

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sampah

Definisi sampah mengalami pergeseran pada tahun – tahun terakhir karena aspek pembuangan tidak disebutkan secara jelas, dimana pada masa sekarang ada kecenderungan untuk tidak membuang sampah begitu saja, melainkan sebisa mungkin untuk di daur ulang. Maka dari itu, definisi sampah menurut Undang – Undang No.18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah adalah sisa kegiatan sehari – hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Beberapa *literature* mendefinisikan sampah sebagai semua yang dibuang karena tidak bermanfaat atau tidak diinginkan kehadirannya. Setiap orang atau kelompok orang atau badan hukum yang menghasilkan sampah disebut penghasil sampah. Di dalam Undang – Undang No.18 tahun 2008 sumber sampah didefinisikan sebagai asal timbulan sampah. Sampah yang akan dikelola terbagi menjadi 3 jenis, yaitu :

- Sampah rumah tangga

Sampah rumah tangga sendiri memiliki arti yaitu sampah yang berasal dari kegiatan sehari – hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik. Sampah rumah tangga bersumber dari aktifitas rumah / dapur serta aktifitas rumah tangga lainnya. Tipe sampah yang dihasilkan paling utama berupa sampah basah, sampah kering dan debu.

- Sampah sejenis sampah rumah tangga

Sampah yang berasal dari kawasan komersial, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum dan/atau fasilitas lainnya. Sumber sampah ini biasanya dari pasar, pertokoan, restoran, perusahaan dan lainnya. kategori sampah sebagian besar yang berasal dari pasar merupakan sampah organik.

- Sampah spesifik.

Kategori sampah spesifik ini merupakan sampah yang harus dikelola secara spesifik. Yaitu dikelola secara terpisah dengan sampah jenis lain karena sampah spesifik harus ditangani secara khusus.

Sampah spesifik sendiri terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu :

1. Sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun.
2. Sampah yang mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun.
3. Sampah yang timbul akibat bencana.
4. Puing bongkaran bangunan.
5. Sampah yang secara teknologi belum dapat diolah; dan/atau
6. Sampah yang timbul secara tidak periodik

2.2 Pengelolaan Sampah

Pengelolaan sampah mempunyai arti yaitu kegiatan yang sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah. Pengelolaan sampah juga dapat didefinisikan adalah semua kegiatan yang bersangkutan paut dengan pengendalian timbulnya sampah, pengumpulan, transfer dan transportasi, pengelolaan dan pemrosesan akhir/pembuangan sampah dengan mempertimbangkan faktor kesehatan, lingkungan, ekonomi, teknologi, konservasi, estetika, dan faktor – faktor lingkungan lainnya yang erat kaitannya dengan respon masyarakat. Menurut Undang – Undang No.18 tahun 2008 pengelolaan sampah didefinisikan sebagai kegiatan yang sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah.

Kegiatan pengurangan meliputi :

- a. Pembatasan timbulan sampah (*Reduce*)

Pembatasan timbulan sampah atau yang biasa disebut dengan *reduce* adalah mengupayakan agar limbah atau sampah yang dihasilkan sesedikit mungkin.

b. Pendaur ulang sampah (*Recycle*)

Pendaur ulangan sampah atau yang biasa disebut dengan *recycle* adalah pemanfaatan limbah atau sampah yang tersisa atau tidak dapat dimanfaatkan secara langsung, kemudian diproses atau diolah untuk dapat dimanfaatkan baik sebagai bahan baku maupun sebagai sumber energi.

c. Pemanfaatan kembali sampah (*Reuse*)

Pemanfaatan kembali sampah atau yang biasa disebut *reuse* adalah suatu kegiatan yang apabila limbah atau sampah terbentuk, maka akan dilakukan upaya untuk memanfaatkan limbah atau sampah tersebut secara langsung.

Sedangkan kegiatan penanganan sampah meliputi :

- a. Pemilahan dalam bentuk pengelompokan dan pemisahan sampah sesuai dengan jenis, jumlah, dan/atau sifat sampah.
- b. Pengumpulan dalam bentuk pengambilan dan pemindahan sampah dari sumber sampah ke tempat penampungan sementara (TPS) atau tempat pengolahan sampah 3R skala kawasan (TPS 3R), atau tempat pengolahan sampah terpadu.
- c. Pengangkutan dalam bentuk membawa sampah dari sumber dan/atau sampah 3R terpadu menuju ke tempat pemrosesan akhir (TPA) atau tempat pengolahan sampah terpadu (TPST)
- d. Pengolahan dalam bentuk mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah
- e. Pemrosesan akhir sampah dalam bentuk pengembalian sampah dan/atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman.

Prinsip dari pengelolaan sampah sendiri adalah sebagai berikut :

- Paradigma lama penanganan sampah secara konvensional yang bertumpu pada proses pengumpulan, pengangkutan dan pembuangan akhir perlu diubah dengan mengedepankan terlebih dahulu proses pengurangan dan pemanfaatan sampah.

- Pengurangan dan pemanfaatan sampah secara signifikan dapat mengurangi kebutuhan pengelolaan sehingga sebaiknya dilakukan di semua tahap yang memungkinkan baik sejak di sumber, TPS, instalasi pengolahan dan TPA. Dengan demikian diharapkan target pengurangan sampah sebesar 20% dapat terpenuhi.
- Pengurangan dan pemanfaatan sampah sejak disumbernya akan memberikan dampak positif, dalam hal ini peran masyarakat sangat penting.
- Komposisi sampah dengan kandungan organik tinggi (60 – 80%) merupakan potensi sumber bahan baku kompos yang dapat melibatkan peran serta masyarakat.
- Daur ulang oleh sektor informal perlu diupayakan menjadi bagian dari sistem pengelolaan sampah perkotaan.
- Tempat pemrosesan akhir merupakan tahap terakhir penanganan sampah, pemanfaatan TPA sebaiknya untuk jangka panjang (minimal 10 tahun)
- *Incinerator* merupakan pilihan teknologi terakhir untuk pengolahan sampah kota, mengingat karakteristik sampah di Indonesia yang masih mengandung organik yang cukup tinggi, biaya investasi dan operasi serta pemeliharaan yang mahal.

2.3 Pengertian Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

Tempat pembuangan akhir atau yang biasa disebut TPA adalah tempat untuk menimbun sampah dan merupakan bentuk tertua dari perlakuan sampah. TPA dapat berbentuk tempat pembuangan dalam (dimana pembuang sampah membawa sampah ke tempat produksi) begitupun tempat yang digunakan oleh produsen. TPA merupakan cara paling umum untuk limbah buangan terorganisir dan tetap begitu di sejumlah tempat di dunia.

