PEMROSESAN AKHIR SAMPAH

1. Pemrosesan Akhir Sampah

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan tempat dimana sampah mencapai tahap terakhir dalam pengelolaannya sejak mulai timbul di sumber, pengumpulan, pemindahan/ pengangkutan, pengolahan dan pembuangan. TPA merupakan tempat dimana sampah diisolasi secara aman agar tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan sekitarnya. Karenanya diperlukan penyediaan fasilitas dan perlakuan yang benar agar keamanan tersebut dapat dicapai dengan baik.

Berdasarkan data SLHI tahun 2007 tentang kondisi TPA di Indonesia, sebagian besar merupakan tempat penimbunan sampah terbuka (*open dumping*) sehingga menimbulkan masalah pencemaran pada lingkungan. Data menyatakan bahwa 90% TPA dioperasikan dengan *open dumping* dan hanya 9% yang dioperasikan dengan *controlled landfill* dan sanitary *landfill.* Perbaikan kondisi TPA sangat diperlukan dalam pengelolaan sampah pada skala kota. Beberapa permasalahan yang sudah timbul terkait dengan operasional TPA yaitu (Damanhuri, 1995):

1. Pertumbuhan vektor penyakit
   Sampah merupakan sarang yang sesuai bagi berbagai vektor penyakit. Berbagai jenis rodentisida dan insektisida seperti, tikus, lalat, kecoa, nyamuk, sering dijumpai di lokasi ini.
2. Pencemaran udara
   Gas metana (CH_4) yang dihasilkan dari tumpukan sampah ini, jika konsentrasinya mencapai 5 – 15 % di udara, maka metana dapat mengakibatkan ledakan
3. Pandangan tak sedap dan bau tak sedap
   Meningkatnya jumlah timbulan sampah, selain sangat mengganggu estetika, tumpukan sampah ini menimbulkan bau tak sedap
4. Asap pembakaran
   Apabila dilakukan pembakaran, akan sangat mengganggu terutama dalam transportasi dan gangguan kesehatan
5. Pencemaran *leachate*
   Leachate merupakan air hasil dekomposisi sampah, yang dapat meresap dan mencemari air tanah.

6. Kebisingan
   Gangguan kebisingan ini lebih disebabkan karena adanya kegiatan operasi kendaraan berat dalam TPA (baik angkutan pengangkut sampah maupun kendaraan yang digunakan meratakan dan atau memadatkan sampah).
7. Dampak sosial
   Keresahan warga setempat akibat gangguan-gangguan yang disebutkan di atas.

Terkait dengan permasalahan diatas PP no 16/2005 tentang Pengembangan Penyediaan Air Minum mensyaratkan bahwa penanganan sampah yang memadai perlu dilakukan untuk perlindungan air baku air minum. TPA wajib dilengkapi dengan zona penyangga dan metode pembuangan akhirnya dilakukan secara *sanitary landfill* (kota besar/metropolitan) dan *controlled landfill* (kota sedang/kecil). Perlu dilakukan pemantauan kualitas hasil pengolahan *leachate* (efluen) secara berkala. Regulasi berdasarkan UU No. 18 / 2008 mengisyaratkan ketentuan penutupan TPA *open dumping* menjadi *sanitary landfill* dalam waktu 5 (lima) tahun, sehingga diperlukan berbagai upaya untuk melakukan revitalisasi TPA.

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 pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman. Selain itu di lokasi 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):

- Pemilahan sampah
- Daur-ulang sampah non-hayati (an-organik)
- Pengomposan sampah hayati (organik)
- Pengurugan/penimbunan sampah residu dari proses di atas di lokasi pengurugan atau penimbunan (*landfill)*

Pada unit materi ini akan lebih banyak dijelaskan mengenai *landfill* berserta inovasi proses dan perancangan *landfill*. *Landfill* merupakan suatu kegiatan penimbunan sampah padat pada tanah. Jika tanah memiliki muka air yang cukup dalam, tanah bisa digali, dan sampah bisa ditimbun didalamnya. Metode ini kemudian dikembangkan menjadi *sanitary landfill* yaitu penimbunan sampah dengan cara yang sehat dan tidak mencemari lingkungan. Sanitary *landfill* didefinisikan sebagai sistem penimbunan sampah secara sehat dimana sampah dibuang di tempat 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 *landfill* dibutuhkan karena:

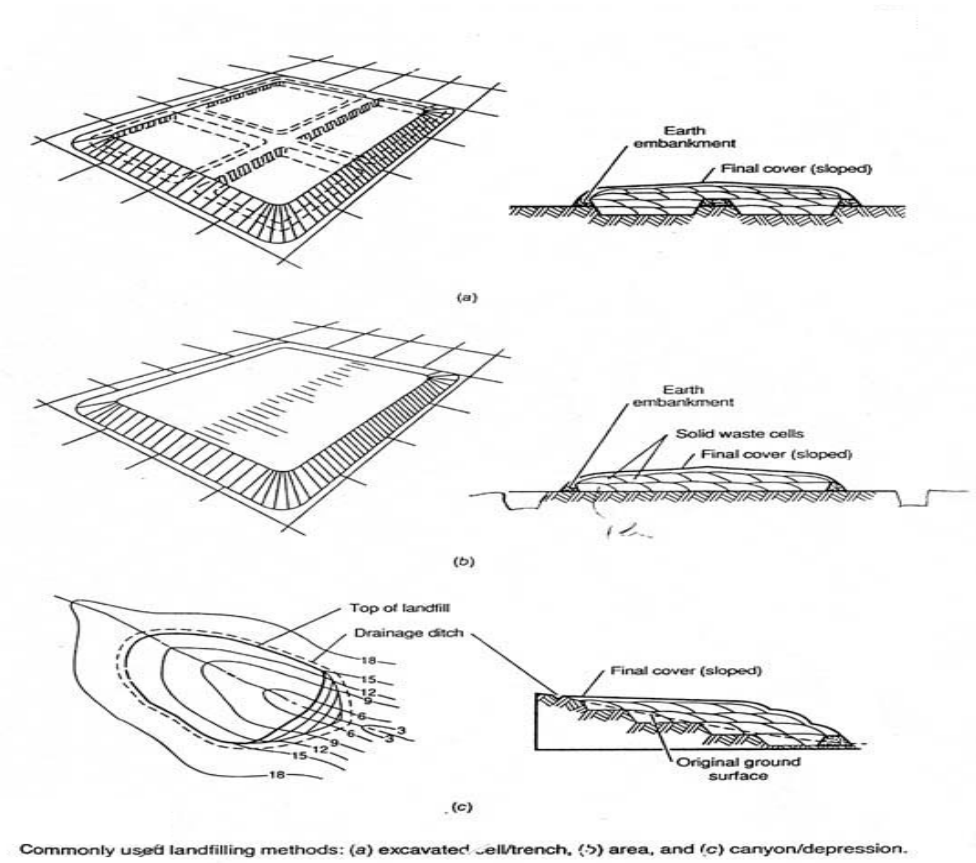
- Pengurangan limbah di sumber, daur ulang atau minimasi limbah tidak dapat menyingkirkan seluruh limbah
- Pengolahan limbah biasanya menghasilkan residu yang harus ditangani lebih lanjut
- Kadangkala limbah sulit diuraikan secara biologis, sulit diolah secara kimia, atau sulit untuk dibakar

Beberapa hal yang sangat diperhatikan dalam operasional sanitary *landfill* adalah adanya pengendalian pencemaran yang mungkin timbul selama operasional dari *landfill* seperti adanya pengendalian gas, pengolahan *leachate* dan tanah penutup yang berfungsi mencegah hidupnya vector penyakit.

Berdasarkan peletakkan sampah di dalam sanitary *landfill*, maka klasifikasi dari *landfill* dapat dibedakan menjadi (Gambar1) :

a. Mengisi Lembah atau cekungan.
   Metode ini biasa digunakan untuk penimbunan sampah yang dilakukan pada daerah lembah, seperti tebing, jurang, cekungan kering, dan bekas galian. Metode ini dikenal 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 yang digunakan, dan sarana menuju lokasi.
b. Mengupas Lahan secara bertahap
   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.
c. Menimbun Sampah di atas lahan.
   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

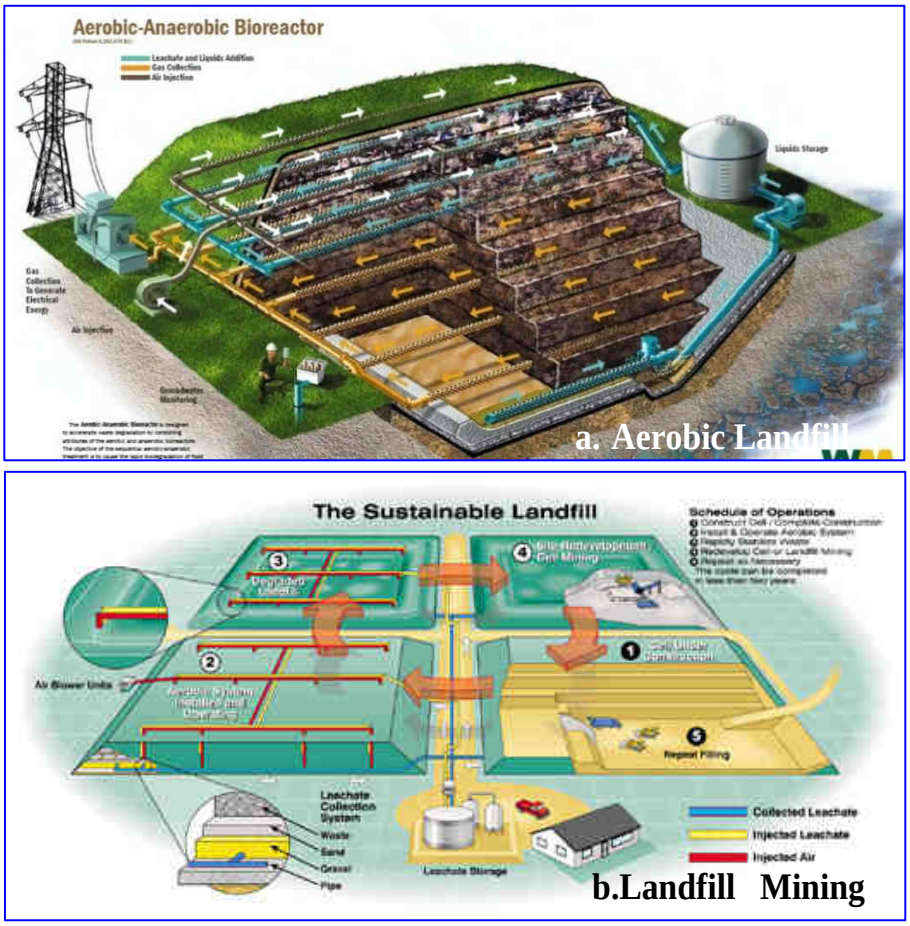


Gambar 1. Klasifikasi *Landfill* Berdasarkan Metode Peletakkan Sampah

Beberapa penelitian dan perencanaan sanitary *landfill* melakukan berbagai upaya inovasi untuk memperbaiki proses degradasi sampah di dalam *landfill*, antara lain (Gambar 2):

a. *Landfill semi anaerobic*, yang berfungsi untuk mempercepat proses degradasi sampah dan mengurangi dampak negatif dari *leachate* dengan melakukan proses resirkulasi *leachate* ke dalam tumpukan sampah. *Leachate* dianggap sebagai nutrisi sebagai sumber makanan bagi mikoorganisme di dalam sampah.
b. *Landfill aerobic*, dengan menambahkan oksigen ke dalam tumpukan sampah di sanitary *landfill* yang berfungsi mempercepat proses degradasi sampah sehingga mendapatkan material stabil seperti kompos.

c. *Reusable landfill* atau *landfill mining and reclamation.* Definisi dari proses ini adalah sebuah sistem pengolahan sampah yang berkesinambungan dengan menggunakan metode *Supply* Ruang Penampungan Sampah. Proses ini sering digunakan dalam revitalisasi TPA, dimana material yang dapat digali dari TPA yang lama akan dimanfaatkan. Bekas galian TPA akan dirancang untuk menerima sampah kembali dengan konsep *sanitary landfill*.



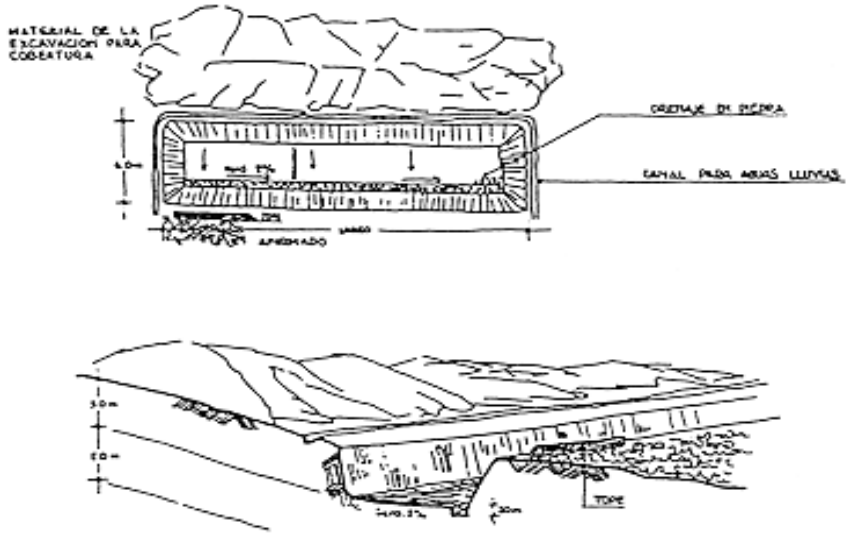
Gambar 2. Berbagai Inovasi Proses di dalam *Landfill*

2. Metode Pengurugan

Metode pengurugan sampah berdasarkan kondisi topografi, sumber materi penutup dan kedalaman air tanah dibedakan metode *trench* dan *area.*

1. Metode *trench* atau *ditch*

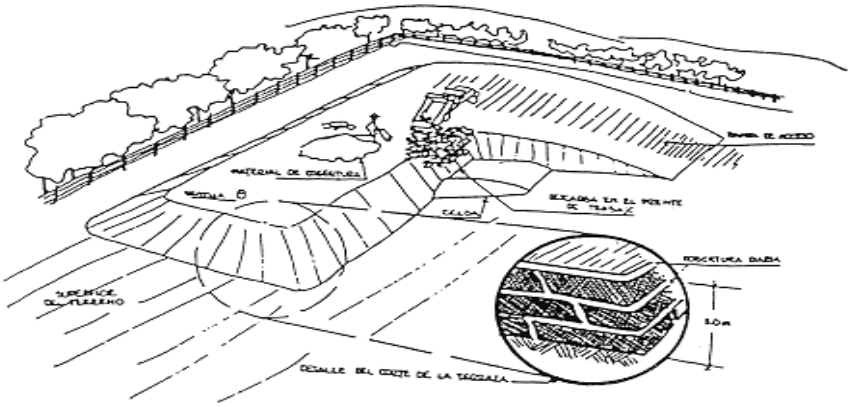
Metode ini diterapkan ditanah yang datar. Dilakukan penggalian tanah secara berkala untuk membuat parit sedalam dua sampai 3 meter. Tanah disimpan untuk dipakai sabagai bahan penutup. Sampah diletakan di di dalam parit, disebarkan, dipadatkan dan ditutup dengan tanah.



Gambar 3. Pengurugan Metode *Trench* atau *Ditch*

2. Metode Area

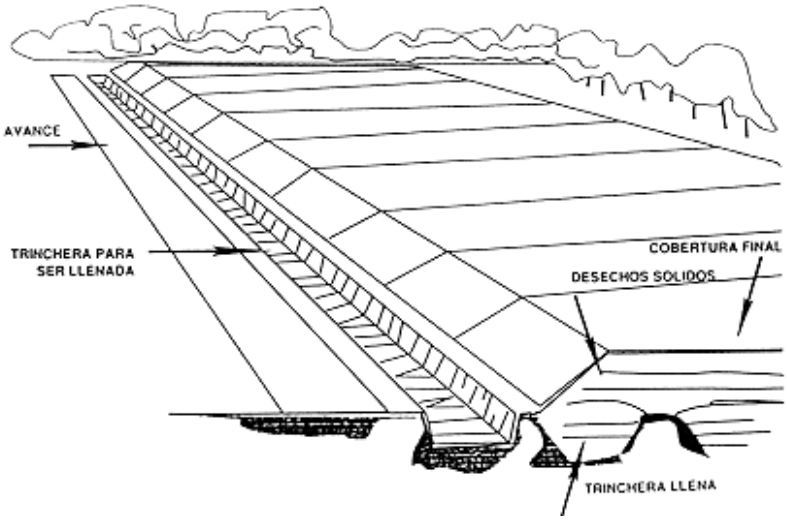
Untuk area yang datar dimana parit tidak bisa dibuat, sampah disimpan langsung diatas tanah asli smapai ketinggian beberapa meter. Tanah penutup bisa diambil dari luar TPA atau diambil dari bagian atas tanah.



Gambar 4. Pengurugan Metode Area

3. Kombinasi kedua metode

Karena kedua cara ini sama dalam pengurugannya, maka keduanya dapat dikombinasikan agar pemanfaatan tanah dan bahan penutup yang baik serta meningkatkan kinerja operasi.



