengan kehilangan air kumulatif.

I-PET = nilai infiltrasi dikurangi potensi evapotranspirasi ; nilai negativf menunjukkan jumlah infliitrasi air yang tidak dapat mengisi kembali tanah, sedang nilai positif adalah kelebihan air dalam jangka waktu tertentu untuk mengisi kembali tanah.

PET = evapotranspirasi potensial.

2.6.2. Penataan kolam penampung lindi

Air lindi yang terkumpul akan dialirkan melalui saluran utama menuju tangki penampung lindi. Kemudian diolah sebelum dibuang ke sumber air terdekat. Pengolahan dilakukan di Instalasi Pengolahan Air Limbah yang mencakup rangkaian kolam stabilitas anaerobik, fakultatif, maturasi. Karakteristik yang digunakan dalam perencanaan IPAL disajikan pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Perbandingan Karakteristik Rancangan

Parameter	Unit	Dimensi
Kolam Anaerobik		
Detensi	hari	20 -50
Kedalaman	m	2,5 – 5,0
Kolam Fakultatif		
Detensi	hari	3 -30
Kedalaman	m	1,5-2,5
Kolam Maturasi		
Detensi	hari	5 - 20
Kedalaman	m	1,0 – 1,5

Sumber : Lampiran III Permen PU No.3 Tahun 2013 hal.49

2.7. Kalkulasi Curah Hujan

Untuk mengetahui besarnya debit yang mengalir ke saluran drainase, persamaan yang dipakai adalah :

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots(2.r)$$

Keterangan:

Q = debit (m³/dt)

C = koefisien limpasan

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = area pelayanan setiap saluran (Ha)

0,278 = faktor konversi

Tabel 2.4 Nilai Koefisien Limpasan (C)

Penutupan Lahan	C
Lahan terbuka:	
Tanah berpasir, lahan datar, 2%	0,05 – 0,10
Tanah berat, lahan datar, 2%	0,13 - 0,17
Tanah berpasir, lahan miring, >7%	0,15 – 0,20

Tanah berpasir, lahan landai, 2% - 7%	0,10 – 0,15
Tanah berat, lahan landai, 2% - 7%	0,18 – 0,20
Kantor, rumah jaga, bengkel, gudang, garasi, bangunan tertutup lainnya	0,6 – 0,75
Taman	0,10 – 0,40
Tanah berat, lahan miring, > 7%	0,25 – 0,35
Jalan lingkungan, lahan parkir:	
Batu bara / <i>paving stone</i>	0,60 – 0,85
Aspal	0,70 – 0,95
Beton	0,80 – 0,95

Sumber : Direktorat PPLP-2011, Bab 4 hal.20

2.7.1. Pengiraan Intensitas Hujan

Intensitas curah hujan dapat diketahui melalui *rainfall period*. Jika informasi ini tidak tersedia, metode yang umum digunakan adalah menyelidiki korelasi antara curah hujan dan durasi curah hujan. Metode Bell digunakan dengan durasi hujan 60 menit dan periode ulang hujan 10 tahun.

$$R_t = (0,2 \cdot \ln \cdot T + 0,52)(0,54 t + 0,25 - 0,5) \cdot R_{\text{kala ulang 10 tahun}} \dots \dots \dots (2.v)$$

Informasi :

R_t = curah hujan (mm)

T = periode ulang (tahun)

t = waktu hujan (menit)

untuk intensitas curah hujan digunakan perhitungan :

$$I_t = \frac{60}{t} R_t \dots \dots \dots (2.w)$$

I_t = intensitas hujan (mm/jam)

2.8. Perencanaan Saluran Drainase

Rumus menghitung ukuran saluran drainase :

$$Q = V \times A \dots \dots \dots (2.s)$$

$$V = (1/n) \cdot R^{2/3} \cdot S^{0.5} \dots \dots \dots (2.t)$$

Keterangan :

Q = debit aliran hujan (m^3/dt)

V = laju aliran air dalam saluran (m/dt)

A = luas saluran basah (m^2)

n = koefisien kekasaran saluran (tabel 2.4)

R= radius hidrolik = A/P

S= kemiringan kurva energi (m/m)

P= keliling basah (m)

Nilai konstanta kekasaran saluran (n) dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Konstanta Kekasaran saluran (n)

Bahan Saluran	n
Beton cetak tidak dihaluskan (<i>unfinished</i>)	0,014 – 0,02
Beton pada galian beton yang rapi	0,017 – 0,02
Pasangan batu bata tidak diplester	0,012 – 0,018
Beton dihaluskan (<i>finished</i>)	0,011 – 0,015
Galian pada batuan keras	0,025 – 0,04
Beton pada galian beton yang tidak dirapikan	0,022 – 0,027
Pasangan batu kali tidak dihaluskan	0,023 – 0,035
Tanah galian berbatu yang dirapikan	0,022 – 0,03
Pasangan batu bata diplester halus	0,01 – 0,015
Tanah galian yang rapi	0,016 – 0,02
Pasangan batu kali dihaluskan	0,017 – 0,03
Tanah galian yang sedikit ditumbuhi rumput	0,022 – 0,033

(Sumber: Direktorat PLPP-2011 bab 4 hal.21)

Mengantisipasi fluktuasi aliran air dan ketinggian air akibat peningkatan curah hujan dan efek gelombang, ketinggian railing dapat diprakirakan dengan persamaan :

$$F = c \cdot h \dots \dots \dots (2.u)$$

Keterangan :

F = tinggi railing (m)

H = kedalaman air dalam saluran (m)

C = koefisien dengan nilainya 0,5 – 0,3