TPA yang dulu merupakan Tempat Pembuangan Akhir, berdasarkan UU No. 18 Tahun 2008 menjadi Tempat Pemrosesan Akhir didefinisikan sebagai pemrosesan akhir sampah dalam bentuk pengembalian sampah dan/atau residu hasil pengelolaan sebelumnya ke media lingkungan secara aman. Selain itu

dilokasi pemrosesan akhir tidak hanya ada proses penimbunan sampah tetapi juga wajib terdapat 4 (empat) aktivitas utama penanganan sampah di lokasi TPA, yaitu (Litbang PU, 2009) :

1. Pemilahan sampah
2. Daur ulang sampah non-hayati (an-organik)
3. Pengomposan sampah hayati (organik)
4. Pengurangan/penimbunan sampah residu dari proses di atas di lokasi pengurangan atau penimbunan (*Landfill*)

2.4 Pengertian *Landfill*

Landfill memiliki pengertian yaitu suatu kegiatan penimbunan sampah padat pada tanah. Jika tanah memiliki muka air yang cukup dalam, tanah bisa digali, dan sampah bisa ditimbun didalamnya. Metode *landfilling* sendiri diterapkan pertama kali pada sampah – sampah kota. Cara ini pertama kali dikenal sejak awal tahun 1900-an yang dikenal dengan nama *Sanitary Landfill*. Cara *Landfilling* sendiri dibutuhkan karena :

- Pengurangan limbah di sumber, daur ulang, atau minimasi limbah, tidak dapat menyingkirkan limbah semuanya.
- Pengolahan limbah biasanya penghasilkna residu yang harus ditangani lebih lanjut.
- Kadangkala sebuah limbah sulit untuk diurai secara biologis, atau sulit untuk dibakar dan sulit untuk diolah secara kimia.

Metode *Landfilling* sendiri saat ini tidak digunakan untuk menangani sampah kota saja. Metode *Landfilling* sendiri perlu dicatat dalam beberapa hal seperti :

- Digunakan untuk menyingkirkan sampah, karena murah, mudah dan luwes.
- Digunakan juga untuk menyingkirkan limbah industri. Seperti *slugde* (lumpur) dari pengolahan limbah cair, termasuk limbah berbahaya.

- Bukan pemecah masalah limbah yang baik. *Landfilling* dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, terutama dari air lindi (*Leachate*) yang dapat mencemari air tanah.
- Maka untuk menghindari atau mengurangi dampak negatif tersebut dibutuhkan pemilihan lokasi yang tepat, penyiapan prasarana dan sarana yang baik. Yaitu dengan memanfaatkan teknologi yang sesuai, dan dengan pengoperasian yang baik pula.

2.4.1 *Sanitary Landfill*

Sanitary Landfill didefinisikan sebagai sistem penimbunan sampah secara sehat dimana sampah dibuang ditempat yang rendah atau parit yang digali untuk menampung sampah, lalu sampah ditimbun dengan tanah yang dilakukan lapis demi lapis sedemikian rupa sehingga sampah tidak berada di alam terbuka (*Tchobanoglous, et al., 1993*). Pada prinsipnya *Sanitary Landfill* dibutuhkan karena :

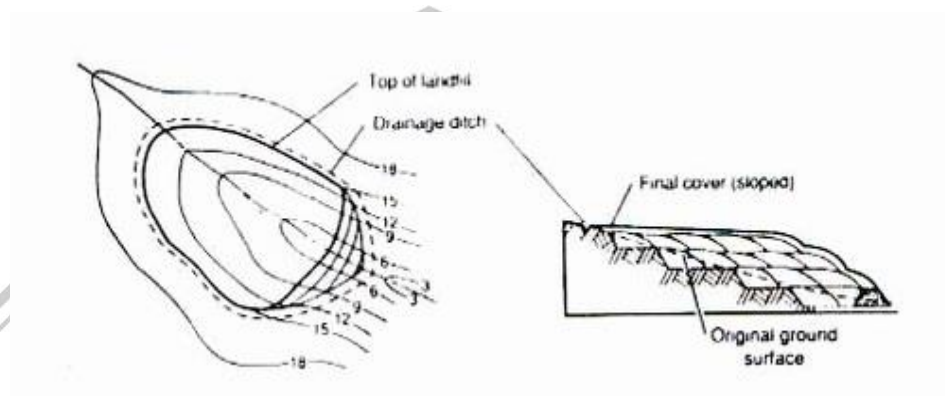
1. Pengurangan limbah di sumber, daur ulang atau minimalisasi limbah tidak dapat menyingkirkan seluruh limbah.
2. Pengolahan limbah biasanya menghasilkan residu yang harus ditangani lebih lanjut.
3. Kadangkala limbah sulit diuraikan secara biologis, sulit diolah secara kimia, atau sulit untuk dibakar.

Berdasarkan peletakan sampah didalam *sanitary landfill*, maka klasifikasi dari *landfill* dapat dibedakan menjadi 3, yaitu :

a. Mengisi lembah atau cekungan (Metode Depresi)

Pada awalnya metode ini digunakan pada lahan yang tidak produktif. Misalnya pada lahan bekas pertambangan. Metode ini biasa digunakan untuk penimbunan sampah yang dilakukan pada daerah lembah, seperti tebing, jurang, cekungan kering, dan bekas galian. Metode ini juga disebut dengan *depression method*. Teknik peletakan dan pemadatan sampah tergantung

pada jenis material penutup yang tersedia, kondisi geologi dan hidrologi lokasi, tipe fasilitas pengontrolan *leachate* dan gas digunakan, dan sarana menuju lokasi. Cara ini juga dikenal dengan metode *pit* atau *canyon* atau *quarry*. Dengan demikian terjadi reklamasi lahan sehingga lahan tersebut menjadi baik kembali. Contoh metode depresi dapat dilihat di Gambar 2.1



Gambar 2.1 *Sanitary Landfill Depression method.*

(Sumber: pengelolaan sampah modul 1 direktorat pengembangan PLP, direktorat jenderal cipta karya, kementerian pekerjaan umum, 2011)

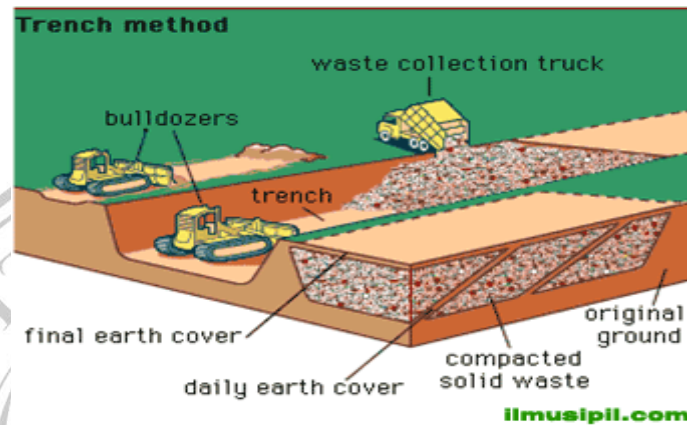
b. Mengupas lahan secara bertahap (*Metode Trench*)

Untuk metode ini, dilakukan apabila terbatasnya *site* atau lahan yang sesuai. Maka dari itu metode ini dilakukan pengupasan sampai kedalaman tertentu. metode ini sendiri juga dikenal dengan metode *slope (ramp)*. Metode ini sendiri perlu memperhatikan :

1. tinggi muka air tanah
2. struktur batuan / tanah keras
3. peralatan pengupasan / penggalian yang dimiliki.