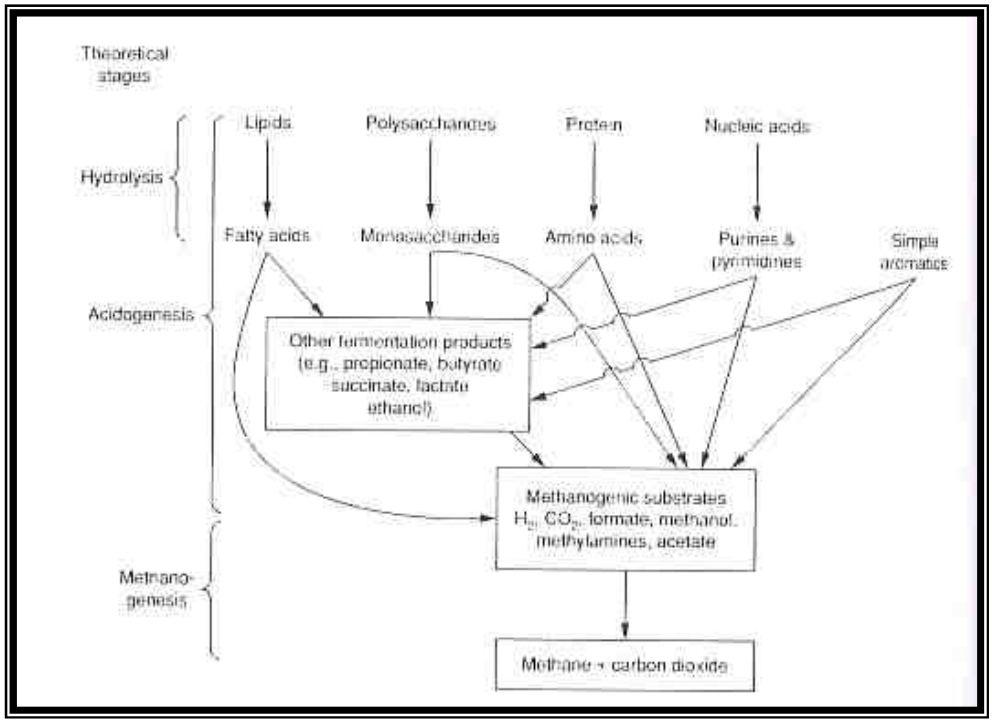
Gambar 5. Pengurugan Metode Kombinasi

3. Pembentukan Gas di dalam *Landfill*

Landfill gas dihasilkan dari proses dekomposisi sampah yang tertimbun di dalam *landfill* oleh aktivitas mikroorganisme. Proses dekomposisi berlangsung secara anaerobik dengan melalui beberapa tahapan yaitu :

a. *Hydrolisis* yaitu pemecahan rantai karbon panjang menjadi rantai karbon yang lebih sederhana pada proses degradasi sampah oleh mikroorganisme.
b. Acidogenesis, dari senyawa dengan rantai karbon yang lebih pendek dirubah menjadi asam asam organik akibat adanya aktivitas dari mikroorgansime acidogen.
c. Methanogenesis, adalah tahap degradasi yang menghasilkan gas methan dan gas lain akibat aktivitas mikrooganisme pembentuk methan.

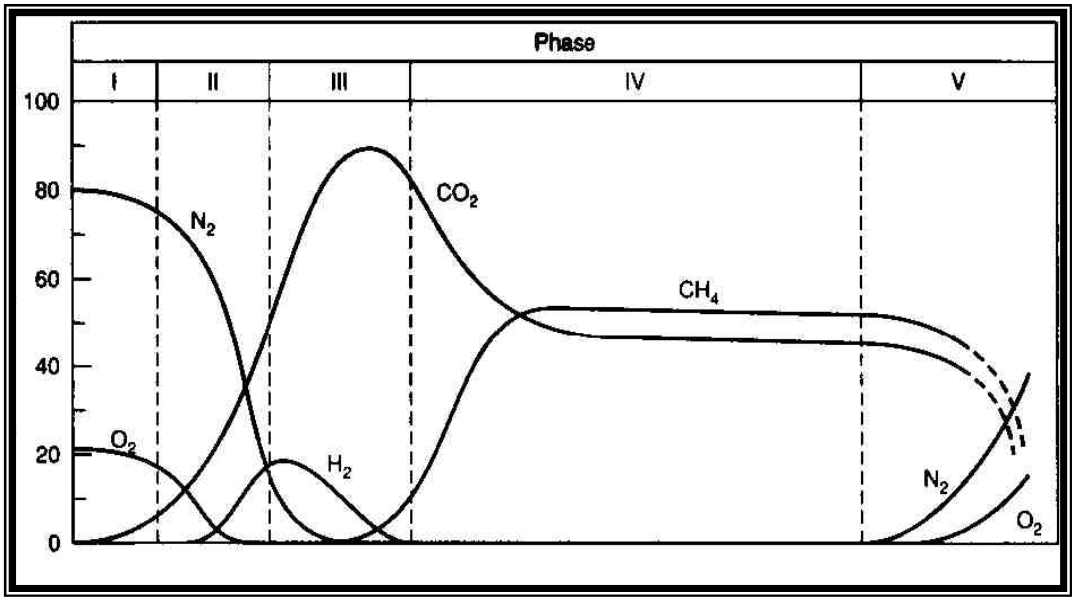
Secara umum dekomposisi sampah di dalam *landfill* berlangsung secara anaerobik dan tahapan proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Degradasi Sampah Secara Anaerobik

Proses dekomposisi sampah secara anerobik seperti yang disebutkan diatas akan membentuk gas. Komposisi gas yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh mikroorganisme yang mendekomposisi sampah dan secara umum gas yang dihasilkan sangat tekait dengan fase-fase penguraian sampah secara anerobik (Gambar 7).

Pada tahap awal disebut dengan fase aerobik, dimana terjadi saat awal penimbunan sampah di TPA dan oksigen masih ada di dalam tumpukan sampah. Fase kedua dan ketiga disebut dengan fase transisi asam yang terkait erat dengan proses acidogenesis dan mulai terbentuk gas CO_2. Gas mulai terbentuk pada tahap metagonesis yaitu fase ke-4 yang menghasilkan CH_4 dan CO_2. Fase ke-5 adalah fase pematangan dimana sampah sudah menjadi produk yang lebih stabil.



Gambar 7. Tahapan Pembentukan Gas

Karakteristik gas yang dihasilkan dari proses dekomposisi sampah ditentukan oleh karakteristik sampah yang ditimbun. Unsur-unsur pokok gas yang timbul dari hasil dekomposisi sampah dapat dilihat pada Tabel 1.

Komposisi terbesar dari gas yang dihasilkan adalah gas methan (CH_4) dan karbon diokasida (CO_2). Gas-gas ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang sangat potensial dan jika tidak dikelola dengan baik juga akan menimbulkan pencemaran. Gas methan dan CO_2 merupakan salah satu gas yang mempunyai kontribusi terhadap Gas

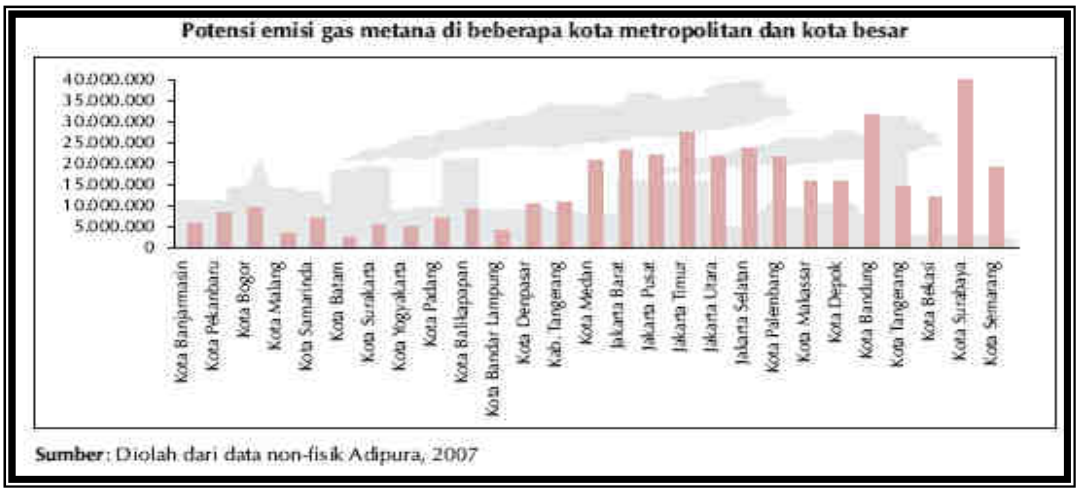
Rumah Kaca (GRK). Berdasarkan data penelitian yang telah banyak dilakukan gas methan mempunyai kekuatan 21 kali lebih kuat dalam menyimpan panas dibandingkan dengan gas CO_2.

Tabel 1. Unsur-unsur pokok yang timbul pada sampah *landfill*

Komponen	**Persen (volume kering)**
Methan	45 – 60
Karbon dioksida	40 – 60
Nitrogen	2 – 5
Oksigen	0.1 – 1.0
Sulfida, disulfida, merchaptan, dll.	0 – 1.0
Ammonia	0.1 – 1.0
Hidrogen	0 – 0.2
Karbon monoksida	0 – 0.2
Unsur-unsur lain	0.01 – 0.6
Karakteristik	**Nilai**
Temperatur, ° F	100 – 120
Specific gravitasi	1.02 – 1.06
Kelembaban	saturated
Angka pembakaran, Btu / sft^3	400 – 550

Sumber : Tchobanoglous et al., 1993

Kondisi ini yang menyebabkan pengelolaan sampah di *landfill* merupakan salah satu kontributor dalam penyebab pemanasan global. Berdasarkan data SLHI tahun 2007, diketahui bahwa pengelolaan sampah di *landfill* yang tidak mengelola gas dengan baik menyumbang 3% efek pemasan global di Indonesia. Gambar 8 menunjukkan data gas methan yang dihasilkan dari lokasi *landfill* di berbagai kota di Indonesia.



Gambar 8. Potensi Gas Methan Dari *Landfill* di Kota-Kota Besar di Indonesia

Terkait dengan hal ini Rencana Aksi Nasional (RAN) Perubahan Iklim dalam skala nasional memasukkan upaya pengelolaan gas di *landfill* sebagai salah satu upaya mitigasi untuk mengurangi pemanasan global. Gas methan yang dihasilkan harus dikelola dengan baik dan bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Produksi gas yang dihasilkan pada *landfill* sangat bergantung dari komposisi sampah yang ada. Timbulan gas *landfill* akan dihitung berdasarkan berat kering masing-masing komposisi sampah, dimana persamaan timbulannya diperoleh dari persamaan kimia sebagai berikut:

$$C_aH_bO_cN_d + \left(\frac{4a-b-2c+3d}{4}\right)H_2O \rightarrow \left(\frac{4a+b-2c-3d}{8}\right)CH_4 + \left(\frac{4a-b+2c+3d}{8}\right)CO_2 + dNH_3$$

Secara teoritis berdasarkan reaksi kimia ini maka gas CH_4 dan CO_2 merupakan gas yang paling dominan dihasilkan dari proses degradasi sampah secara anerobik ini. Jumlah atau produksi gas yang dihasilkan sangat tergantung dari beberapa faktor yaitu:

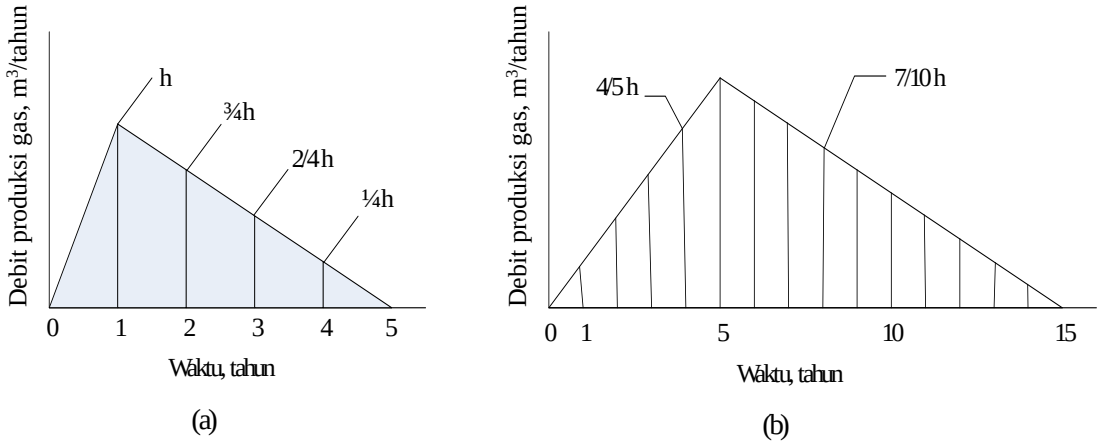
a. Unsur-unsur pembentukan sampah seperti karbon, hidrogen dan nitrogen serta oksigen yang diperoleh dari analysis karakteristik sampah yaitu ultimate analysis.

b. Tergantung dari kecepatan degradasi sampah yang dibedakan atas sampah yang cepat terurai dan lambat terurai. Waktu untuk penguraian bahan organik yg mudah terurai adalah 5 tahun, sedangkan waktu penguraian bahan organik yang lambat terurai adalah 15 tahun (Tabel 2).

Tabel 2. Dekomposisi Sampah

Jenis Sampah	Cepat Terurai	Lambat Terurai
Basah (makanan)	√	
Kertas	√	
Plastik		√
Kain		√
Karet		√
Kayu		√
Lain-lain		√

Penentuan perhitungan juga didasarkan pada metode segitiga (Gambar 9).

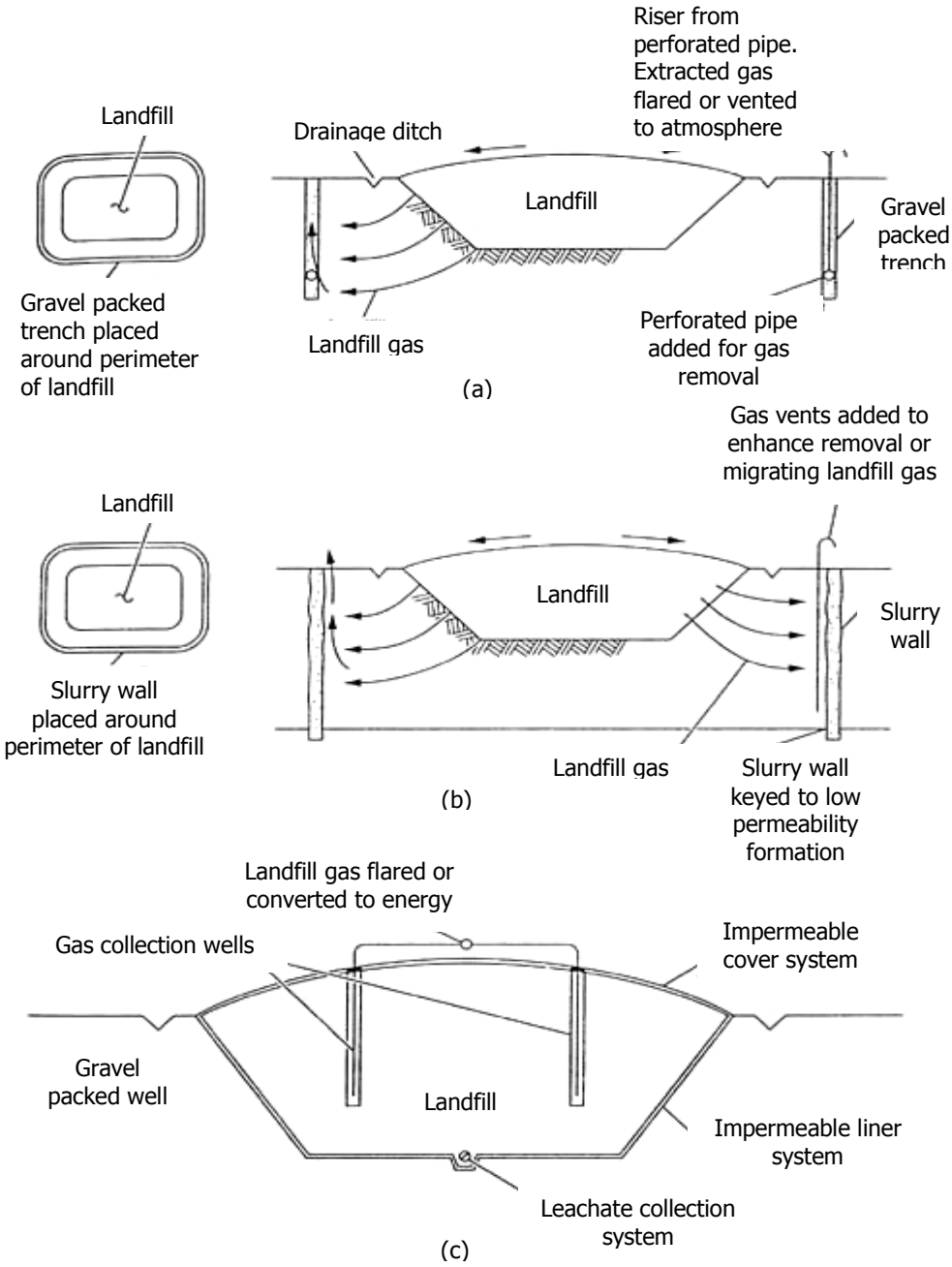


Gambar 9. Perhitungan pembentukan gas
a) Cepat terurai dan b) Lambat terurai

Ketika gas mulai dihasilkan maka tekanan di dalam *landfill* akan meningkat sehingga memungkinkan adanya pergerakan gas di dalam *landfill*. Pergerakan gas bisa terjadi secara vertikal dan horisontal, jika tekanan diluar (barometrik) lebih kecil dibandingkan tekanan di dalam maka gas akan cenderung bergerak ke arah vertikal 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 methan ke arah horisontal 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 kontol dan monitoring terhadap *Landfill* gas. Kontrol gas secara umum dapat dilakukan dengan pembakaran gas atau memanfaatkan sebagai sumber energi. Terutama untuk gas methan bisa dimanfaatkan sumber energi yang sangat potensial. Secara umum sistem kontrol gas dapat dibedakan secara aktif dan pasif (Gambar 10).