Pengupasan membentuk parit – parit tempat penimbunan sampah dikenal sebagai *metode trench*. Metode ini digunakan pada area yang memiliki muka air tanah yang dalam. Area yang digunakan digali dan dilapisi dengan bahan yang biasanya terbuat dari membran sintetis, tanah liat dengan permeabilitas yang rendah (*low - permeability clay*), atau kombinasi keduanya, untuk

membatasi pergerakan *leachate* dan gasnya. Tiap sel galian umumnya berbentuk segi empat, dengan panjang dan lebar 305 m dan dengan slope 1,5 : 1 sampai 2 : 1. Galian bervariasi dengan panjang 61 – 205 m, kedalaman 1 – 3 m, dan lebar 5 – 15 m. Contoh dari *metode trench* seperti pada Gambar 2.2.

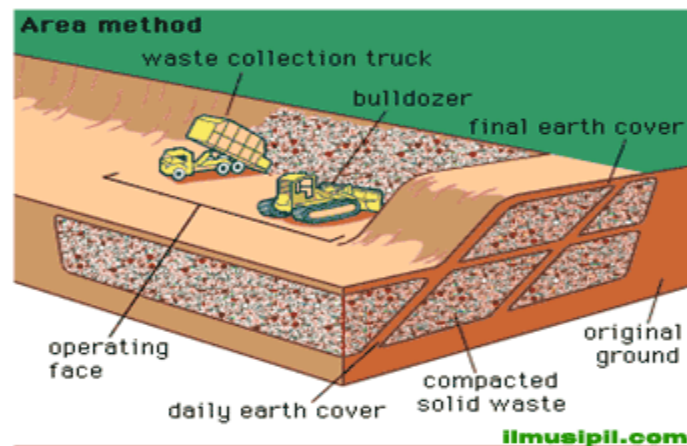


Gambar 2.2 Sanitary Landfill Trench method.

(Sumber : Encyclopaedia Britannica, Inc, 1999)

c. Menimbun sampah di atas lahan (Metode Area)

Untuk daerah yang datar, dengan muka air tanah tinggi, dilakukan dengan cara menimbun sampah di atas lahan. Cara ini dikenal sebagai metode area. Sampah dibuang menyebar memanjang pada permukaan tanah, dan tiap lapis dalam proses pengisian (biasanya per 1 hari) lapisan dipadatkan, dan ditutup dengan material penutup setebal 15-30 cm. luas area penyebaran bervariasi tergantung pada volume timbulan sampah dan luas lahan yang tersedia, dengan panjang dan lebar hingga 305 m. biasanya digunakan kompos sebagai *intermediate cover material*, atau bisa digunakan tanah atau geomembran sebagai bahan penutup temporer. Metode area contohnya dapat dilihat di Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Sanitary Landfill Area method.*

(Sumber : Encyclopaedia Britannica, Inc, 1999)

Untuk mengurangi bahaya yang ditimbulkan terhadap lingkungan, maka diperlukan suatu desain penimbunan sampah/ landfill yang dioperasikan sesuai rekomendasi dari lembaga berwenang, atau peraturan pemerintah daerah setempat mengenai perlindungan terhadap lingkungan.

2.5 Desain dan Operasi *Sanitary Landfill*

Hal utama yang perlu diperhatikan dalam desain *sanitary landfill* adalah data mengenai jumlah timbunan sampah yang masuk ke dalam *landfill*. Jumlah timbunan sampah ini akan mempengaruhi luas area yang dibutuhkan untuk pembuatan *landfill*.

Selain kebutuhan lahan untuk area penimbunan sampah (*landfilling*), juga diperlukan beberapa sarana penunjang yang diperlukan dalam operasi *sanitary landfill*. Sarana penunjang yang diperlukan dalam pengoperasian *system sanitary landfill* antara lain adalah sarana saluran drainase, sistem pengumpul lindi dan sistem pengumpul gas.

2.6 Analisa Pertumbuhan Penduduk

Ada beberapa metode yang digunakan untuk menganalisa pertumbuhan penduduk, yaitu :

a. Metode Aritmatik

Model linear Aritmatik adalah teknik proyeksi yang paling sederhana dari seluruh model trend. Model ini menggunakan persamaan derajat pertama (*first degree equation*). Berdasarkan hal tersebut, penduduk diproyeksikan sebagai fungsi dari waktu, dengan persamaan :

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

Keterangan :

P_n : Jumlah penduduk pada akhir tahun periode (jiwa)

P_0 : Jumlah penduduk pada awal proyeksi (jiwa)

r : Rata – rata pertumbuhan penduduk tiap tahun (jiwa/ pertahun)

dn : Kurun waktu proyeksi (tahun)

Menurut Pittengar (1976), mengemukakan bahwa model ini hanya digunakan jika data yang tersedia relatif terbatas, sehingga tidak memungkinkan untuk menggunakan model lain. Selanjutnya, Isserman (1977) mengemukakan bahwa model ini hanya dapat diaplikasikan untuk wilayah kecil dengan pertumbuhan yang lambat, dan tidak tepat untuk proyeksi pada wilayah-wilayah yang lebih luas dengan pertumbuhan penduduk yang tinggi.

b. Metode Geometri

Menurut Klosterman (1990), proyeksi dengan tingkat pertumbuhan yang tetap ini umumnya dapat diterapkan pada wilayah, dimana pada tahun-tahun awal observasi penambahan absolut penduduknya sedikit dan menjadi semakin banyak pada tahun-tahun akhir. Metode geometrik dalam proyeksi penduduk dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

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

Keterangan :

P_n : Jumlah penduduk pada akhir tahun periode (jiwa)

P_0 : Jumlah penduduk pada awal proyeksi (jiwa)

r : Rata – rata pertambahan penduduk tiap tahun (% pertahun)

dn : Kurun waktu proyeksi (tahun)

c. Metode Least Square

$$P_n = a + (b \cdot t)$$

Keterangan :

t : tambahan tahun terhitung dari tahun dasar

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

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

Penentuan metode yang dipakai untuk proyeksi penduduk, dapat dicari dengan menggunakan metode standar deviasi (S) dapat juga menggunakan metode korelasi (r). Jika menggunakan rumus standar deviasi (S) dicari nilai paling kecil dari ketiga metode yang ada. Sedangkan jika memakai rumus korelasi (r) maka metode dengan nilai paling mendekati nilai 1 yang akan dipakai.

Rumus standar deviasi (S) adalah :

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

Rumus korelasi (r) adalah :

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum y)(\sum x)}{\sqrt{\{n(\sum y^2) - (\sum y)^2\}\{n(\sum x^2) - (\sum x)^2\}}}$$

2.7 Analisa Timbulan Sampah

Jumlah timbulan sampah sendiri perlu diketahui, agar pengolahan persampahan dapat dilakuakn dengan efektif, akurat dan efisien. Jumlah timbulan sampah ini juga akan terhubung dengan elemen – elemen pengelolaan sampah antara lain :

- Pemilihan peralatan, misalnya wadah, alat pengumpulan dan pengangkutan
- Perencanaan rute pengangkutan
- Fasilitas dan daur ulang
- Luas dan jenis TPA

Timbulan sampah sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

a. Reduksi sampah, reduksi di sumber sampah sendiri sangat mempengaruhi jumlah timbulan sampah disuatu kota. Peningkatan reduksi timbulan sampah akan menurunkan laju timbulan sampah secara signifikan. Beberapa cara yang termasuk reduksi sampah adalah sebagai berikut :

- Mengurangi bungkus / *packaging*
- Produk lebih tahan lama (dapt digunakan lagi)
- Mengganti bahan sekali pakai (popok, tempat makanan, piring, dan lain sebagainya)
- Sedikit mungkin menggunakan bahan – bahan atau sumber daya alam
- Meningkatkan bahan yang mudah di *recycle* atau *reused*.
 - a. *Recycling*, bagian dari upaya mereduksi jumlah sampah. Merupakan metode yang dapat merubah sampah jadi mempunyai nilai ekonomis.
 - b. Kebiasaan masyarakat mempengaruhi penanganan sampah mulai dari sumber sampah. Jika masyarakat mempunyai kebiasaan mengelola sampah dengan baik maka laju timbulan sampah di suatu kotadapat ditekan atau diturunkan.
 - c. Peraturan, terkait dengan kebijakan pemerintah misalkan peraturan untuk mengurangi penggunaan kemasan yang tidak ramah lingkungan.

d. Kondisi fisik dan geografi (musim, iklim, dataran tinggi)

Timbulan sampah bisa dinyatakan dengan satuan volume atau satuan berat. Jika digunakan satuan volume, derajat pewadahan (densitas sampah) harus dicantumkan. Oleh karena itu lebih baik digunakan satuan berat karena ketelitiannya lebih tinggi dan tidak perlu memperlihatkan derajat pemadatan. Timbulan sampah ini dinyatakan sebagai berikut :

- Satuan berat : kg/o/hari, kg/bed/hari dan lain sebagainya.
- Satuan volume : L/o/hari, L/m²/hari, L/bed/hari, dan sebagainya.

Untuk mengetahui besaran timbulan sampah berdasarkan komponen – komponen sumber sampah, dapat kita lihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. besaran timbulan sampah berdasarkan komponen – komponen sumber sampah

No.	Komponen Sumber Sampah	Satuan	Volume (Liter)	Berat (kg)
1.	Rumah Permanen	/orang/hari	2,25 -2,50	0,350 -0,400
2.	Rumah Semi Permanen	/orang/hari	2,00-2,25	0,300 -0,350
3.	Rumah Non Permanen	/orang/hari	1,75 -2,00	0,250 -0,300
4.	Kantor	/pegawai/hari	0,50-0,75	0,025 - 0,100
5.	Toko/Ruko	/petugas/hari	2,50-3,00	0,150 -0,350
6.	Sekolah	/murid/hari	0,10-0,15	0,010 -0,020
7.	Jalan Arteri Sekunder	/m/hari	0,10-0,15	0,020 -0,100
8.	Jalan Kolektor Sekunder	/m/hari	0,10-0,15	0,010 -0,050
9.	Jalan Lokal	/m/hari	0,05- 0,10	0,005 -0,025
10.	Pasar	/m ² /hari	0,20-0,60	0,100 - 0,300

(Sumber : Diktat Kuliah TL – 3104 Pengelolaan Sampah)

Rata – rata timbulan sampah biasanya akan bervariasi dari hari ke hari, antara satu daerah dengan daerah lainnya, dan antara satu negara dengan negara lainnya. variasi ini terutama disebabkan oleh perbedaan, antara lain :

- Jumlah penduduk dan tingkat pertumbuhannya.
- Tingkat hidup : makin tinggi tingkat hidup masyarakat, makin besar timbulan sampahnya.
- Musim : di Negara barat, timbulan sampah akan mencapai angka minimum pada musim panas.
- Cara hidup dan mobilitas penduduk.
- Iklim : di Negara barat, debu hasil pembakaran alat pemanas akan bertambah pada musim dingin.
- Cara penanganan makanannya.

Menurut SNI 19-3964-1995 [21], bila pengamatan lapangan belum tersedia, maka untuk menghitung besaran sistem, dapat digunakan angka timbulan sampah berikut :

- Satuan timbulan sampah kota besar = 2 – 2,5 L/orang/hari, atau 0,4 – 0,5 kg/orang/hari.
- Satuan timbulan sampah kota sedang/kecil = 1,5 – 2 L/orang/hari atau 0,3 – 0,4 kg/orang/hari.

Karena timbulan sampah sebuah kota sebagian besar berasal dari rumah tangga, maka untuk perhitungan secara cepat satuan timbulan sampah tersebut dapat dianggap sudah meliputi sampah yang ditimbulkan oleh setiap orang dalam berbagai kegiatan dan berbagai lokasi, baik saat di rumah, jalan, pasar, hotel, taman, kantor dsb. Namun tambah besar sebuah kota, maka tambah mengecil porsi sampah dari permukiman, dan tambah membesar porsi sampah non-permukiman, sehingga asumsi tersebut di atas perlu penyesuaian.

Prosentase timbulan sampah adalah 75% timbulan sampah berasal dari pemukiman, dan 25% dari non pemukiman. Ada beberapa kategori sumber sampah yang dapat digunakan sebagai acuan, yaitu :

- Sumber sampah yang berasal dari daerah perumahan
- Sumber sampah yang berasal dari daerah komersial

- Sumber sampah yang berasal dari fasilitas umum
- Sumber sampah yang berasal dari fasilitas sosial

Data timbulan sampah dapat dihitung dengan cara menggunakan survey selama 8 hari berturut – turut dengan mengambil sampah pada sejumlah pemukiman dan di rerata akan menghasilkan timbulan sampah perkotaan. Untuk menentukan jumlah pemukiman untuk sampling selama 8 hari, dapat menggunakan rumus :

$$S = Cd \cdot \sqrt{Ps}$$

Keterangan :

S : Jumlah contoh (jiwa)

Cd : Koefisien perumahan = 1,0 (untuk kota besar)
= 0,5 (untuk kota kecil/sedang)

Ps : Populasi jiwa

Jika sudah mendapatkan hasil dari S, maka dapat dimasukan kedalam persamaan :

$$K = \frac{S}{N}$$

Keterangan :

K : Jumlah contoh (KK)

N : Jumlah jiwa / keluarga (5 orang)

Laju timbulan sampah sendiri juga ditentukan oleh klasifikasi pemukiman. Berdasarkan SNI M-36-1991-03 Tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan Sampah Perkotaan pemukiman di klasifikasikan atas permukiman permanen, non – permanen dan semi permanen.

Jumlah contoh timbunan sampah dari perumahan adalah sebagai berikut :

Contoh dari perumahan permanen = $(S1 \times K)$ keluarga

Contoh dari perumahan semi permanen = $(S2 \times K)$ keluarga

Contoh dari perumahan non permanen = $(S3 \times K)$ keluarga

Dimana :

S1 : proporsi jumlah KK perumahan permanen dalam (25%)

S2 : proporsi jumlah KK perumahan semi permanen dalam (30%)

S3 : proporsi jumlah KK perumahan non permanen dalam (45%)

Untuk alat yang digunakan dalam melakukan survey selama 8 hari berturut – turut yaitu dengan menggunakan kotak berukuran 20 cm x 20 cm x 100 cm. kotak ini diangkat setinggi ± 30 cm dan di jatuhkan sebanyak 3 kali kemudian dihitung volume sampah. Ini dilakukan juga untuk mendapatkan densitas sampah.