Passive facilities used for the control of landfill gas : (a) interceptor trench filled with gravel and perforated pipe; (b) perimeter barrier trench, and (c) used of impermeable liner in landfill. Note interceptor barrier perimeter trenches are used to control the off-site migration of landfill gas from existing unlined landfills.

Gambar 10. Fasilitas Kontrol Gas Pada *Landfill*

4. Pembentukan *Leachate*

Sampah yang dibuang ke *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 mengekstrasi material terlarut/tersuspensi dari sampah tersebut (Tchobanoglous, 1993). *Leachate* diproduksi ketika cairan melakukan kontak dengan sampah yang terutama berasal dari buangan domestik, dimana hal tersebut tidak dapat dihindari pada lahan pembuangan akhir. *Leachate* dihasilkan dari infiltrasi air hujan ke dalam tumpukan sampah di TPA dan dari cairan yang terdapat di dalam sampah itu sendiri. Apabila tidak terkontrol, *landfill* yang dipenuhi air *leachate* dapat mencemari air bawah tanah dan air permukaan

Pada umumnya *leachate* terdiri dari cairan yang merupakan hasil dekomposisi buangan dan cairan yang masuk ke *landfill* dari luar, misalnya air permukaan, air tanah, air hujan, dll. Masuknya cairan tersebut dapat menambah volume *leachate* yang kemudian disimpan dalam rongga antar komponen sampah dan akan mengalir jika memungkinkan. Sehingga berdasarkan material balance dari *leachate*, sumber utama *leachate* berasal sumber eksternal, seperti permukaan drainase, air hujan, air tanah, dan air dari bawah tanah, sedangkan sumber internal adalah cairan yang diproduksi dari dekomposisi sampah.

Pada umumnya karakteristik *leachate* adalah : cairan berwarna coklat, mempunyai kandungan organik (BOD,COD) tinggi, kandungan logam berat biasanya juga tinggi dan berbau septik. Komposisi zat kimia dari *leachate* berubah-ubah tergantung pada beberapa hal antara lain :

- Karakteristik dan Komposisi sampah
  Secara alami, fraksi organik sampah dipengaruhi oleh degradasi sampah dalam *landfill* dan juga kualitas *leachate* yang diproduksi. Hadirnya zat-zat beracun bagi bakteri akan memperlambat proses degradasi.
- Jenis tanah penutup *landfill*
  Porositas tanah penutup landfill akan mempengaruhi banyak tidaknya air hujan yang masuk ke dalamnya yang nantinya juga akan mempengaruhi jumlah leachate yang dihasilkan. Untuk itu diperlukan persyaratan khusus bagi tanah penutup harian maupun tanah penutup akhir.

- Musim
  Pergantian musim akan memberikan dampak yang berbeda pada jumlah produksi leachate dan juga konsentrasinya. Pada musim penghujan jumlah leachate yang dihasilkan umumnya akan lebih besar namun memiliki konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan pada saat musim kemarau karena air hujan yang masuk ke dalam *landfill* akan berperan sebagai pengencer.
- pH dan kelembaban
  Nilai pH akan mempengaruhi proses kimia yang merupakan basis dari transfer massa dalam sistem *leachate* sampah.
- Umur Timbunan (Usia *landfill)*
  Usia *landfill* dapat tercermin dari variasi komposisi *leachate* dan jumlah polutan yang terkandung. Umur *landfill* berpengaruh penentuan karakteristik *leachate* yang akan diatur oleh tipe proses stabilisasi.

Tipikal komposisi *leachate* dapat dilihat pada Tabel 3.

Dengan kandungan bahan organik dan bahan kimia yang tinggi pada *leachate*, jika tidak dilakukan pengolahan dengan baik akan menjadi sumber pencemar bagi badan air penerima, air tanah maupun topsoil tanah sebagai tempat tumbuhan mendapatkan nutrisi (Pfeffer, 1992). Keberadaan *leachate* tanpa pengolahan yang baik pada akhirnya akan menjadi sumber penyakit bagi penduduk sekitarnya. Kandungan logam berat yang tinggi juga akan sangat berbahaya, yang bisa menyebabkan cacat bahkan kematian. Seperti contoh, selain mencemari air tanah, sumur penduduk, juga bisa mencemari tambak, dimana *leachate* tersebut bersifat toksik terhadap ikan yang dibudidayakannya. Sehingga perlu dilakukan pengelolaan *leachate*. Gambar 11 Sistem penyaluran *leachate*.

Pada gambar di bawah lapisan dasar *landfill* dibagi atas beberapa seri yang berbentuk rectangular yang dipisahkan oleh lapisan tanah liat. Pipa penyaluran *leachate* ditempatkan diatas lapisan geomembran

Tabel 3. Tipikal Komposisi Leachete Dari *Landfill* Baru Dan *Landfill* Lama

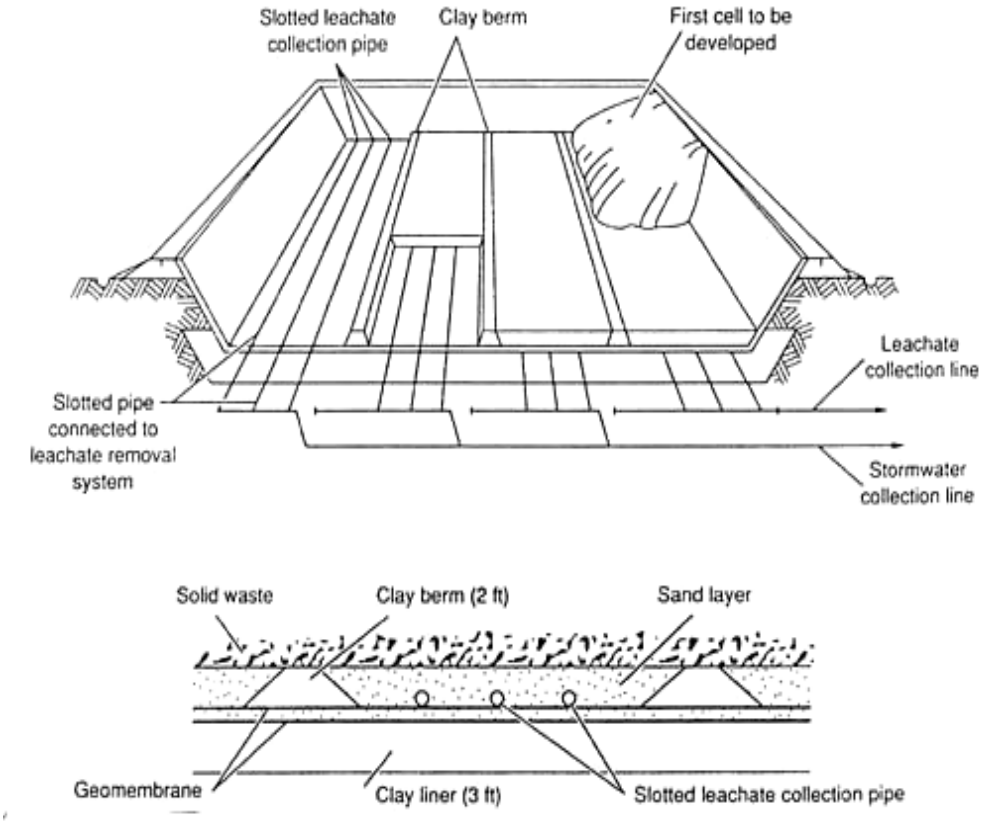
Unsur	**Angka satuan dalam (mg/L)**		
	***Landfill* baru (kurang dari 2 th)**		***Landfill* lama (> 10 th)**
	Range	**Tipikal**	
BOD_5 (Biochemical Oxygen Demand setelah 5 hari)	2000 – 30000	1000	100 – 200
TOC (Total Organic Carbon)	1500 – 20000	6000	80 – 160
COD (Chemical Oxygen Demand)	3000 – 60000	18000	100 – 500
Total suspended solid	200 – 2000	500	100 – 400
Nitrogen organik	10 – 800	200	80 – 120
Nitrogen ammonia	10 – 800	200	20 – 40
Nitrat	5 – 40	25	5 – 10
Total phosphorus	5 – 100	30	5 – 10
Ortho phosphorus	4 – 80	20	4 – 8
Alkalinity (dalam $CaCO_3$)	1000 – 10000	3000	200 – 1000
pH	4.5 – 7.5	6	6.6 – 7.5
Kesadahan total (dalam $CaCO_3$)	300 – 10000	3500	200 – 500
Kalsium	200 - 3000	1000	100 – 400
Magnesium	50 – 1500	250	50 – 200
Potassium	200 – 1000	300	50 - 400
Sodium	200 – 2500	500	100 – 200
Clorida	200 – 3000	500	100 – 400
Sulfat	50 – 1000	300	20 – 50
Fe total	50 - 1200	60	20 – 200

Sumber : Tchobanoglous et al., (1993)

Berdasarkan karakteristik dari *leachate*, pengolahan sangat diperlukan sebelum *leachate* dibuang ke badan air. Pengolahan terutama bertujuan untuk mengurangi kandungan bahan organik di dalam *leachate*, mengurangi kandungan nutrient seperti NH_4 dan kandungan logam berat yang diperkirakan ikut larut didalam *leachate*. Pengolahan *leachate* bisanya merupakan kombinasi baik pengolahan fisik, kimia dan biologis. Pengolahan *leachate* merupakan salah satu dari penanganan effluen *leachate* yang dapat dilakukan. Alternatif lainnya yang dapat dilakukan antara lain:

- Memanfaatkan sifat-sifat hidrolis dengan pengaturan air tanah sehingga aliran *leachate* tidak menuju air tanah
- Mengisolasi lahan urug *landfill* sehingga air eksternal tidak masuk dan *leachate*nya tidak keluar

- Mencari lahan yang mempunyai tanah dasar dengan kemampuan yang baik untuk menetralisir cemaran
- Mengembalikan (resirkulasi) *leachate* ke arah timbunan sampah
- Mengalirkan *leachate* menuju pengolahan air buangan domestik
- Mengolah *leachate* dengan unit pengolahan sendiri.



Gambar 11. Sistem Penyaluran *Leachate* dengan Pipa (Atas) dan Gambar Detail Pipa (Bawah)

Pemilihan proses pengolahan *leachate* sangat ditentukan oleh berbagai faktor, yang terpenting adalah; baku mutu (standar) efluent *leachate*, ketersediaan lahan, kemampuan sumberdaya manusia dan kemampuan ekonomi.

Pengolahan *leachate* merupakan pengolahan kombinasi antara fisik-kimia dan biologi. Pengolahan fisik bertujuan mengurangi zat padat baik tersuspensi maupun terlarut di dalam *leachate*. Pengolahan ini biasanya digabungkan dengan pengolahan kimia dan biologis. Pengolahan secara kimiawi bertujuan mengurangi kandungan ion-ion di dalam *leachate* dan proses koagulasi dan flokulasi untuk mengurangi kandungan zat padat tersuspensi di dalam *leachate*. Proses pengolahan biologis tertutama gabungan dari pengolahan anerobik dan aerobik bertujuan mengurangi kandungan bahan organic di dalam *leachate*. Alternatif sistem pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah *leachate* adalah sebagai berikut (Hermana, 2007):

1. Pengolahan dengan Proses Biologis
    a. Kombinasi Kolam Stabilisasi, untuk lokasi dengan ketersediaan lahan yang memadai, dengan alternatif kombinasi sebagai berikut:
        - Kolam Anaerobik, Fakultatif, Maturasi dan Biofilter (*alternatif 1*)
        - Kolam Anaerobik, Fakultatif, Maturasi dan *land treatment* / *Wetland* (*alternatif 2*)
    b. Kombinasi Proses Pengolahan Anaerobik – Aerobik, untuk lokasi dengan ketersediaan lahan yang lebih terbatas, yaitu kombinasi antara *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dengan *Aerated Lagoon* (*alternatif 3*)

2. Pengolahan dengan Proses Fisika-Kimia
   Pengolahan ini tepat digunakan apabila dikehendaki kualitas efluen *leachate* yang lebih baik sehingga dapat digunakan untuk proses penyiraman atau pembersihan peralatan dalam lokasi TPA atau dibuang ke badan air Kelas II (PP No. 82 Tahun 2001). Kombinasi sistem pengolahan yang digunakan adalah sebagai berikut:
    - Proses Koagulasi - Flokulasi, Sedimentasi, Kolam Anaerobik atau ABR (*alternatif 4*)
    - Proses Koagulasi - Flokulasi, Sedimentasi I, Aerated Lagoon, Sedimentasi II (*alternatif 5*)

Dalam area TPA harus direncanakan sistem drainase yang memadai. Sistem drainase ini mencegah air hujan yang jatuh di atas daerah TPA non-*landfill* masuk ke dalam lanfill. Hal ini penting dilakukan karena air hujan yang mengalir sebagai air pemukaan, jika mengalir ke daerah *landfill* akan menambah volume *leachate* yag dihasilkan di *landfill* tersebut. Daerah yang harus dilayani oleh sistem drainase meliputi jalan fasilitas TPA, kantor, halaman, taman, dan daerah fasilitas penunjang lainnya.

Secara umum, jumlah debit aliran permukaan yang dihasilkan oleh curah hujan yang harus dialirkan melalui saluran drainase dapat ditentukan dengan persamaan:

$$Q = 0{,}278\ C \times I \times A \quad \text{.....(1)}$$

Dimana:

Q = debit limpasan (m^3/detik)
C = koefisien limpasan
I = intensitas hujan (mm/jam)
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 ke dalam 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 4.

Tabel 4. Nilai Koefisien Limpasan, C pada lokasi TPA

Penututupan 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: Asdak, 2004, dimodifikasi

Pada daerah yang cukup luas, dimana penutupan lahan sulit ditentukan satu-per satu, maka nilai C yang digunakan merupakan C gabungan (Cg) dari jenis berbagai penutupan lahan di daerah aliran saluran tertentu. Nilai Cg ditentukan dengan persamaan:

$$C_g = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + ... + C_nA_n}{A_T} = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_iA_i}{A_T} \qquad .....(2)$$

Dimana:

C_1, C_2, ..., C_n = nilai C masing-masing jenis penutupan lahan
A_1, A_2, ..., A_n = luas lahan masing-masing jenis penutupan lahan
A_T = luas lahan total
N = jumlah jenis penutupan lahan

Intensitas hujan

Intensitas hujan merupakan kelebatan hujan yang jatuh pada daerah pelayanan sistem drainase (*catchment area*). Penentuan besarnya intensitas hujan mengikuti langkah yang akan dijelaskan pada bagian berikut ini.

Curah hujan

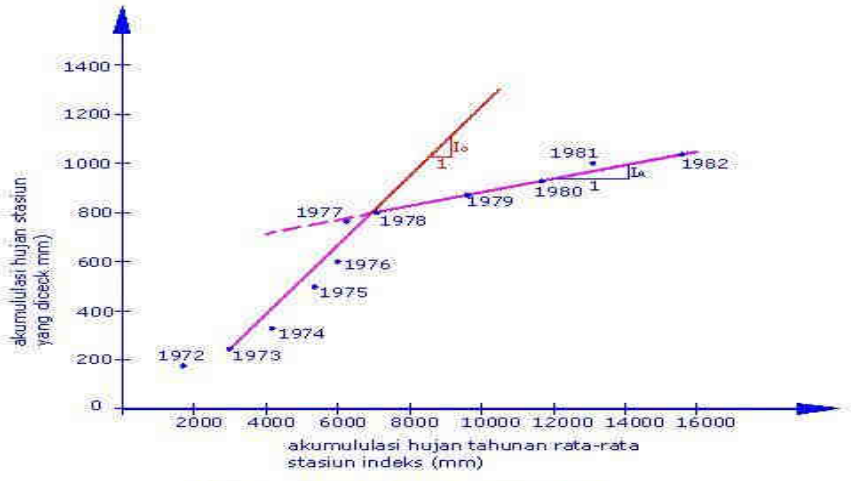
Data curah hujan diperoleh dari stasiun pengukur hujan terdekat. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum. Untuk mendapatkan hasil analisis yang akurat diperlukan setidaknya 20 data hujan harian maksimum terbaru (20 tahun terakhir). Data curah hujan tersebut perlu diperiksa konsistensinya dengan menggunakan metode kurva masa ganda, untuk memastikan data yang diperoleh konsisten dari stasiun data tertentu, dengan cara memplotkan data hujan akumulasi dari stasiun hujan yang akan diuji dengan data curah hujan dari stasiun pembanding. Apabila data tersebut tidak konsisten, maka data tersebut harus dikoreksi. Contoh plot disajikan pada Gambar 12.