2.8 Penentuan Densitas Sampah

Definisi densitas sampah sendiri adalah berat sampah yang diukur de=alam satuan kilogram dibandingkan dengan volume sampah yang diukur tersebut (kg/m^3) Densitas sampah sendiri sangat penting untuk menentukan jumlah timbunan sampah. Disamping itu, densitas sampah juga penting untuk menentukan luas lahan TPA yang diperlukan. Densitas sampah sendiri sangat tergantung dari sampel sampah yang diukur, apakah sampah lepas dari sumber sampah, sampah di gerobak yang mungkin telah mengalami sedikit pemadatan ataupun dari sampah di *truck compactor* yang memang telah dilakukan pemadatan terhadap sampah.

Setelah mendapatkan hasil timbunan sampah, maka hasil timbunan sampah tersebut bisa dipakai untuk mencari Densitas Sampah dan jumlah sampah. Jumlah sampah sendiri dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

Rumus jumlah sampah :

$$\text{Jumlah sampah} = \text{Timbulan sampah} \times \text{jumlah penduduk}$$

Keterangan :

Jumlah sampah : ton/ hari

Timbulan sampah : kg/org/hari atau L/org/hari

Jumlah penduduk : jiwa

2.9 Perhitungan Luas Lahan TPA

Untuk menentukan luas lahan pada TPA, harus menentukan lokasi agar dapat diprediksi luas area yang dibutuhkan untuk penimbunan sampah. Untuk memperkirakan luas lahan untuk TPA dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

1. Sampah yang dihasilkan (ton/hari)

$$\frac{\text{populasi} \times \text{timbulan sampah}}{1000 \text{ kg/ton}}$$

2. Luas area yang dibutuhkan /hari

$$\frac{\text{total sampah per hari} \times 1000 \text{ kg/ton}}{\text{densitas sampah landfill}}$$

3. Volume yang dibutuhkan /hari

$$\frac{\text{sampah yang dihasilkan per hari} \times 1000 \text{ kg/ton}}{\text{massa jenis sampah terkompaksi di landfill}}$$

4. Area yang dibutuhkan /tahun

$$\frac{\text{volume sampah per hari} \times 365 \text{ hari/tahun}}{\text{kedalaman sampah terkompaksi}}$$

2.10 *Leachate* atau Air Lindi

Sampah yang dibuang ke *sanitary landfill* mengalami beberapa perubahan fisik, kimia dan biologis secara simultan yang diantaranya menghasilkan cairan yang disebut *Leachate*. *Leachate* bisa didefinisikan sebagai cairan yang telah melewati sampah yang telah mengekstraksi material terlarut/tersuspensi dari sampah tersebut (Tchobanoglous, 1993). *Leachate* dihasilkan dari infiltrasi air hujan ke dalam tumpukan sampah di TPA dan cairan yang terdapat di dalam sampah itu sendiri.

Menurut Menteri Pekerja Umum No.21/PRT/M/2006 tentang kebijakan dan strategi nasional pengembangan sistem pengelolaan persampahan (KSMP-PP) dibagi menjadi 2 yaitu :

a. Saluran pengumpul primer

Menggunakan pipa HDPE berlubang (untuk pipa pengumpul *leachate* tidak berlubang), saluran primer dapat dihubungkan dengan hilir saluran sekunder oleh bak control, yang berfungsi pula sebagai ventilasi yang dikombinasikan dengan pengumpul gas vertikal.

b. Saluran pengumpul sekunder

- Dipasang memanjang ditengah blok / zona penimbun.
- Saluran pengumpul tersebut menerima aliran dari dasar lahan dengan kemiringan minimal 2%
- Saluran pengumpul terdiri dari rangkaian pipa HDPE
- Dasar saluran dapat dilapisi dengan liner (lapisan kedap air)

Untuk perhitungan desain debit *leachate* menggunakan model dan perhitungan. Untuk model salah satunya dengan menggunakan model *Thorntwaite*. Dalam menggunakan model ini kita membutuhkan 3 data, yaitu :

1. Data presipitasi (rata – rata bulanan tahunan)
2. Data temperature udara (rata – rata bulanan tahunan)

3. Posisi geografis stasiun meteorologi setempat

Dari Gambar 2.4 menggambarkan sistem input – output dari neraca air, dan persamaannya adalah :

$$\text{PERC} = P - (\text{RO}) - (\text{AET}) - (\Delta\text{ST}) \dots\dots\dots (1)$$

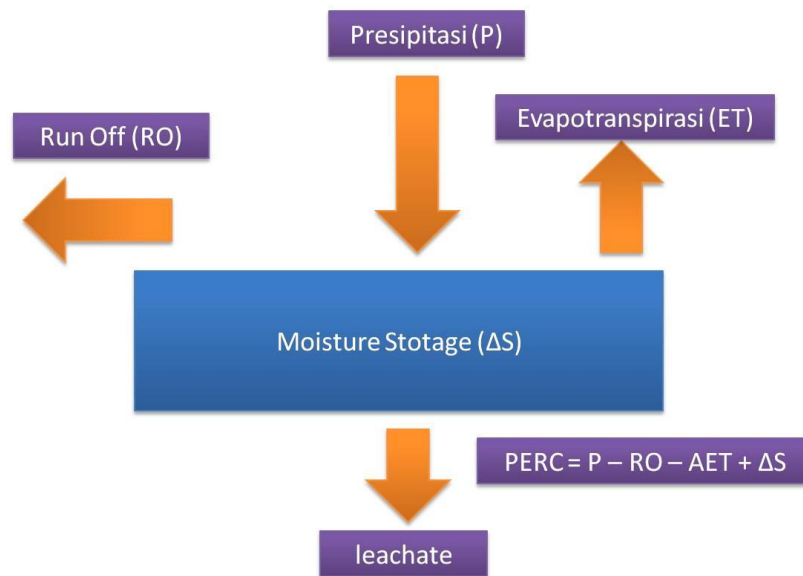
$$I = P - (\text{R/O}) \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{APW/L} = \Sigma \text{NEG} (I - \text{PET}) \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{AET} = (\text{PET}) + [(I - \text{PET}) - (\Delta\text{ST})] \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

- PERC : Perkolasi, air yang keluar dari sistem menuju lapisan di bawahnya, akhirnya menjadi leachate
- P : Presipitasi rata – rata bulanan dari data tahunan
- RO : Limpasan permukaan (*runoff*) rata – rata bulanan dihitung dari presipitasi serta koefisien limpasan
- AET : Aktual evapotranspirasi, menyatakan banyaknya air yang hilang secara nyata dari bulan ke bulan
- ΔST : Perubahan simpanan air dalam tanah dari bulan ke bulan, yang terkait dengan *soil moisture storage*
- ST : *Soil moisture storage*, merupakan banyaknya air yang tersimpan dalam tanah pada saat keseimbangan
- I : Infiltrasi, jumlah air terinfiltrasi ke dalam tanah
- APWL : *Accumulated potential water loss*, merupakan nilai negatif dari (I – PET) yang merupakan kehilangan air secara kumulasi
- I – PET : Nilai infiltrasi dikurang potensi evapotranspirasi, nilai negatif menyatakan banyaknya infiltrasi air yang gagal untuk dipasok pada tanah, sedang nilai positif adalah kelebihan air selama periode tertentu untuk mengisi tanah
- PET : Potensial evapotranspirasi, dihitung berdasarkan atas nilai rata – rata bulanan dari data tahunan



Gambar 2.4 Input – Output konsep neraca air.

(Sumber : pengolahan sampah modul 2 direktorat pengembangan PLP,direktorat jenderal cipta karya, kementerian pekerjaan umum, 2011)

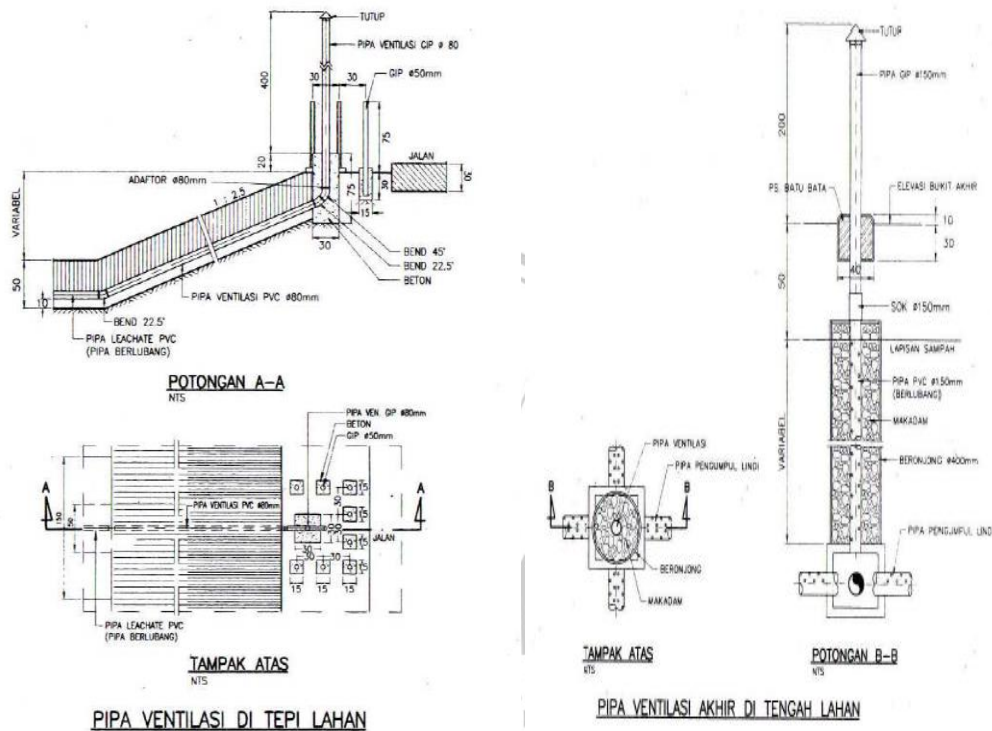
2.11 Instalasi Gas Metan

Ventilasi gas yang berfungsi untuk mengalirkan dan mengurangi akumulasi tekanan gas mempunyai kriteria teknis :

- 1) Pipa ventilasi dipasang dari dasar TPA secara bertahap pada setiap lapisan sampah dan dapat dihubungkan dengan pipa pengumpul lindi
- 2) Pipa ventilasi gas berupa pipa HDPE atau pipa HDPE yang tahan terhadap tekanan diameter 150 mm (diameter lubang perforasi maksimum 1,5 cm) yang dikelilingi oleh saluran bronjong berdiameter 400 mm dan diisi batu pecah diameter 50-100 mm.
- 3) Ketinggian pipa ventilasi tergantung pada rencana tinggi timbunan (setiap lapisan sampah ditambah 50 cm)
- 4) Pipa ventilasi pada akhir timbunan harus ditambah dengan pipa besi diameter 150 mm
- 5) Gas yang keluar dari ujung pipa besi harus dibakar atau dimanfaatkan sebagai energi alternatif.
- 6) Jarak antar pipa ventilasi gas 50 – 70 m

- 7) Pada sistem lahan urug saniter, gas bio harus dialirkan ke pipa penangkap gas melalui ventilasi sistem penangkap gas, lalu dibakar pada gas *flare*. Sangat dianjurkan menangkap gas bio tersebut untuk dimanfaatkan.
- 8) Metode untuk membatasi dan menangkap pergerakan gas adalah :
- a. Menempatkan materi impermeable pada atau di luar perbatasan lahan urug untuk menghalangi aliran gas
 - b. Menempatkan materi granular pada atau di luar perbatasan lahan urug (perimeter) untuk penyaluran dan atau pengumpulan gas
 - c. Pembuatan sistem ventilasi penangkap gas di dalam lokasi ex- TPA
- 9) Sistem penangkapan gas dapat berupa :
- a. Ventilasi horizontal: yang bertujuan untuk menangkap aliran gas dalam dari satu sel atau lapisan sampah
 - b. Ventilasi vertikal: merupakan ventilasi yang mengarahkan dan mengalirkan gas yang terbentuk ke atas
 - c. Ventilasi akhir: merupakan ventilasi yang dibangun pada saat timbunan akhir sudah terbentuk, yang dapat dihubungkan pada pembakar gas (gas *flare* atau dihubungkan dengan sarana pengumpul gas untuk dimanfaatkan lebih lanjut. Perlu dipahami bahwa potensi gas pada ex-TPA ini sudah mengecil sehingga mungkin tidak mampu untuk digunakan dalam operasi rutin.

Contoh detail pipa ventilasi pipa gas metan dapat dilihat pada Gambar 2.5



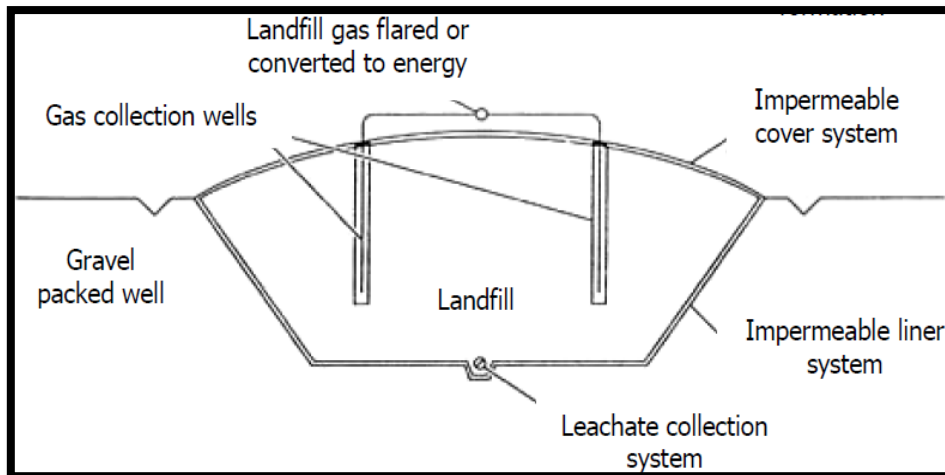
Gambar 2.5 detail pipa ventilasi gas metan

(Sumber : Lampiran III Peraturan Menteri Pekerja Umum No.3 Tahun 2013)

Ketika gas mulai dihasilkan maka tekanan didalam *landfill* akan meningkat sehingga memungkinkan adanya pergerakan gas di dalam *landfill*. Pergerakan gas bisa terjadi secara *vertical* dan *horizontal*. Jika tekanan diluar (barometrik) lebih kecil dibandingkan tekanan di dalam maka gas akan cenderung bergerak kearah *vertical* dan keluar, sedangkan jika tekanan diluar lebih besar maka gas cenderung bertahan di dalam *landfill*, sampai mencapai keseimbangan tekanan. Pergerakan gas sangat sulit untuk diprediksikan dari beberapa penelitian diketahui pergerakan gas metan kearah *horizontal* dapat mencapai jarak lebih dari 1500 feet.