Koreksi data dilakukan dengan rumus:

$$R_x = R_0 \frac{I_x}{I_0} \qquad .....(3)$$

Dimana:

R_0 = curah hujan yang akan dikoreksi (mm)
R_x = curah hujan hasil koreksi (mm)
I_x = gradien kemiringan data curah hujan akumulasi hasil perbaikan
I_0 = gradien kemiringan data curah hujan akumulasi yang diperbaiki



Gambar 12. Kurva masa ganda

Seperti telah disampaikan sebelumnya bahwa data curah hujan ini diperoleh dari stasiun pengukur hujan terdekat. Apabila ada beberapa stasiun hujan, maka data curah hujan yang diperoleh dari setiap stasiun hujan harus dirata-rata (*area rainfall*). Metode perhitungannya adalah sebagai berikut:

Metode rata-rata aljabar

$$R = \frac{R_1 + R_2 + ... + R_n}{n} = \sum_{i=1}^{n} \frac{R_i}{n} \qquad .....(4)$$

Dimana:
R = curah hujan rata-rata daerah (mm)
R_1, R_2, ..., R_n = curah hujan pada stasiun 1, 2, ..., n
n = jumlah stasiun hujan

Cara ini digunakan apabila lokasi stasiun hujan merata dan hujan rata-rata di masing-masing stasiun tidak terlalu berbeda.

Metode Poligon Thiesen

Pada metode ini data hujan yang diperoleh pada suatu stasiun hujan valid untuk luasan tertentu. Luasan ini diperlakukan sebagai faktor pembobot (*weighing factor*) dalam perhitungan hujan rata-rata daerah. Curah hujan rata-rata daerah aliran dapat dihitung dengan rumus Thiessen (Sosrodarsono dan Takeda,1987):

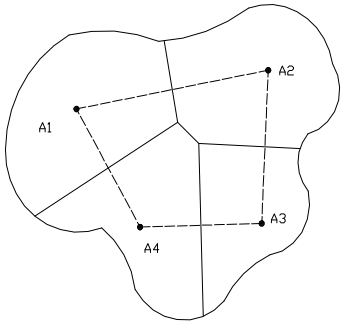
$$\overline{R} = \frac{1}{A}\left(A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + A_3 \cdot R_3 + ... + A_n \cdot R_n\right) \quad .....(5)$$

Dimana:

$\overline{R}$	= Curah huja rata-rata daerah aliran (mm)
n	= Jumlah stasiun hujan
R_1, R_2, R_3,… , R_n	= Curah hujan pada stasiun 1,2,3 .... sampai pos n
A1, A2, A3…An	= luas daerah pengaruh masing-masing stasiun hujan (ha)

Cara membuat poligon adalah sebagai berikut (lihat Gambar 13):

a. Hubungkan masing-masing stasiun dengan garis lurus sehingga membentuk poligon segitiga.
b. Buat setiap sumbu pada poligon segitiga tersebut sehingga titik potong sumbu membentuk poligon baru.
c. Poligon baru ini merupakan batas daerah pengaruh masing-masing stasiun penakar hujan.



Gambar 13. Poligon Thiessen

Metode ini tidak mempertimbangkan bentuk topografi daerah aliran, sehingga tidak disarankan digunakan pada daerah aliran berbukit. Apabila terjadi penambahan atau pengurangan jumlah stasiun hujan atau pemindahan jumlah stasiun hujan akan mengubah luas jaringan poligon.

Metode lainnya adalah metode Isohiet, namun karena metode ini jarang digunakan maka tidak dijelaskan pada modul ini.

Curah hujan dengan periode ulang tertentu

Curah hujan yang dipergunakan dalam perhitungan sistem drainase adalah curah hujan dengan periode ulang hujan (PUH) tertentu. Sistem drainase untuk suatu TPA disarankan menggunakan periode ulang hujan 2 tahunan, mengingat saluran yang berada pada TPA pada umumnya termasuk saluran tersier atau sekunder. Metode perhitungan mengikuti metode sistem distribusi frekwensi. Beberapa metode yang umumnya dipergunakan di Indonesia adalah Gumbel, Log *Pearson Type* III, dan Iwai Kadoya.

Metode Gumbel

Rumus yang digunakan dalam perhitungan hujan harian maksimum dengan metode Gumbel adalah sebagai berikut:

$$R_T = R + \frac{\sigma_R}{\sigma_n}\left(Y_t - Y_n\right) \quad \text{.....(6)}$$

$$\sigma_R = \left[\frac{\sum\left(R_i - R\right)^2}{n-1}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{.....(7)}$$

$$Cs = \frac{N\sum\left(Xi - \overline{X}\right)^3}{(N-1)(N-2)(\sigma X)^3} \quad \text{.....(8)}$$

R_K = $\pm$ t(a) . Se dengan rentang keyakinan, α = 80% atau 90% .....(9)

Dimana:
R_T = curah hujan dengan periode ulang T tahun (mm)
R = curah hujan rata-rata (mm)
σ_R = standar deviasi data
σ_n = *expected standard deviation* (tabel)
Y_t = *reduced variate* untuk periode ulang hujan tertentu (tabel)
Y_n = *Expected mean reduced variate* (tabel)
R_i = curah hujan ke i (mm)
n = jumlah data
R_k = rentang keyakinan (mm)

Nilai t(a) = 1,64 bila α = 90%
Nilai t(a) = 1,282 bila α = 80%
Se = *standar error*
Se = b . (σ_R/σ_n)
b = $\sqrt{(1+1,3k+1,1k^2)}$
k = $(Y_t-Y_n)/\sigma_n$

Metode Log Person Type III

Pada metode ini, data curah hujan ditransform menjadi nilai logaritmiknya. Perhitungan dilakukan terhadap nilai transformasinya, kemudian hasil akhirnya di re-transformasi ke nilai normal kembali (anti log). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$X_T = X + K_X.\sigma_X \quad \text{.....(10)}$$

X_T = log R_T

R_T = antilog X_T atau $R_T = 10^{X_T}$ .....(11)

$$X = \sum_{i=1-n}^{n} \frac{X_i}{n} \quad \text{.....(12)}$$

$$\sigma_X = \left[\frac{\sum(X_i - X)^2}{n-1}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{.....(13)}$$

$$C_s = \frac{n\sum_{i=1}^{n}(X_i - X)^3}{(n-1)(n-2)(\sigma_X)^3} \quad \text{.....(14)}$$

Nilai Cs (*coefficient of skewness*) digunakan menentukan nilai Kx dari table. Jika Cs negative, gunakan tabel *negative skew* dan sebaliknya.

Metode Iwai Kadoya

Prinsip metode ini adalah mengubah variabel (x) dari kurva kemungkinan kerapatan curah hujan harian maksimum ke log x atau merubah kurva distribusi yang asimetris menjadi kurva distribusi normal. Kemungkinan terlampau W(x) ditentukan dengan membuat asumsi bahwa data hidrologi mempunyai distribusi log-normal. Harga konstanta b>0, sebagai harga minimum variabel kemungkinan (x). Agar kurva kerapatan tidak < harga minimum (-b), maka setiap sukunya diambil x+b, dimana

harga log (a+b) diperkirakan mempunyai distribusi normal. Persamaan yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut:

$$x_r = \sum_{i=1-n}^{n} \frac{1}{n} \log x_i \quad \text{.....(15)}$$

$$x_0 = \text{anti-log } x_r \quad \text{.....(16)}$$

$$b = \frac{1}{m} \sum_{i=1-m}^{n} b_i \quad \text{.....(17)}$$

$$m = (n/10) \quad \text{.....(18)}$$

$$b_i = \frac{x_s x_T - x_0^2}{2x_0 - (x_S + x_T)} \quad \text{.....(19)}$$

$$X_0 = \log(x_0 + b) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \log(x_i + b) \quad \text{.....(20)}$$

$$\frac{1}{C} = \sqrt{\frac{2}{n-1} \sum_{i=1}^{n} \log \frac{(x_i + b)^2}{(x_0 + b)}} = \sqrt{\frac{2n}{n-1}} . \sqrt{\left(\overline{X}^2 - Xo\right)^2} \quad \text{.....(21)}$$

$$\overline{X}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left\{ \log(x_i + b)^2 \right\} \quad \text{.....(22)}$$

$$\log(x + b) = \log(x_0 + b) + \left(\frac{1}{c}\right)\xi = X_0 + \left(\frac{1}{c}\right)\xi \quad \text{.....(23)}$$

Dimana:

x_s =harga pengamatan dengan nomor urut m terbesar

x_t =harga pengamatan dengan nomor urut m terkecil

n = banyaknya data

ξ = variabel normal (table)

Perhitungan Intensitas Hujan

Intensitas hujan bisa 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. Metode yang umumnya dipergunakan adalah (i) Bell, (ii) Haspers-Der Weduwen, dan (iii) Van Breen.

Besarnya intensitas hujan rata-rata untuk waktu t jam dapat dinyatakan dengan:

$$I = R/t \quad \text{.....(24)}$$

Dimana:
I = intensitas hujan (mm/jam)
R = curah hujan dengan periode ulang tertentu (mm)
t = durasi/ waktu terjadinya hujan (jam)

Metode Bell

Pada metode ini, curah hujan yang digunakan dalah curah hujan dengan durasi 60 menit (1 jam) dengan PUH 10 tahun. Curah hujan tersebut dapat diturunkan menjadi curah hujan dengan durasi 5 menit – 120 menit dengan PUH 2 tahun – 100 tahun. Rumus yang digunakan adalah:

$$R_T^t = (0{,}21\ln T + 0{,}52)(0{,}54t^{0{,}25} - 0{,}5)R_{10tahun}^{60menit} \quad \text{.....(25)}$$

Dimana:
R = curah hujan (mm)
T = periode ulang (tahun)
t = durasi hujan (menit)

Intensitas hujannya dapat ditentukan dengan rumus:

$$I_T^t = \frac{60}{t} R_T^t \quad \text{.....(26)}$$

Metode Haspers-Der Weduwen

Pada metode ini, hujan diasumsikan mempunyai distribusi simetris. Durasi hujan dibedakan dalam dua fase: (i) kurang dari 1 jam dan (ii) 1 jam sampai dengan 24 jam. Persamaan curah hujannya adalah sebagai berikut:

$1 \le t \le 24$ jam ➔ $R = \sqrt{\frac{11300t}{t+3{,}12}}.\left(\frac{X_t}{100}\right)$ .....(27)

$0 \le t < 1$ jam ➔ $R = \sqrt{\frac{11300t}{t+3{,}12}}.\left(\frac{R_1}{100}\right)$ .....(28)

$$R_1 = X_t\left(\frac{1218t+54}{X_t(1-t)+1272t}\right) \quad \text{.....(29)}$$

$$I = R/t \text{ (mm/jam)} \quad \text{.....(30)}$$

Dimana:

t = durasi hujan (jam)

R, R_1 = curah hujan berdasar perhitungan Haspers-Der Weduwen (mm/jam)

X_T = curah hujan terpilih (mm)

I = intensitas hujan (mm/jam)

Metode Van Breen

Pada metode ini diasumsikan bahwa curah hujan jatuh secara terpusat dengan durasi selama 4 jam. Asumsi lainnya adalah bahwa hujan efektif sebesar 90% dari curah hujan harian (24 jam). Persamaan intensitasnya adalah:

$$I = \frac{90\% I_{24}}{4} \quad \text{.....(31)}$$

Perhitungan dengan metode ini menggunakan Kurva Hujan Kota Jakarta sebagai basis. Data dari kurva tersebut disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Intensitas Hujan Kota Jakarta

Durasi	**INTENSITAS HUJAN JAKARTA (mm/jam) Untuk Periode Ulang Hujan (Tahun)**				
(menit)	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**
5	126	148	155	180	191
10	114	126	138	156	168
20	102	114	123	135	144
40	76	87	96	105	114
60	61	73	81	91	100
120	36	45	51	58	63
240	**21**	**27**	**30**	**35**	**40**

Sumber: Masduki, 1995

RUMUS EMPIRIS INTENSITAS HUJAN

Intensitas hujan yang telah diperoleh dengan metode Bell, Haspers-Der Weduwen, dan Van Breen perlu dibuat persamaan empirisnya. Metode yang umum digunakan adalah (i) Talbot, (ii) Sherman, (iii) Ishigoro, dan (iv) Mononobe.

Metode Talbot

Metode ini digunakan untuk menentukan intensitas hujan dengan durasi 5 menit sampai dengan 2 jam. Persamaannya adalah:

$$I = \frac{a}{t+b} \qquad \text{.....(32)}$$

$$a = \frac{\sum(I \cdot t) \cdot \sum(I^2) - \sum(I^2 \cdot t) \sum(I)}{N \cdot \sum(I^2) - \left(\sum I\right)^2} \qquad \text{.....(33)}$$

$$b = \frac{\sum(I) \cdot \sum(I \cdot t) - N \cdot \sum(I^2 \cdot t)}{N \cdot \sum(I^2) - \left(\sum I\right)^2} \qquad \text{.....(34)}$$

Metode Sherman

Metode ini bisa digunakan menentukan intensitas hujan dengan durasi > 2jam. Persamaannya adalah:

$$I = \frac{m}{t^n} \qquad \text{.....(35)}$$

$$m = \frac{\sum(\log I) \cdot \sum(\log t)^2 - \sum(\log t \cdot \log I) \sum(\log t)}{N \cdot \sum(\log I)^2 - \left(\sum \log I\right)^2} \qquad \text{.....(36)}$$

$$n = \frac{\sum(\log I) \cdot \sum(\log t) - N \cdot \sum(\log t \cdot \log I)}{N \cdot \sum(\log I)^2 - \left(\sum \log t\right)^2} \qquad \text{.....(37)}$$

Metode Ishigoro

Metode ini, sama dengan metode Sherman, bisa digunakan menentukan intensitas hujan dengan durasi > 2jam. Persamaannya adalah:

$$I = \frac{c}{\sqrt{t} + d} \qquad \text{.....(38)}$$

$$c = \frac{\sum\left(I \cdot \sqrt{t}\right) \cdot \sum (I)^2 - \sum\left(I^2 \cdot \sqrt{t}\right) \sum (I)}{N \cdot \sum (I)^2 - \left(\sum I\right)^2} \qquad \text{.....(39)}$$

$$d = \frac{\sum (I) \cdot \sum\left(I \cdot \sqrt{t}\right) - N \cdot \sum\left(I^2 \cdot \sqrt{t}\right)}{N \cdot \sum (I)^2 - \left(\sum I\right)^2} \qquad \text{.....(40)}$$

Dalam ketiga persamaan intensitas hujan empiris tersebut:
I = intensitas hujan (mm/jam)
t = waktu / lama hujan (mn)
m, n = konstanta
N = banyaknya data

Metode Mononobe

Metode ini bisa digunakan menentukan intensitas hujan setiap waktu. Persamaannya adalah:

$$I = \frac{R_{24}}{24}\left(\frac{24}{t}\right)^n \qquad \text{.....(41)}$$

Dimana:
I = intensitas hujan (mm/jam)
R_{24} = tinggi hujan max. peretmal (mm)
t = waktu / lama hujan (jam)
n = konstanta

Dari semua perumusan di atas, hubungan antara intensitas dan durasi/lama hujan dapat digambarkan dalam bentuk kurva. Kurva intensitas suatu *catchment area* dibuat berdasarkan perumusan yang cocok untuk *catchment area* yang bersangkutan. Masing-masing *catchment area* akan mempunyai kurva intensitas yang berbeda.

Perencanaan Sistem Saluran Drainase

Sistem drainase dibuat mengikuti hirarki semakin ke hilir saluran semakin melebar. Saluran dimulai dari lokasi yang akan dilayani misalkan daerah perkantoran, bengkel, gudang, serta daerah taman di sekitar bengunan tersebut. Aliran air diarahkan ke hilir

untuk bertemu dengan saluran yang melayani daerah lainnya di dalam lokasi TPA. Saluran tersebut terus melebar sampai akhirnya aliran air masuk ke sistem saluran utama yang berupa sistem drainase lokal (desa, kecamatan, kota) atau sungai. Semua saluran dalam sistem harus didesain sedemikian rupa sehingga debit air limpasan hujan dapat tertampung di dalam sistem tersebut. Persamaan alirannya adalah sebagai berikut:

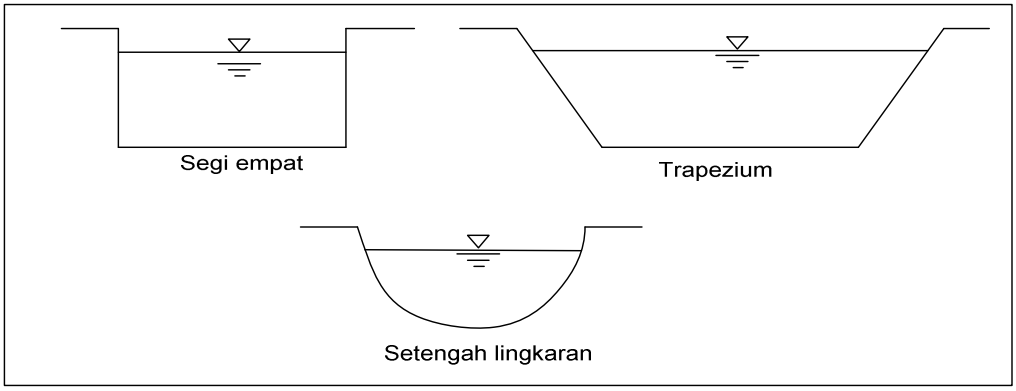
$$Q = V.A \quad \text{.....(42)}$$

$$V = (1/n)\, R^{2/3}.S^{0,5} \text{ (Rumus Manning)} \quad \text{.....(43)}$$

Dimana:

Q = debit aliran air hujan (m^3/dt)
V = kecepatan aliran air dalam saluran (m/dt)
A = luas penampang basah saluran (m^2)
n = koefisien kekasaran saluran (tabel)
R = jari-jari hidrolis = A/P
S = kemiringan garis energy (m/m)
P = keliling basah (m)

Bentuk saluran yang umumnya digunakan adalah segi empat dan trapezium. Untuk debit kecil, saluran setengah lingkaran juga bisa digunakan. Contoh bentuk geometri saluran disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Bentuk Geometri Saluran

Saluran bisa dibuat dari tanah asli atau pasangan batu bata, batu kali, maupun beton. Nilai koefisien kekasaran Manning untuk tiap bahan saluran disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. 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 (*finished*)	0,011 – 0,015
6	Beton cetak tidak dihaluskan(*unfinished*)	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: Chow, 1999

Data lebih lengkap terkait nilai koefisien Manning bisa dilihat pada Chow (1999).

Kecepatan aliran maksimum yang diijinkan pada saluran pasangan bervariasi dari 2 m/detik untuk pasangan batu bata sampai 3 m/detik untuk beton. Saluran tanah, karena relative lebih rawan gerusan, kecepatan maksimum yang diijinkan bervariasi 0,45 m/detik untuk jenis tanah berpasir halur sampai dengan 1,2 m/detik pada tanah berbatu kerikil. Untuk mencegak terjadinya pengendapan/ sedimentasi di dalam saluran, disarankan kecepatan aliran tidak lebih kecil dari 0,5 meter/detik.

Saluran perlu diberi tinggi jagaan untuk mengantisipasi adanya fluktuasi debit aliran air dan ketinggian air akibat peningkatan curah hujan maupun pengaruh gelombang. Tinggi jagaan bisa diperkirakan dengan persamaan:

$$F = c.h \quad \text{.....(44)}$$

Dimana:

F = tinggi jagaan (m)
h = kedalaman air dalam saluran (m)
c = koefisien yang nilainya 0,5s.d. 0,3

5. Persyaratan Lokasi TPA

Pemilihan lokasi TPA sampah perkotaan harus sesuai dengan ketentuan yang ada (SNI 03-3241- 1994 tentang tata cara pemilihan lokasi TPA)

Jenis dan Fungsi Sarana TPA

Untuk dapat dioperasikan dengan baik maka TPA perlu dilengkapi dengan prasarana dan sarana yang meliputi:

a. Prasarana Jalan

Prasarana dasar ini sangat menentukan keberhasilan pengoperasian TPA. Semakin baik kondisi jalan ke TPA akan semakin lancar kegiatan pengangkutan sehingga efisiensi keduanya menjadi tinggi.

Konstruksi jalan TPA cukup beragam disesuaikan dengan kondisi setempat sehingga dikenal jalan TPA dengan konstruksi: hotmix, beton, aspal, perkerasan situ, atau kayu.

Dalam hal ini TPA perlu dilengkapi dengan:

Jalan masuk/akses, yang menghubungkan TPA dengan jalan umum yang telah tersedia dengan spesifikasi jalan, termasuk jembatan, sesuai dengan tonnase beban kendaraan;

Jalan penghubung, yang menghubungkan antara satu bagian dengan bagian lain dalam wilayah TPA;

Jalan operasi/kerja, yang diperlukan oleh kendaraan pengangkut menuju titik pembongkaran sampah (*working face*).

Pada TPA dengan luas dan kapasitas pembuangan yang terbatas biasanya jalan penghubung dapat juga berfungsi sekaligus sebagai jalan kerja/operasi.

b. Prasarana Drainase

Drainase di TPA berfungsi untuk mengendalikan aliran limpasan air hujan dengan tujuan untuk memperkecil aliran yang masuk ke timbunan sampah. Seperti diketahui, air hujan merupakan faktor utama terhadap debit leachate yang dihasilkan. Semakin kecil rembesan air hujan yang masuk ke timbunan sampah akan semakin kecil pula

debit leachate yang dihasilkan yang pada gilirannya akan memperkecil kebutuhan unit pengolahannya.

Secara teknis drainase TPA dimaksudkan untuk menahan aliran limpasan air hujan dari luar TPA agar tidak masuk ke dalam area timbunan sampah. Drainase penahan ini umumnya dibangun di sekeliling blok atau zona penimbunan. Selain itu, untuk lahan yang telah ditutup tanah, drainase TPA juga dapat berfungsi sebagai penangkap aliran limpasan air hujan yang jatuh di atas timbunan sampah tersebut. Untuk itu permukaan tanah penutup harus dijaga kemiringannya mengarah pada saluran drainase.

c. Fasilitas Penerimaan

Fasilitas penerimaan dimaksudkan sebagai tempat pemeriksaan sampah yang datang, penimbangan, pencatatan data, dan pengaturan kedatangan truk sampah. Pada umumnya fasilitas ini dibangun berupa pos pengendali dan pencatatan sampah di pintu masuk TPA. Pada TPA besar dimana kapasitas pembuangan telah melampaui 50 ton/hari maka dianjurkan penggunaan jembatan timbang untuk efisiensi dan ketepatan pendataan. Sementara TPA kecil bahkan dapat memanfaatkan pos tersebut sekaligus sebagai kantor TPA sederhana dimana kegiatan administrasi ringan dapat dijalankan.

d. Lapisan Kedap Air

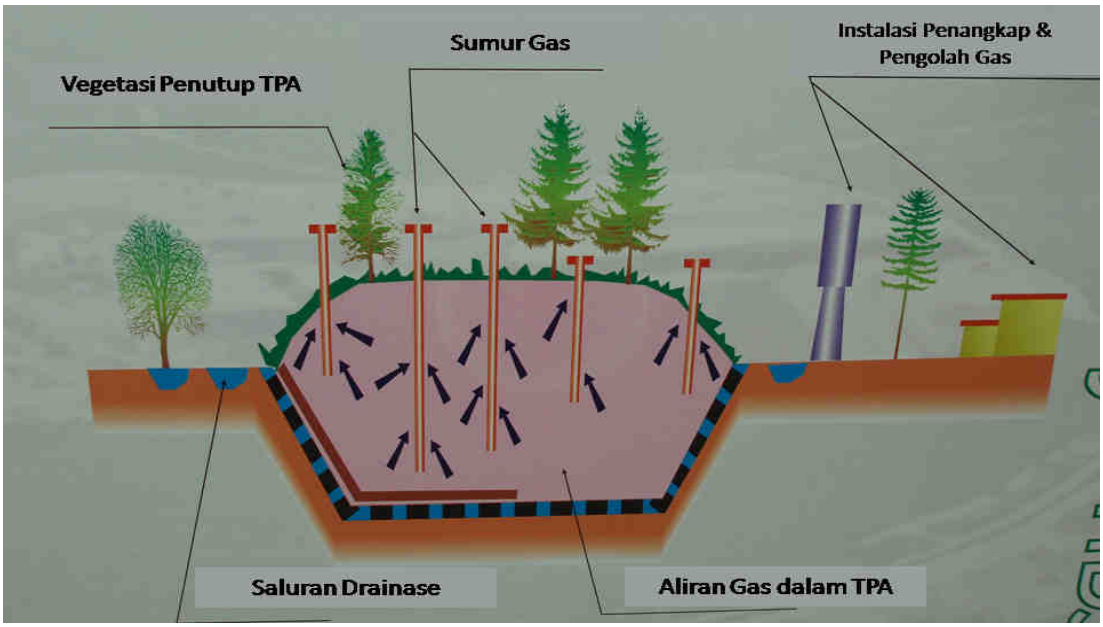
Lapisan kedap air berfungsi untuk mencegah rembesan air leachate yang mengalir ke dasar TPA dan/atau kolam pengolahan leachate ke dalam lapisan tanah di bawahnya. Untuk itu lapisan ini harus dipasang di seluruh permukaan dalam TPA dan/atau kolam pengolahan leachate, baik dasar maupun dinding.

Bila tersedia di tempat, tanah lempung ($k < 10^{-7}$) setebal $\pm$ 50 cm merupakan alternatif yang baik sebagai lapisan kedap air. Namun bila tidak dimungkinkan, dapat diganti dengan lapisan sintetis lainnya dengan konsekuensi biaya yang relatif tinggi.

e. Fasilitas Pengamanan Gas

Gas yang terbentuk di TPA umumnya berupa gas karbon dioksida (CO_2), dan metan(CH_4) dengan komposisi hampir sama; disamping gas-gas lain yang sangat sedikit jumlahnya seperti hidrogen sulfida (H_2S), dan ammonia (NH_3). Kedua gas gas karbon dioksida (CO_2), dan metan (CH_4) memiliki potensi besar dalam proses pemanasan global terutama gas metan; karenanya perlu dilakukan pengendalian agar gas tersebut tidak dibiarkan lepas bebas ke atmosfer. Untuk itu perlu dipasang pipa-pipa ventilasi agar gas dapat keluar dari timbunan sampah pada titik-titik tertentu. Untuk ini perlu diperhatikan kualitas dan kondisi tanah penutup TPA. Tanah penutup

yang porous atau banyak memiliki rekahan akan menyebabkan gas lebih mudah lepas ke udara bebas. Pengolahan gas metan dengan cara pembakaran sederhana dapat menurunkan potensinya dalam pemanasan global.



Gambar 15. Fasilitas Penangkap Gas

Gas metan penting, tidak berbau tetapi mudah terbakar dan bersifat mudah meledak apabila konsentrasi di udara antara 5% sampai dengan 15%. Gas cenderung terakumulasi di ruang yang kosong didalam *landfill* dan lepas melalui rekahan ditanah atau bahan penutup, karenanya perlu dilakukan pengontrolan timbulan dan perpindahan gas-gas ini. Untuk ini perlu diperhatikan kualitas dan kondisi tanah penutup TPA. Tanah penutup yang porous atau banyak memiliki rekahan akan menyebabkan gas lebih mudah lepas ke udara bebas. Pengolahan gas metan dengan cara pembakaran sederhana dapat menurunkan potensinya dalam pemanasan global.

Gas dapat dikontrol dengan memasang pipa ventilasi agar gas dapat keluar ke atmosfir dari timbunan sampah pada titik-titik tertentu. Karena metan bersifat mudah terbakar, maka gas metan dapat digunakan sebagai energi. Recovery dan pemanfaatan metan untuk tujuan komersial hanya dapat dilakukan apabila *landfill* menerima sampah lebih besar dari pada 200 tons sampah perhari.

f. Fasilitas Pengamanan Leachate

Leachate merupakan air yang terbentuk dalam timbunan sampah yang melarutkan banyak sekali senyawa yang ada sehingga memiliki kandungan pencemar khususnya zat organik sangat tinggi. Leachate sangat berpotensi menyebabkan pencemaran air baik air tanah maupun permukaan sehingga perlu ditangani dengan baik.

Tahap pertama pengamanan adalah dengan membuat fasilitas pengumpul leachate yang dapat terbuat dari: perpipaan berlubang-lubang, saluran pengumpul maupun pengaturan kemiringan dasar TPA; sehingga leachate secara otomatis begitu mencapai dasar TPA akan bergerak sesuai kemiringan yang ada mengarah pada titik pengumpulan yang disediakan.

Tempat pengumpulan leachate umumnya berupa kolam penampung yang ukurannya dihitung berdasarkan debit leachate dan kemampuan unit pengolahannya. Aliran leachate ke dan dari kolam pengumpul secara gravitasi sangat menguntungkan; namun bila topografi TPA tidak memungkinkan, dapat dilakukan dengan cara pemompaan.

Pengolahan leachate dapat menerapkan beberapa metode diantaranya: penguapan/evaporasi terutama untuk daerah dengan kondisi iklim kering, sirkulasi leachate ke dalam timbunan TPA untuk menurunkan baik kuantitas maupun kualitas pencemarnya, atau pengolahan biologis seperti halnya pengolahan air limbah.

g. Bahan Penutup

Salah satu yang membedakan antara *sanitary landfill* dan *open dumping* adalah penggunaaan bahan penutup untuk memisahkan sampah dari lingkungan luar pada setiap akhir hari kerja

Penutupan setiap hari sangat penting untuk keberhasilan sanitary *landfill* karena mempunyai kinerja sebagai berikut :

- Menghindari gangguan lalat,binatang pengerat seperti tikus.
- Mencegah kebakaran dan asap
- Mengurangi bau
- Mengurangi jumlah air yang masuk ke dalam sampah
- Mengarahkan gas menuju ventilasi keluar dari sanitary *landfill*

h. Alat Berat

Alat berat yang sering digunakan di TPA umumnya berupa: bulldozer, excavator dan loader. Setiap jenis peralatan tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dalam operasionalnya.

Bulldozer sangat efisien dalam operasi perataan dan pemadatan tetapi kurang dalam kemampuan penggalian. Excavator sangat efisien dalam operasi penggalian tetapi kurang dalam perataan sampah. Sementara loader sangat efisien dalam pemindahan baik tanah maupun sampah tetapi kurang dalam kemampuan pemadatan.

Untuk TPA kecil disarankan dapat memiliki bulldozer atau excavator, sementara TPA yang besar umumnya memiliki ketiga jenis alat berat tersebut.

i. Penghijauan

Penghijauan lahan TPA diperlukan untuk beberapa maksud diantaranya adalah: peningkatan estetika lingkungan, sebagai *buffer zone* untuk pencegahan bau dan lalat yang berlebihan. Untuk itu perencancaan daerah penghijauan ini perlu mempertimbangkan letak dan jarak kegiatan masyarakat di sekitarnya (permukiman, jalan raya, dll).

Luas lahan yang dibutuhkan untuk penghijauan serta fasilitas penunjang (kantor, bengkel, garasi, dll) adalah 40% dari total lahan TPA.

j. Fasilitas Penunjang

Beberapa fasilitas penunjang masih diperlukan untuk membantu pengoperasian TPA yang baik diantaranya: pemadam kebakaran, kesehatan/keselamatan kerja, toilet, dan lain lain.

6. Perancangan Sanitary *Landfill*

6.1. Pemilihan Lokasi

Pada perancangan dari sanitary *landfill* tahap awal yang harus diperhatikan adalah pemilihan lokasi dari sanitary *landfill*. Pemilihan lokasi penimbunan mempertimbangkan beberapa aspek sebagai berikut:

- Kondisi geologi dan geohidrologi : kondisi geologi formasi batu pasir, batu gamping atau dolomit berongga tidak sesuai untuk *landfill*. Juga daerah potensi gempa, zona vulkanik. Kondisi yang layak: sedimen berbutir sangat halus, mis. batu liat, batuan beku, batuan malihan yang kedap ($k < 10^{-7}$ cm/det) Kondisi

geohidrologi: sistem aliran air tanah dischare lebih baik dari *recharge*. Keputusan Bapedal No. 04/Bapedal/09/1995 → jarak *landfill* dengan lapisan akuifer paling dekat 4 m dan dengan badan air paling dekat 500 m. Berjarak 300 m dari landasan lapangan terbang. Kondisi curah hujan kecil, terutama daerah kering dengan kecepatan angi rendah dan berarah dominan tidak menuju pemukiman

- Topografi : Tidak boleh pada bukit dengan lereng tidak stabil, daerah berair, lembah-lembah yang rendah dan dekat dengan air permukaan dan lahan dengan kemiringan alami > 20%
- Kemudahan operasi
- Aspek lingkungan lainnya.

Penentuan lokasi TPA ini dibagi atas beberapa tahapan yaitu :

- tahap regional
- tahap penyisihan
- tahap penetapan

Pemilihan ini juga sudah ditetapkan dalam SNI 03-3241-1994 tentang Tata Cara Pemilihan Lokasi TPA Sampah (Tabel 7).