Gas yang dihasilkan selama proses dekomposisi tidak boleh lepas begitu saja ke udara karena gas methan yang dihasilkan jika kontak dengan udara $> 5\%$ akan menimbulkan ledakan, sehingga diperlukan control dan monitoring terhadap *landfill* gas. Control gas secara umum dapat dilakukan dengan pembakaran gas atau memanfaatkan sebagai sumber energi. Terutama untuk gas metan bisa

dimanfaatkan sebagai sumber energi yang sangat potensial. Untuk mengetahui control gas pada TPA maka dapat dilihat gambar sumur gas yang umumnya berada di TPA seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6 contoh sumur gas yang berada di TPA

(Sumber : pengolahan sampah modul 1 direktorat pengembangan PLP, direktorat jenderal cipta karya, kementerian pekerjaan umum, 2011)

2.12 Drainase

Drainase TPA berfungsi untuk mengurangi volume air hujan yang jatuh pada area timbunan sampah. Ketentuan teknis drainase TPA ini adalah sebagai berikut :

- Jenis drainase dapat berupa drainase permanen (jalan utama, disekeliling timbunan terakhir, daerah kantor, gudang, bengkel, tempat cuci) dan drainase sementara (dibuat secara lokal pada zona yang akan diopersikan)
- Kapasitas saluran dihitung dalam persamaan manning :

$$Q = V \times A$$

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Dimana :

Q : Debit aliran air hujan (m³/det)

A : Luas penampang basah saluran (m²)

V : Kecepatan aliran air dalam saluran (m/dt)

R : Jari – jari hidrolis (m) = A/P

S : Kemiringan garis energy (m/m)

n : Konstanta

P : keliling basah (m)

Untuk mengetahui nilai kekerasan manning sendiri dapat dilihat dari Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Koefisien kekasaran manning

No	Bahan Saluran	n
1	Pasangan batu bata diplester halus	0,01 – 0,015
2	Pasangan batu bata tidak diplester	0,012 – 0,018
3	Pasangan batu kali dihaluskan	0,017 – 0,03
4	Pasangan batu kali tidak dihaluskan	0,023 – 0,035
5	Beton dihaluskan (<i>finished</i>)	0,011 – 0,015
6	Beton cetak tidak dihaluskan (<i>unfinished</i>)	0,014 – 0,02
7	Beton pada galian beton yang rapi	0,017 – 0,02
8	Beton pada galian beton yang tidak dirapikan	0,022 – 0,027
9	Tanah galian yang rapi	0,016 – 0,02
10	Tanah galian berbatu yang dirapikan	0,022 – 0,03
11	Tanah galian yang sedikit ditumbuhi rumput	0,022 – 0,033
12	Galian pada batuan keras	0,025 – 0,04

(Sumber : Pengelolaan sampah modul 1 direktorat pengembangan PLP, direktorat jenderal cipta karya, kementerian pekerjaan umum, 2011)

Antisipasi adanya fluktuasi debit aliran air dan ketinggian air akibat peningkatan curah hujan maupun pengaruh gelombang, dapat menggunakan rumus :

$$F = c \cdot h$$

Keterangan :

F : Tinggi jagaan (m)

c : koefisien nilai 0,5 – 0,3

h : kedalaman air dalam satuan (m)

2.13 Curah Hujan

Data curah hujan diperoleh dari stasiun pengukur hujan terdekat. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum. Untuk mendapatkan hasil analisis yang akurat diperlukan setidaknya 20 data hujan harian maksimum terbaru (20 tahun terakhir). Secara umum, jumlah debit aliran permukaan yang dihasilkan oleh curah hujan yang harus dialirkan melalui saluran drainase dapat ditentukan dengan persamaan :

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Keterangan :

Q : Debit Limpasan (m^3/dt)

C : koefisien Limpasan

I : Intensitas Hujan

A : Luas daerah pelayanan tiap saluran (ha)

0,278 : Faktor konversi

Luas daerah pelayanan tiap saluran merupakan daerah dimana semua air hujan di daerah tersebut mengalir masuk kedalam saluran tertentu/ yang diinginkan. Untuk menentukan daerah ini serta arah aliran setiap saluran, mulai dari saluran terkecil sampai saluran terbesar, diperlukan data topografi dengan skala minimal 1 : 20.000. peta topografi dengan skala 1 : 5.000 lebih diinginkan.

Koefisien pengaliran C ditentukan berdasarkan penutupan lahan di daerah perencanaan. Pedoman penentuan nilai C disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Nilai koefisien Limpasan, C pada lokasi TPA

Penutupan Lahan	C
Lahan terbuka:	
• Tanah berpasir, lahan datar, 2%	0,05 – 0,10
• Tanah berpasir, lahan landai, 2% - 7%	0,10 – 0,15
• Tanah berpasir, lahan miring, > 7%	0,15 – 0,20
• Tanah berat, lahan datar, 2%	0,13 – 0,17
• Tanah berat, lahan landai, 2% - 7%	0,18 – 0,22
• Tanah berat, lahan miring, > 7%	0,25 – 0,35
Taman	0,10 – 0,40
Kantor, rumah jaga, bengkel, gudang, garasi, bangunan tertutup lainnya	0,6 – 0,75
Jalan lingkungan, lahan parkir:	
• Aspal	0,70 – 0,95
• Beton	0,80 – 0,95
• Batu bata/paving stone	0,6 – 0,85

(Sumber : pengelolaan sampah modul 1 direktorat pengembangan PLP, direktorat jenderal cipta karya, kementerian pekerjaan umum, 2011)

Curah hujan dapat ditentukan dengan data curah hujan dengan durasi (lama hujan) tertentu. Bila data ini tidak diperoleh, cara yang umum digunakan adalah dengan mencari hubungan antara curah hujan dengan durasi hujan. Salah satu metode yang digunakan adalah metode Bell.

Perhitungan metode Bell dengan menggunakan durasi hujan 1 jam (60 menit) dan kala ulang hujan selama 10 tahun.

$$R_t = (0,2 \ln T + 0,52) (0,54 t^{0,25} - 0,5) \cdot R$$

Keterangan :

R_t : Curah hujan (mm)

T : periode ulang (thn)

t : durasi hujan (menit)

Intensitas hujan dapat ditentukan dengan mencari data waktu konsentrasi atau T_c . T_c atau waktu konsentrasi adalah waktu terpanjang yang dibutuhkan untuk seluruh daerah layanan dalam menyalurkan aliran air secara simultan (runoff) setelah melewati titik – titik tertentu.

$$T_c = t_o + t_d$$

$$t_o = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times l_o \times \frac{nd}{\sqrt{S}} \right)^{0,167}$$

$$t_d = \frac{L}{60 \times V}$$

Keterangan :

T_c : waktu konsentrasi (menit)

t_o : waktu untuk mencapai awal saluran dari titik terjauh (menit)

t_d : waktu aliran dalam saluran sepanjang L dari ujung saluran (menit)

l_o : jarak titik terjauh ke fasilitas drainase (m)

L : panjang saluran (m)

nd : koefisien hambatan (tabel 2.4)

S : kemiringan saluran (%)

V : kecepatan air rata – rata pada saluran drainase (m/detik)

Nilai nd atau koefisien hambatan untuk mendapatkan nilai t_o atau waktu untuk mencapai awal saluran dari titik terjauh bisa didapatkan dari tabel 2.4 dibawah ini :

Tabel 2.4 Koefisien hambatan (nd) berdasarkan kondisi permukaan

No.	Kondisi lapis permukaan	nd
1	Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan licin dan kedap air	0,020
3	Permukaan licin dan kokoh	0,100
4	Tanah dgn rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,200
5	Padang rumput dan rerumputan	0,400
6	Hutan gundul	0,600
7	Hutan rimbum dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,800

(Sumber : Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan Sistem Drainase Jalan,2006)

Untuk nilai kecepatan aliran air rata – rata pada saluran drainase atau V , bias didapatkan dari tabel 2.5 berikut ini :

Tabel 2.5 Kecepatan aliran air yang diijinkan berdasarkan jenis material

No.	Jenis bahan	Kecepatan aliran air yang diijinkan (m/detik)
1.	Pasir halus	0,45
2.	Lempung kepasiran	0,50
3.	Lanau aluvial	0,60
4.	Kerikil halus	0,75
5.	Lempung kokoh	0,75
6.	Lempung padat	1,10
7.	Kerikil kasar	1,20
8.	Batu-batu besar	1,50
9.	Pasangan batu	1,50
10.	Beton	1,50
11.	Beton bertulang	1,50

(Sumber : Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan Sistem Drainase Jalan,2006)

Dari rumus diatas maka dapat dicari intensita hujan dengan menggunakan metode mononobe yaitu dengan rumus berikut :

$$I = \frac{R24}{24} \times \left(\frac{24}{tc}\right)^{2/3}$$

Keterangan :

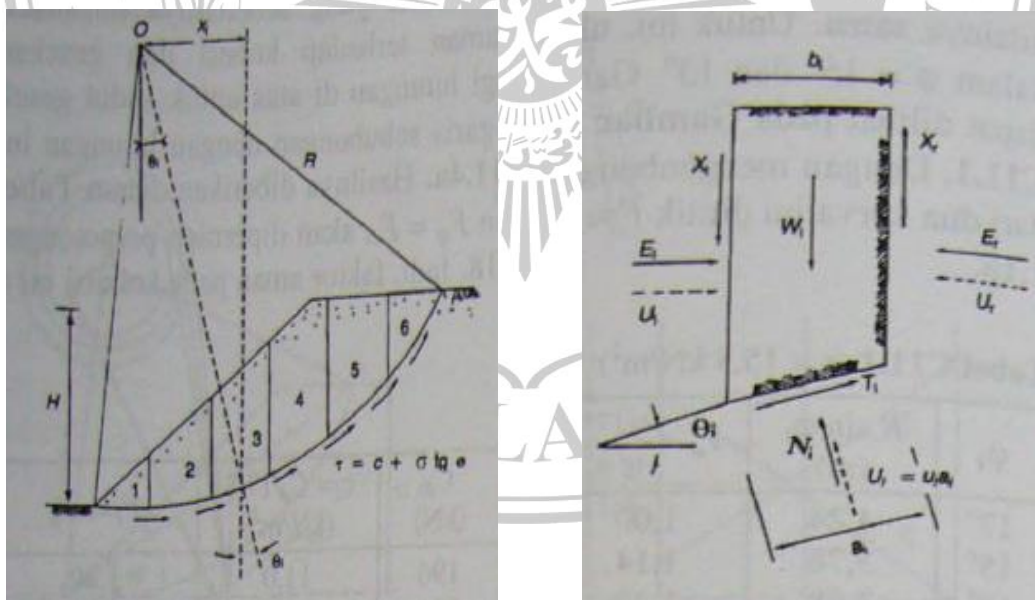
I : intensitas hujan (mm/jam)

R_{24} : curah hujan harian maksimum tahunan untuk kala ulang t tahun

t_c : waktu konsentrasi (jam)

2.14 Stabilitas Lereng / Talud

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah kebawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini disebut analisis stabilitas lereng. Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan. Beberapa contoh gaya irisan pada lereng dapat dilihat di Gambar 2.7.



Gambar 2.7 gaya – gaya yang bekerja pada irisan

(Sumber : Mekanika Tanah 2 edisi ketiga, 2003)

Ada beberapa metode dalam menghitung analisis stabilitas lereng. Salah satunya adalah metode *Fellinius*. Analisis dengan menggunakan metode *Fellinius* (1927) menganggap gaya – gaya yang bekerja pada sisi kanan – kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Keseimbangan arah vertical dan gaya – gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori adalah :

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i$$

Atau

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \end{aligned}$$

Faktor aman didefinisikan sebagai,

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

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

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

$$\sum M_d = R \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i$$

Keterangan :

R : jari – jari lingkaran bidang longsor

n : jumlah irisan

W_i : berat massa tanah irisan ke-i

θ_i : sudut yang didefinisikan

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor, adalah :

$$\Sigma M_r = R \Sigma_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \varphi)$$

Sehingga persamaan untuk faktor aman menjadi :

$$F = \frac{\Sigma_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \varphi)}{\Sigma_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Bila terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (M_d), karena resultan gaya akibat tekanan pori lewat titik pusat lingkaran. Maka dapat diperoleh rumus :

$$F = \frac{\Sigma_{i=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{\Sigma_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Keterangan :

F : faktor aman

c : kohesi tanah (kN/m^2)

φ : sudut gesek dalam tanah (derajat)

a_i : panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-I (m)

W_i : berat irisan tanah ke-I (kN)

u_i : tekanan air pori pada irisan ke-I (kN/m^2)

θ_i : sudut yang didefinisikan (derajat)

jika terdapat gaya – gaya selain berat tanahnya sendiri, seperti beban bangunan di atas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai M_d .

Metode Fellenius menghasilkan faktor aman yang lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Batas – batas nilai kesalahan dapat mencapai kira – kira

5% sampai 40% tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori. Walaupun analisa ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahan masih merupakan fungsi dari faktor aman dan sudut pusat lingkaran (Whitman dan Baily, 197). Cara ini telah banyak digunakan dalam praktek, karena cara hitungan sederhana dan kesalahan yang terjadi pada sisi yang aman.