Tabel 7. Tata Cara Pemilihan Lokasi TPA

NO.	PARAMETER	BOBOT	NILAI
I.	**UMUM**		
1.	Batas Administrasi	5	
	o dalam batas administrasi		10
	o di luar batas administrasi tetapi dalam satu sistem pengelolaan TPA sampah terpadu		5
	o di luar batas administrasi dan di luar sistem pengelolaan TPA sampah terpadu		1
	o di luar batas administrasi		1
2.	Pemilik hak atas tanah	3	
	o pemerintah daerah/pusat		10
	o pribadi (satu)		7
	o swasta/perusahaan (satu)		5
	o lebih dan satu pemilik hak dan atau status kepemilikan		3
	o organisasi sosial/agama		1

Tabel 7. Tata Cara Pemilihan Lokasi TPA (Lanjutan)

NO.	PARAMETER	BOBOT	NILAI
3.	Kapasitas lahan	5	
	o > 10 tahun		10
	o 5 tahun - 10 tahun		8
	o 3 tahun - 5 tahun		5
	o kurang dari 3 tahun		1
4.	Jumlah pemilik tanah	3	
	o satu (1) kk		10
	o 2-3 kk		7
	o 4-5 kk		5
	o 6-10 kk		3
	o lebih dan 10 kk		1
5.	Partisipasi rnasyarakat	3	
	o spontan		10
	o digerakkan		5
	o negosiasi		1
II.	**LINGKUNGAN FISIK**		
1.	Tanah (diatas muka air tanah)	5	
	o harga kelulusan < 10-9 cm/det		10
	o harga kelululusan 10-9 cm/det - 10-6 cm/det		7
	o harga kelulusan > 10-6 cm/det Tolak (kecuali ada masukan teknologi)		
2.	Air tanah	5	
	o > 10 m dengan kelulusan < 10-6 cm/det		10
	o < 10 m dengan kelulusan < 10-6 cm/det		8
	o = 10 m dengan kelulusan 10-6 cm/det – 10-4 cm/det		3
	o < 10 m dengan kelulusan 10-6 cm/det – 10-4cm/det		1
3.	Sistem aliran air tanah	3	
	o *discharge* area/lokal		10
	o *recharge* area dan discharge area lokal		5
	o *recharge* area regional dan lokal		1
4.	Kaitan dengan pemanfaatan air tanah	3	
	o kemungkinan pemanfaatan rendah dengan batas hidrolis		10
	o diproyeksikan untuk dimanfaatkan dengari batas hidrolis		5
	o diproyeksikan untuk dimanfaatkan tanpa batas hidrolis		1

Tabel 7. Tata Cara Pemilihan Lokasi TPA (Lanjutan)

NO.	PARAMETER	BOBOT	NILAI
5.	Bahaya banjir	2	
	o tidak ada bahaya banjir		10
	o kemungkinan banjir > 25 tahunan		5
	o kemungkinan banjir < 25 tahunan Tolak (kecuali ada masukan teknologi).		
6.	Tanah penutup	4	
	o tanah penutup cukup		10
	o tanah penutup cukup sampai ½ umur pakai		5
	o tanah penutup tidak ada		1
7.	Intensitas hujan	3	
	o di bawah 500 mm per tahun		10
	o antara 500 mm sampai 1000 mm per tahun		5
	o di atas 1000 mm per tahun		1
8.	Jalan menuju lokasi	5	
	o datar dengan kondisi baik		10
	o datar dengan kondisi buruk		5
	o naik/turun		1
9.	*Transport* sampah (satu jalan)	5	
	o kurang dan 15 menit dan centroid sampah		10
	o antara 16 menit - 30 menit dan centroid sampah		8
	o antara 31 menit - 60 menit dan centroid sampah		3
	o lebih dan 60 menit dan centroid sampah		1
10.	Jalan masuk	4	
	o truk sampah tidak melalui daerah pemukiman		10
	o truk sampah melalui daerah pemukiman berkepadatan sedang (< 300 jiwa/ha)		5
	o truk sampah melalui daerah pemukiman berkepadatan tinggi (> 300 jiwa/ha)		1
11.	Lalu lintas	3	
	o terletak 500 m dari jalan umum		10
	o terletak < 500 m pada lalu lintas rendah		8
	o terletak < 500 m pada lalu lintas sedang		3
	o terletak pada lalu lintas tinggi		1
12.	Tata guna tanah	5	
	o mempunyai dampak sedikit terhadap tata guna tanah sekitar		10

Tabel 7. Tata Cara Pemilihan Lokasi TPA (Lanjutan)

NO.	PARAMETER	BOBOT	NILAI
	o mempunyai dainpak sedang terhadap tata guna tanah sekitar		5
	o mempunyai dampak besar trhadap tata guna tanah sekitar		1
13.	Pertanian	3	
	o berlokasi di lahan tidak produktif		10
	o tidak ada dampak terhadap pertanian sekitar		5
	o terdapat pengaruh negatif terhadap pertanian sekitar		1
	o berlokasi di tanah pertanian produktif		1
14.	Daerah lindung/cagar alam	2	
	o tidak ada daerah lindung/cagar alam di sekitarnya		10
	o terdapat daerah lindung/cagar alam disekitarnya yang tidak terkena dampak negatif		1
	o terdapat daerah lindung/cagar alam disekitarnya terkena dampak negatif		1
15.	Biologis	3	
	o nilai habitat yang rendah		10
	o nilai habitat yang tinggi		5
	o habitat kritis		1
16.	Kebisingan, dan bau	2	
	o terdapat zona penyangga		10
	o terdapat zona penyangga yang terbatas		5
	o tidak terdapat penyangga		1
17.	Estetika	3	
	o operasi penimbunan tidak terlihat dan luar		10
	o operasi penimbunan sedikit terlihat dan luar		5
	o operasi penimbunan terlihat dan luar		1

Setelah ditentukan lokasi atau lahan untuk TPA, maka dapat diprediksi luas areal yang dibutuhkan untuk penimbunan sampah. Untuk memperkirakan kebutuhan lahan penimbunan dapat dilakukan dengan cara contoh soal berikut ini:

Perkirakan kebutuhan area untuk *landfill* untuk kota dengan populasi 31.000 orang. Asumsi yang digunakan sebagai berikut :

1. Sampah yang dihasilkan = 2,9 kg/kapita.hari
2. Massa jenis sampah terkompaksi di *landfill* = 474,6 kg/m^3

3. Kedalaman sampah terkompaksi = 6 m

Penyelesaian :

1. Sampah yang dihasilkan dalam ton/hari

$$= \frac{(31000 \text{ orang}) \times (2{,}9 \text{ kg/kapita.hari})}{1000 \text{ kg/ton}}$$

$$= 89{,}9 \text{ ton/hari}$$

2. Luas area yang dibutuhkan

$$\text{Volume yang dibutuhkan/hari} = \frac{89{,}9 \text{ ton/hari} \times 1000 \text{ kg/ton}}{474{,}6 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 189 \text{ m}^3\text{/hari}$$

$$\text{Area yang dibutuhkan/tahun} = \frac{(189 \text{ m}^3\text{/hari}) \times (365 \text{ hari/tahun})}{(6 \text{ m})}$$

$$= 11497{,}5 \text{ m}^2\text{/tahun.}$$

Jika area penimbunan digunakan untuk 10 tahun, maka akan ada proyeksi jumlah sampah yang dilayani di TPA. Perlu diingat lahan ini hanya adalah lahan penimbunan tidak termasuk fasilitas pengolahan. Selain itu area yang dibutuhkan ini belum termasuk perhitungan untuk volume tanah penutup.

Berdasarkan petunjuk teknis operasi pemeliharaan sarana dan prasarana persampahan maka lahan di lokasi TPA yang direncanakan biasanya dibagi menjadi (Litbang Pemukiman, 2009):

- Lahan Efektif : bagian lahan yang digunakan sebagai lokasi pengurugan atau penimbunan sampah. Lahan efektif direncanakan sebesar ± 70% dari luas total keseluruhan TPA
- Lahan Utilitas : bangunan atau sarana lain di TPA khususnya agar pengurugan dan kegiatan lainnya dapat berlangsung, seperti jalan, jembatan timbang, bangunan kantor, hanggar 3R, bangunan pengolah *leachate*, bangunan pencucian kendaraan, daerah *buffer* (pohon-pohon) lingkungan, dan sebagainya. Lahan utilitas direncanakan luasnya mencapai sekitar 30% dari lahan yang tersedia. Lahan utilitas ini akan mengakomodasi berbagai sarana dan prasarana penunjang yang diperlukan dalam pengelolaan *site.*

6.2. Metode Pembuangan

Metode pembuangan akhir sampah pada dasarnya harus memenuhi prinsip teknis berwawasan lingkungan sebagai berikut :

a. Di kota besar dan metropolian direncanakan sesuai metode lahan urug saniter (*sanitary landfill*) sedangkan kota sedang dan kecil minimal harus direncanakan metode lahan urug terkendali (*controlled landfill*).
b. Harus ada pengendalian leahcate, yang terbentuk dari proses dekomposisi sampah agar tidak mencemari tanah, air tanah maupun badan air yang ada.
c. Harus ada pengendalian gas dan bau hasil dekomposisi sampah, agar tidak mencemari udara, menyebabkan kebakaran atau bahaya asap dan menyebabkan efek rumah kaca.
d. Harus ada pengendalian vektor penyakit.

6.3. Perencanaan Prasarana dan Sarana TPA

Merencanakan prasarana/sarana TPA yang dibutuhkan berdasarkan kelayakan teknis, ekonomis dan lingkungan

6.3.1. Fasilitas Umum

1. Jalan Akses
   Jalan akses TPA harus memenuhi kriteria sebagai berikut:
   a) Dapat dilalui kendaraan truk sampah dan 2 arah
   b) Lebar jalan minimal 8 m, kemiringan pemukaan jalan 2-3 % ke arah saluran drainase, mampu menahan beban perlintasan dengan tekanan gandar 10 ton dan kecepatan kendaraan 30 km/jam (sesuai dengan ketentuan Ditjen Bina Marga)
2. Jalan Operasi
   Jalan operasi yang dibutuhkan dalam pengoperasian TPA terdiri dan 2 jenis, yaitu :
   a) Jalan operasi penimbunan sampah, jenis jalan bersifat temporer, setiap saat dapat ditimbun dengan sampah.
   b) Jalan operasi mengelilingi TPA, jenis jalan bersifat permanen dapat berupa jalan beton, aspal atau perkerasan jalan sesuai dengan beban dan kondisi tanah.
   c) Jalan penghubung antar fasilitas, yaitu kantor/pos jaga, bengkel, tempat parkir, tempat cuci kendaraan. Jenis jalan bersifat pemanen.

3. Bangunan Penunjang

Luas bangunan kantor tergantung pada lahan yang tersedia dengan mempertimbangkan rencana kegiatan yang akan dilaksanakan antara lain administrasi operasional TPA, tampilan rencana tapak, tempat cuci kendaraan, kamar mandi/wc gudang, bengkel dan alat pemadam kebakaran.

4. Drainase

Drainase TPA berfungsi untuk mengalirkan air hujan yang jatuh pada area sekitar TPA ke tempat penampungan atau badan air terdekat. Ketentuan teknis drainase TPA adalah sebagai berikut:

- Jenis drainase dapat berupa drainase pemanen (disisi jalan utama, disekeliling timbunan, daerah sekitar kantor, gudang, bengkel, tempat cuci) dan drainase sementara (dibuat secara lokal pada zona yang akan dioperasikan)

- Kapasitas saluran dihitung dengan persamaan Manning

  $Q = 1 / n \, . \, A. \, R^{2/3} \, . \, S^{1/2}$

  Dimana:
  Q = debit aliran air hujan (m^3/det)
  A = Luas penampang basah saluran (m^2)
  R = jari-jari hidrolis (m)
  S = kemiringan
  n = konstanta (0,5 -0,6 ; tergantung pada kekasaran saluran)

- Pengukuran besamya debit dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

  $D = 0{,}278 \, C. \, I \, . \, A$ (m^3/det)

  Dimana:
  D = debit
  C = angka pengaliran
  I = intensitas hujan maksimum (mm/jam)
  A = luas daerah aliran (km^2)

5. Pagar

   Pagar berfungsi untuk menjaga keamanan TPA, dapat berupa pagar tanaman sehingga sekaligus dapat juga berfungsi sebagai daerah penyangga minimal setebal 5 m dan dapat pula dilengkapi dengan pagar kawat atau lainnya.

6. Papan Nama

   Papan nama berisi nama TPA, pengelola, jenis sampah dan waktu kerja yang dipasang di depan pintu masuk TPA.

6.3.2. Fasilitas Perlindungan Lingkungan

1. Pembentukan dasar TPA

   a) Lapisan dasar TPA harus kedap air sehingga *leachate* terhambat meresap kedalam tanah dan tidak mencemari air tanah. Koefisien pearmeabilitas lapisan dasar TPA harus lebih kecil dari 10^{-6} cm/det.

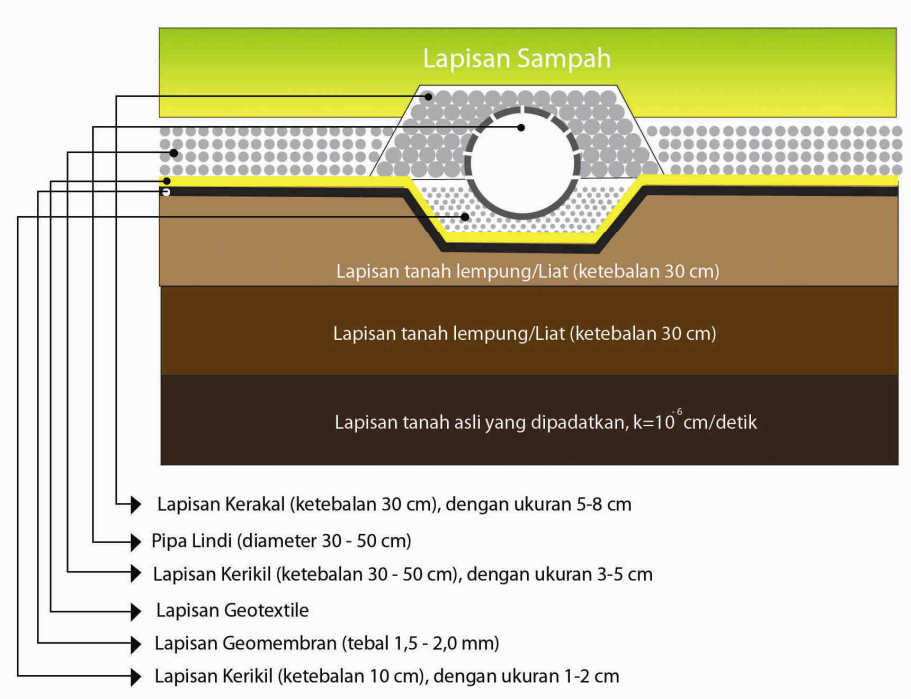
   b) Pelapisan dasar kedap air dapat dilakukan dengan cara melapisi dasar TPA dengan tanah lempung yang dipadatkan (30 cm x 2) atau *geomembrane* setebal 1,5-2 mm, tergantung pada kondisi tanah.

   c) Dasar TPA harus dilengkapi saluran pipa pengumpul *leachate* dan kemiringan minimal 2% kearah saluran pengumpul maupun penampung *leachate*.

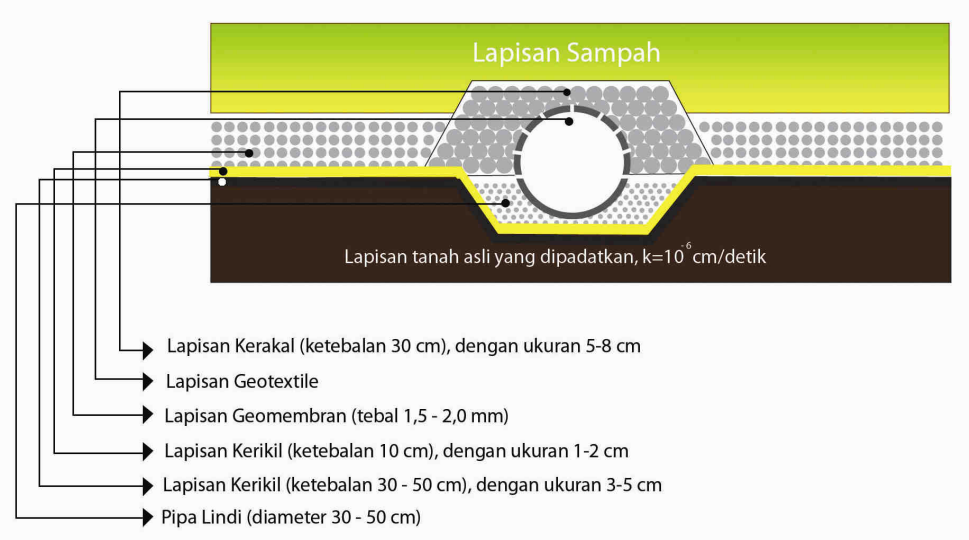
   d) Pembentukan dasar TPA harus dilakukan secara bertahap sesuai dengan urutan zona/blok dengan urutan pertama sedekat mungkin ke kolam pengolahan *leachate*.

   e) Bila menurut desain perlu digunakan geosintetis seperti geomembran, geotekstil, *non-woven*, geonet, dan sebagainya, pemasangan bahan ini hendaknya disesuaikan spesifikasi teknis yang telah direncanakan, dan dilaksanakan oleh kontraktor yang berpengalaman dalam bidang ini.

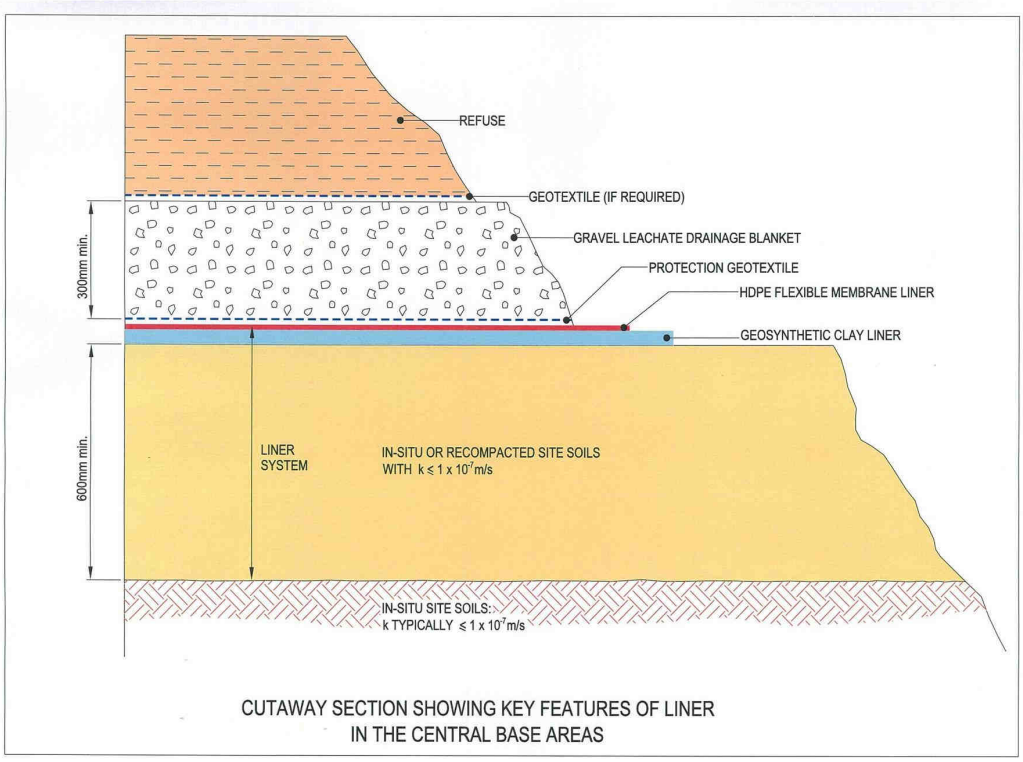
   Gambaran lapisan dasar TPA dapat dilihat pada gambar-gambar berikut di bawah ini.



Gambar 16. Pelapis Dasar Tanah TPA Dengan Geomembrane Dan Tanah Lempung



Gambar 17. Pelapis Dasar Tanah TPA Dengan Geomembrane



Gambar 18. Sistem Lapisan Dasar Sel

Gambar 19. Contoh Pemasangan Lapisan Dasar TPA

Sumber: Lahl, 2011

2. Saluran pengumpul leachate

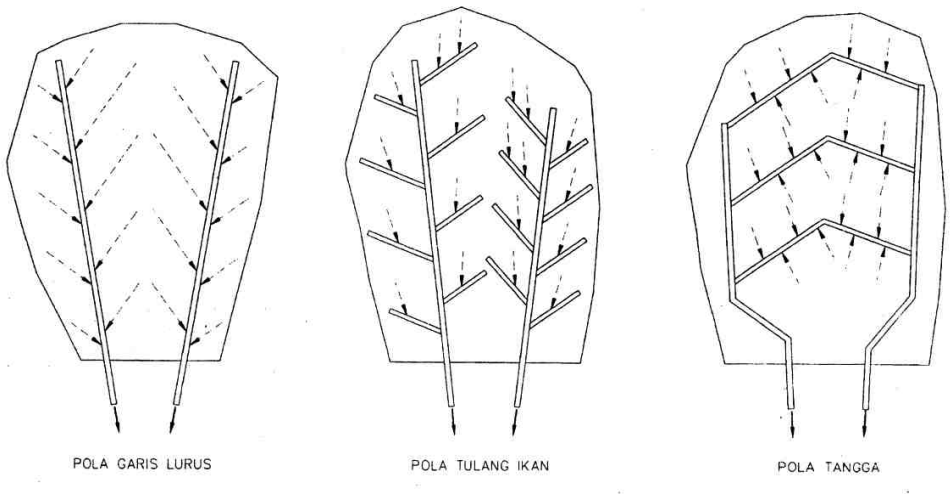
Saluran pengumpul leachate terdiri dari saluran pengumpul sekunder dan primer

a. Kriteria saluran pengumpul sekunder adalah sebagai berikut :
   - Dipasang memanjang ditengah blok/zona penimbun
   - Saluran pengumpul tersebut menerima aliran dari dasar lahan dengankemiringan minimal 2 %
   - Saluran pengumpul terdiri dari rangkaian pipa HDPE
   - Dasar saluran dapat dilapisi dengan liner (lapisan kedap air)

b. Kriteria saluran pengumpul primer

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

c. Syarat pengaliran leachate adalah:
   - Gravitasi
   - Kecepatan pengaliran 0,6-3 m/det
   - Kedalaman air dalam saluran/pipa (d/D) maksimal 80%, dimana d = tinggi air dan D = diameter pipa minimum 30 cm.



Gambar 20. Gambar Alternatif Pola Pipa Pengumpul Leachate

d. Perhitungan desain debit leachate adalah menggunakan model atau dengan perhitungan yang didasarkan atas asumsi-asumsi :
   - Hujan terpusat pada 4 jam sebanyak 90% (Van Breen), sehingga faktor puncak = 5,4. Maksimum hujan yang jatuh 20-30% diantaranya menjadi leachate.
   - Dalam 1 bulan, maksimum terjadi 20 hari hujan.
   - Data presipitasi diambil berdasarkan data harian atau tahunan maksimum dalam 5 tahun terakhir.

e. Penampung leachate
   Leachate yang mengalir dari saluran primer pengumpul leachate dapat ditampung
   pada bak penampung leachate dengan kriteria teknis sebagai berikut :
   - Bak penampung leachate harus kedap air dan tahan asam

- Ukuran bak penampung disesuaikan dengan kebutuhan.

f. Pengolahan leachate (Lihat Bagian tentang pengolahan Leachate)
Netralisasi leachate dapat dilakukan dengan cara resirkulasi atau pengolahan setidaknya secara biologis. Pengolahan secara biologis dilakukan secara bertahap, dimulai dari kolam anaerob, fakultatif, maturasi penyaringan biologi (biofilter) dan penyaringan sendiri (*land treatment*).

3. Ventilasi gas

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

a. Pipa ventilasi dipasang dari dasar TPA secara bertahap pada setiap lapisan sampah dan dapat dihubungkan dengan pipa pengumpul leachate.
b. Pipa ventilasi gas berupa pipa HDPE 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
c. Ketinggian pipa ventilasi tergantung pada rencana tinggi timbunan (setiap lapisan sampah ditambah 50 cm)
d. Pipa ventilasi pada akhir timbunan harus ditambah dengan pipa besi diameter 150 mm
e. Gas yang keluar dari ujung pipa besi harus dibakar atau dimanfaatkan sebagai energi alternatif
f. Jarak antara pipa ventilasi gas 50 – 70 m
g. Pada sistem *sanitary landfill*, gasbio harus dialirkan ke udara terbuka melalui ventilasi sistem penangkap gas, lalu dibakar pada gas-flare. Sangat dianjurkan menangkap gasbio tersebut untuk dimanfaatkan.
h. Metode untuk membatasi dan menangkap pergerakan gas adalah :
    - Menempatkan materi impermeabel pada atau di luar perbatasan *landfill* untuk menghalangi aliran gas
    - Menempatkan materi granular pada atau di luar perbatasan *landfill* (perimeter) untuk penyaluran dan atau pengumpulan gas
    - Pembuatan sistem ventilasi penagkap gas di dalam lokasi ex-TPA.

i. Sistem penangkap gas dapat berupa :
   - Ventilasi horizontal: yang bertujuan untuk menangkap aliran gas dalam dari satu sel atau lapisan sampah
   - Vantilasi vertikal: merupakan ventilasi yang mengarahkan dan mengalirkan gas yang terbentuk ke atas
   - 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 difahami bahwa potensi gas pada ex-TPA ini sudah mengecil sehingga mungkin tidak mampu untuk digunakan dalam operasi rutin.

4. Penutupan tanah

   Tanah penutup dibutuhkan untuk mencegah sampah berserakan, bahaya kebakaran,timbulnya bau, berkembang biaknya lalat atau binatang pengerat dan mengurangi timbulan leachate.

   a. Periode penutupan tanah harus disesuaikan dengan metode pembuangannya, untuk lahan urug saniter penutupan tanah dilakukan setiap hari, sedangkan untuklahan urug terkendali penutupan tanah dilakukan secara berkala.
   b. Tahapan penutupan tanah untuk lahan urug saniter terdiri dari penutupan tanah harian (setebal 15-20 cm), penutupan antara (setebal 30-40 cm) dan penutupan tanah akhir (setebal 50-100 cm, bergantung pada rencana peruntukan bekas TPA nantinya).
   c. Kemiringan tanah penutup harian harus cukup untuk dapat mengalirkan air hujan keluar dari atas lapisan penutup tersebut.
   d. Kemiringan tanah penutup akhir hendaknya mempunyai grading dengan kemiringan tidak lebih dari 30 derajat (perbandingan 1:3) untuk menghidari terjadinya erosi:
      - Diatas tanah penutup akhir harus dilapisi dengan tanah media tanam *(top soil/vegetable earth)*.
      - Dalam kondisi sulit mendapatkan tanah penutup, dapat digunakan reruntuhan bangunan, sampah lama atau kompos, debu sapuan jalan, hasilpembersihan saluran sebagai pengganti tanah penutup.

5. Daerah penyangga/zona penyangga

   Daerah penyangga dapat berfungsi untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh kegiatan pembuangan akhir sampah terhadap lingkungan sekitarnya. Daerah penyangga ini dapat berupa jalur hijau atau pagar tanaman disekeliling TPA,dengan ketentuan sebagai berikut

   a. Jenis tanaman adalah tanaman tinggi dikombinasi dengan tanaman perdu yang mudah tumbuh dan rimbun.
   b. Kerapatan pohon adalah 2–5 m untuk tanaman keras.
   c. Lebar jalur hijau minimal.

6. Sumur uji

   Sumur uji ini berfungsi untuk memantau kemungkinan terjadinya pencemaran leachate terhadap air tanah disekitar TPA dengan ketentuan sebagai berikut :

   a. Lokasi sumur uji terletak pada beberapa tempat, yaitu sebelum lokasi penimbunan sampah, dilokasi sekitar penimbunan dan pada lokasi setelah penimbunan.
   b. Penempatan lokasi harus tidak pada daerah yang akan tertimbun sampah dan ke arah hilir aliran air tanah.
   c. Kedalaman sumur 20–25 m dengan luas 1 m^2

6.3.3. Fasilitas Penunjang

1. Jembatan timbang

   Jembatan timbang berfungsi untuk menghitung berat sampah yang masuk ke TPA dengan ketentuan sebagai berikut :

   a. Lokasi jembatan timbang harus dekat dengan kantor/pos jaga dan terletak pada jalan masuk TPA.
   b. Jembatan timbang harus dapat menahan beban minimal 10-20 ton, tergantung pada tonnase truk sampah.
   c. Lebar jembatan timbang harus dapat mengakomodir lebar kendaraan truk sampah yang akan masuk ke TPA.

2. Air bersih

   Fasilitas air bersih akan digunakan terutama untuk kebutuhan kantor, pencucian kendaraan (truck dan alat berat), maupun fasilitas TPA lainnya. Penyediaan air bersih ini dapat dilakukan dengan sumur bor dan pompa.

3. Hangar

   Bengkel/garasi/hangar berfungsi untuk menyimpan dan atau memperbaiki kendaraan atau alat besar yang rusak. Peralatan bengkel minimal yang harus ada di TPA adalah peralatan untuk pemeliharaan dan kerusakan ringan.

4. Fasilitas Pemadam Kebakaran

   Fasilitas tersebut perlu disediakan untuk mengantisipasi terjadinya kebakaran di TPA.

5. Fasilitas Daur Ulang dan Pengomposan

   Fasilitas Daur Ulang berfungsi untuk mengolah sampah an-organik seperti plastik, kaleng, dll yang masuk ke TPA agar menjadi sesuatu yang lebih bernilai secara ekonomis, sedangkan fasilitas Pengomposan berfungsi untuk mengolah sampah organik seperti sisa makanan dan sampah daun yang masuk ke TPA agar menjadi kompos.

6.3.4. Fasilitas Operasional

Alat berat

Pemilihan alat berat harus mempertimbangkan kegiatan pemrosesan akhir seperti pemindahan sampah, pemadatan sampah, penggalian/pemindahan tanah. Pemilihan alat berat harus disesuaikan dengan kebutuhan (jumlah, jenis, dan ukuran).

a. *Bulldozer*
b. *Wheel | truck loader*
c. *Excavator | backhoe*

6.4. Rencana Tapak

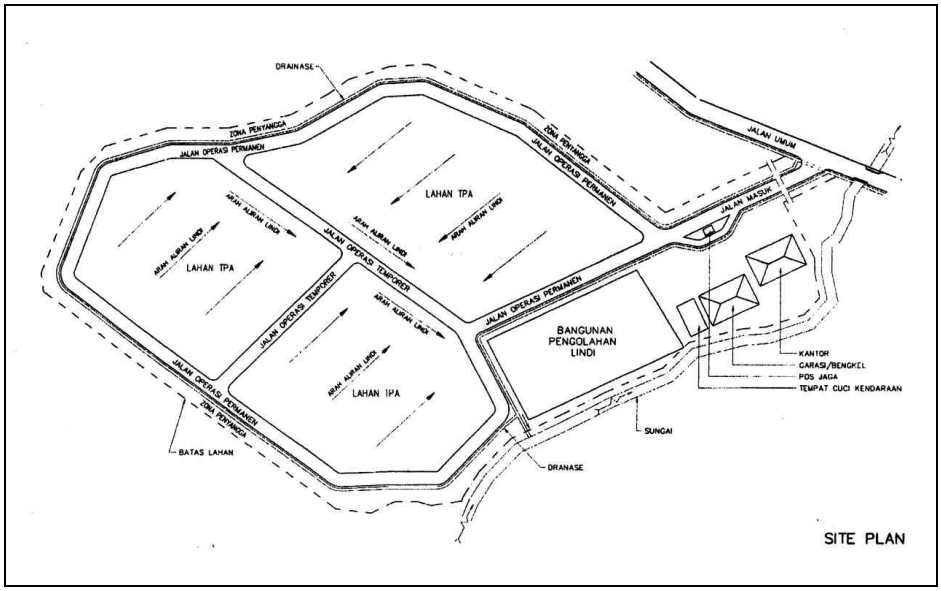
Dalam penentuan rencana tapak untuk *sanitary landfill*, harus diperhatikan beberapa hal :

a. Pemanfaatan lahan dibuat seoptimal mungkin sehingga tidak ada sisa lahan yang tidak dimanfaatkan.

b. Lokasi TPA harus terlindung dari jalan umum yang melintas TPA.

Hal ini dapat dilakukan dengan menempatkan pagar hidup di sekeliling TPA, sekaligus dapat berfungsi sebagai zona penyangga.

c. Penempatan kolam pengolahan leachate dibuat sedemikian rupa sehingga leachate sedapat mungkin mengalir secara gravitasi.
d. Penempatan jalan operasi harus disesuaikan dengan sel/blok penimbunan, sehingga semua tumpukan sampah dapat dijangkau dengan mudah oleh truk dan alat besar.



Gambar 21. Gambar Contoh *Site Plan*

7. Konstruksi *Landfill*

7.1. Konstruksi Sistem Pelapis Dasar (Liner)

Sebelum memasang sistem pelapis dasar, terlebih dahulu periksa kembali kedalaman muka air tanah pada musim hujan terhadap lapisan dasar TPA. Umumnya muka air tanah minimum 3 meter sebelum tanah dasar dikupas dan dipadatkan.

Bila menggunakan tanah liat, lakukan pemadatan lapis-perlapis minimum 2 lapisan dengan ketebalan masing-masing minimal 250 mm, sampai mencapai kepadatan

proctor 95%. Kelulusan maksimal dari campuran tanah tersebut adalah 1 x 10^{-7} cm/det.

Lakukan pengukuran kemiringan lapisan dasar TPA yaitu dengan kemiringan yang disyaratkan 1-2 % ke arah tempat pengumpulan/pengolahan *leachate*.

Konstruksi sistem liner untuk *Sanitary landfill* yang terdiri dari :

a. Lapisan tanah pelindung setebal minimum 30 cm
b. Di bawah lapisan tersebut terdapat lapisan penghalang dari geotekstil atau anyaman bambu, yang menghalangi tanah pelindung dengan media penangkap leachate
c. Media karpet kerikil penangkap leachate setebal minimum 30 cm, menyatu dengan saluran pengumpul leachate berupa media kerikil berdiameter 30-50 mm, tebal minimum 20 cm yang mengelilingi pipa perforasi 8 mm dari HDPE, berdiameter minimal 300 mm. Jarak antar lubang (perforasi) adalah 5 cm. Di atas media kerikil.

Pengupasan area pengurugan

Pemasangan geomembran

Gambar 22. Konstruksi Sistem Pelapis Dasar *(Liner)*

7.2. Konstruksi Under-Drain Pengumpul Leachate

Teliti kembali pola pemasangan jaringan under-drain penangkap dan pengumpulan *leachate* agar fungsinya tercapai. Sistem jaringan under-drain dapat berupa pola tulang ikan atau pola lurus. Kemiringan saluran pengumpul leachate antara 1 - 2 % dengan pengaliran secara gravitasi menuju instalasi pengolah leachate (IPL).

Sistem penangkap leachate diarahkan menuju pipa berdiamter minimum 300 mm, atau saluran pengumpul leachate. Pada *sanitary landfill*, pertemuan antar pipa penangkap atau antara pipa penangkap dengan pipa pengumpul dibuat bak kontrol *(juction-box)*, yang dihubungkan sistem ventilisasi vertikal penangkap atau pengumpul gas.

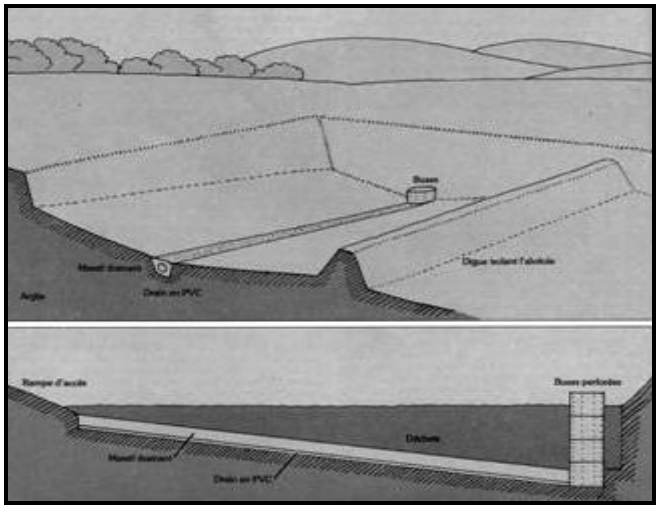
Sistem pengumpul leachate	Pipa drainase leachate

Gambar 23. Konstruksi Underdrain Pengumpul Leachate

7.3. Pemasangan Sistem Penanganan Gas

Gas yang ditimbulkan dari proses degradasi di TPA harus dikontrol di tempat agar tidak mengganggu kesehatan pegawai, orang yang menggunakan fasilitas TPA, serta penduduk sekitarnya. Gas hasil biodegradasi tersebut dicegah mengalir secara literal dari lokasi pengurugan menuju daerah sekitarnya.

Setiap 1 tahun sekali dilakukan pengambilan sampel gas-bio pada 2 titik yang berbeda, dan dianalisa terhadap kandungan CO_2 dan CH_4.



Gambar 24. Desain Pemasangan Pipa Drainase Leachate Dan Gas Vertikal

Pemasangan penangkap gas dimulai dari saat lahan-urug tersebut dioperasikan.

Timbulan gas harus dimonitor dan dikontrol sesuai dengan perkiraan umurnya.

Beberapa kriteria desain perpipaan vertikal pipa biogas *(Tchobanoglous, 1993)*:

- Pipa gas HDPE atau PE : 100 - 150 mm
- *Casing* pipa (berisi kerikil) : 20 - 40 cm
- Kerikil pengisi *casing* : 50 – 100 mm
- Perforasi : 8 - 12 mm
- Jarak antara pipa vertikal : 50 - 70 m

(Tata Cara Spesifikasi Area Penimbunan Lahan Urug Terkendali No. CT/S/Ba-Sp/006/98)

Penangkap gas pada lahan urug	Pipa gas pada lahan urug
Gas flare pada lahan urug	Pembangkit listrik gas bio

Gambar 25. Sistem Penanganan Gas

8. Pengoperasian Sanitary *Landfill*

Dengan semakin berkembangnya suatu daerah akan semakin sulit pula untuk mendapatkan lahan TPA. Untuk itu diperlukan usaha-usaha untuk dapat memperpanjang usia TPA, salah satunya dengan melakukan pengoperasian dan pemeliharaan TPA secara tepat.

Mengacu pada PP 16/2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum yang didalamya juga mengatur masalah persampahan (bagian ketiga pasal 19 – pasal 22), bahwa:

- Penanganan sampah yang memadai perlu dilakukan untuk perlindungan air baku air minum
- TPA wajib dilengkapi dengan zona penyangga dan metode pembuangan akhirnya dilakukan secara *sanitary landfill* (kota besar/metropolitan) dan *controlled landfill* (kota sedang/kecil)
- Perlu dilakukan pemantauan kualitas hasil pengolahan *leachate* (efluen) secara berkala.

Pengoperasian dan pemeliharaan TPA, baik dengan *controlled landfill* maupun *sanitary landfill*, harus dapat menjamin fungsi:

a). Sistem pengumpulan dan pengolahan *leachate*
b). Penanganan gas metan
c). Pemeliharaan estetika sekitar lingkungan
d). Pengendalian vektor penyakit
e). Pelaksanaan keselamatan pekerja
f). Penanganan tanggap darurat bahaya kebakaran dan kelongsoran.

Dibutuhkan pengawasan dan pengendalian untuk meyakinkan bahwa setiap kegiatan yang ada di TPA dilaksanakan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan. Data pemantauan di atas perlu dirangkum dengan baik menjadi suatu laporan yang dengan mudah memberikan gambaran mengenai kondisi pengoperasian dan pemeliharaan TPA.

Pada operasional dari TPA ada beberapa ketentuan mengenai sampah yang ditangani di TPA :

- Sampah yang boleh masuk ke TPA adalah sampah yang berasal dari kegiatan rumah tangga, kegiatan pasar, kegiatan komersial, kegiatan perkantoran, institusi pendidikan, dan kegiatan lainnya yang menghasilkan limbah sejenis sampah kota. Limbah yang berkategori B3 dilarang masuk ke TPA

- Limbah B3 yang berasal dari kegiatan rumah tangga harus ditangani secara khusus sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku, dan TPA hanya berfungsi sebagai tempat penampungan sementara. Limbah B3 rumah tangga dikelola dengan mengaktifkan fungsi pewadahan di TPS untuk kemudian diangkut ke tempat pemrosesan akhir limbah B3, lokasi penampungan juga disediakan di TPA untuk mengantisipasi limbah B3 yang terlanjur masuk ke TPA. Limbah B3 tidak diolah di TPA.
- Limbah yang dilarang diurug dalam sebuah TPA :
    - Limbah cair yang berasal dari kegiatan rumah tangga
    - Limbah yang berkatagori B3 menurut PP 18/99 jo PP85/99
    - Limbah medis dari kegiatan medis
- Sampah yang masuk ke TPA tidak seluruhnya diurug ke dalam area pengurugan. Proses 3R *(Reduce-Reuse-Recycle)* diwajibkan untuk dilakukan seperti daur-ulang dan pengomposan.
- Tidak diizinkan membangun permukiman dan sarana lain yang tidak sesuai dengan tata-guna lahan pada area penyangga yang merupakan satu kesatuan dengan lokasi TPA. Peruntukan sekitar lokasi TPA misalnya untuk pertanian, perkebunan, peternakan. Pemukiman dijinkan dibangun dengan radius minimal 500 m dari batas lokasi TPA.
- Diwajibkan adanya *buffer area* (daerah penyangga). Yang mengelilingi batas TPA
- Pengoperasian dan pemeliharaan TPA, baik dengan *controlled landfill* maupun *sanitary landfill*, harus dapat menjamin fungsi :
    - Sistem pengumpulan dan pengolahan *leachate*
    - Penanganan gas
    - Pemeliharaan estetika sekitar lingkungan
    - Pengendalian vektor penyakit
    - Pelaksanaan keselamatan pekerja
- Penanganan tanggap darurat bahaya kebakaran dan kelongsoran.
- Selalu memperhatikan kecocokan metode operasi TPA, apakah *sanitary landfill* atau *controlled landfill*, sesuai dengan kelayakan teknis dan pertimbangan sosial-ekonomis yang dikaitkan dengan besaran kota dan timbulan sampah kota.
- Dibutuhkan pengawasan dan pengendalian untuk meyakinkan bahwa setiap kegiatan yang ada di TPA dilaksanakan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan. Data pemantauan di atas perlu dirangkum dengan baik menjadi suatu laporan yang dengan mudah memberikan gambaran mengenai kondisi pengoperasian dan pemeliharaan TPA.

Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam operasional dari sanitary *landfill* telah diatur di dalam petunjuk teknis operasi dan pemeliharaan sarana dan prasarana persampahan yaitu:

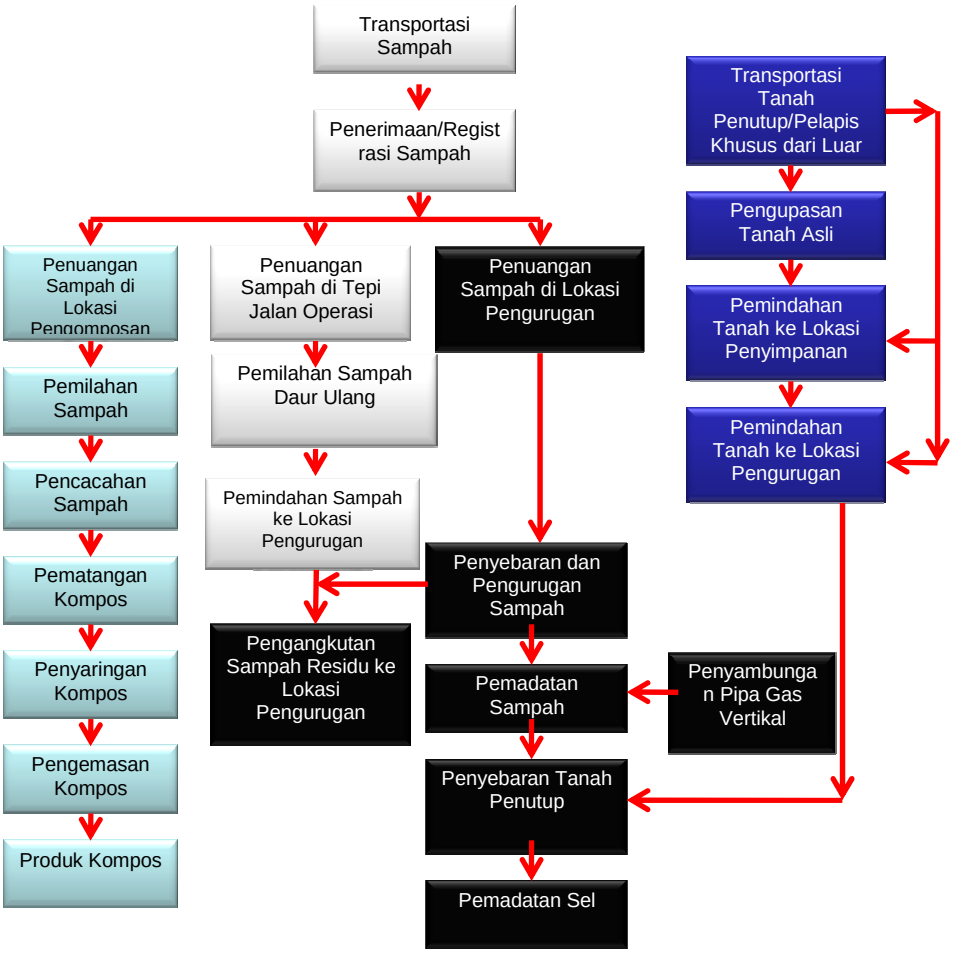
- Lahan yang tersedia di sebuah TPA tidak semua dapat digunakan untuk pengurugan atau penimbunan sampah
- Jarak yang dipersyaratkan antara dasar *landfill* dengan muka air tanah adalah 3,0 meter
- Ketinggian maksimum timbunan sampah akan menentukan lanskap akhir dari *landfill* tersebut kelak
- Ketersediaan tanah penutup memegang peranan sangat penting agar *landfilling* tersebut dapat beroperasi secara baik
- Penanganan sampah yang baik di area penimbunan akan meningkatkan masa layan lahan
- Adanya penurunan permukaan *(settlement)* timbunan sampah, baik secara mekanis maupun biologis, akan menambah kapasitas lahan sehingga memperlama masa layan.

Secara umum operasional mulai dari penerimaan dan penimbangan sampai dengan penimbunan sampah di dalam *landfill* dapat dilihat pada Gambar 26.

- Setiap truk pengangkut sampah yang masuk ke TPA membawa sampah harus melalui petugas registrasi guna dicatat jumlah, jenis dan sumbernya serta tanggal waktu pemasukan. Petugas berkewajiban menolak sampah yang dibawa dan akan diproses di TPA bila tidak sesuai ketentuan
- Mencatat secara rutin jumlah sampah yang masuk dalam satuan volume (m^3) dalam satuan berat (ton) per-hari. Pencatatan dilakukan secara praktis di jembatan timbang/pos jaga
- Berdasarkan hasil registrasi dapat ditentukan sampah akan dibawa ke lokasi pengomposan atau pemilahan atau langsung menuju ke lokasi penimbunan sampah
- Sisa dan residu dari proses pengomposan dan daur ulang akan dibawa juga menuju lokasi penimbunan sampah

Penuangan sampah di lokasi pengurugan dan proses pemadatan serta pembentukan sel-sel sampah di dalam sanitary *landfill* adalah *landfill* tersusun atas beberapa lapis sel yang dikompaksi. *Bench* diperlukan bila ketinggiannya sel sampah antara 15-25 meter. *Bench* digunakan untuk memberikan stabilitas pada kemiringan *landfill*, untuk saluran

drainase dan untuk meletakkan pipa gas. Lapisan penutup akhir digunakan bila operasional *landfill* sudah berakhir.



Gambar 26. Diagram Alir Operasional TPA

8.1. Pembagian Area Efektif Pengurugan

8.1.1. Lahan Efektif

Lahan efektif untuk pengurugan sampah dibagi menjadi beberapa area atau zone, yang merupakan penahapan pemanfaatan lahan. Zone operasi merupakan bagian dari lahan TPA yang digunakan untuk jangka waktu panjang misal 1-3 tahun. Lahan efektif

selanjutnya dapat dibagi dalam sub-area, atau sub-zone, atau blok operasi dengan lebar masing-masing sekitar 25 m. Setiap bagian tersebut dibagi menjadi beberapa *strip*. Pengurugan sampah harian dilakukan pada *strip* yang ditentukan, yang disebut *working face*. Setiap *working face* mempunyai lebar maksimum 25m, yang merupakan lebar sel sampah.

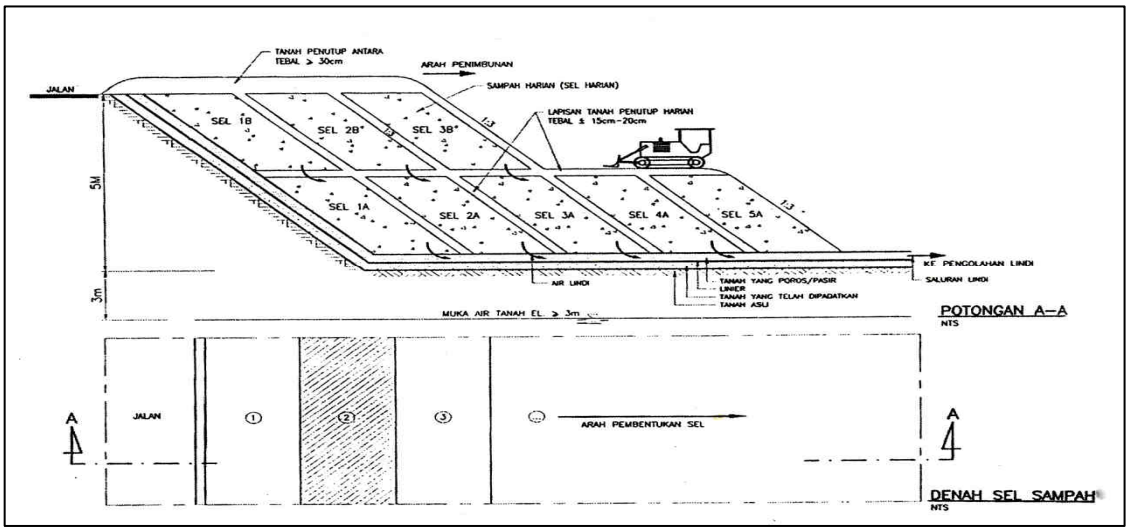
8.1.2. Pengaturan Sel

Sel merupakan bagian dari TPA yang digunakan untuk menampung sampah satu periode operasi terpendek sebelum ditutup dengan tanah. Pada sistem sanitary *landfill*, periode operasi terpendek adalah harian; yang berarti bahwa satu sel adalah bagian dari lahan yang digunakan untuk menampung sampah selama satu hari. Sementara untuk control *landfill* satu sel adalah untuk menampung sampah selama 3 hari, atau 1 minggu, atau operasi terpendek yang dimungkinkan. Dianjurkan periode operasi adalah 3 hari berdasarkan pertimbangan waktu penetasan telur lalat yang rata-rata mencapai 5 hari; dan asumsi bahwa sampah telah berumur 2 hari saat ada di TPS sehingga sebelum menetas perlu ditutup tanah agar telur/larva muda segera mati.

Untuk pengaturan sel perlu diperhatikan beberapa faktor:

a. Lebar sel sebaiknya berkisar antara 1,5-3 lebar blade alat berat agar manuver alat berat dapat lebih efisien
b. Ketebalan sel sebaiknya antara 2-3 meter. Ketebalan terlalu besar akan menurunkan stabilitas permukaan, sementara terlalu tipis akan menyebabkan pemborosan tanah penutup
c. Panjang sel dihitung berdasarkan volume sampah padat dibagi dengan lebar dan tebal sel.

Batas sel harus dibuat jelas dengan pemasangan patok-patok dan tali agar operasi penimbunan sampah dapat berjalan dengan lancar.



Gambar 17. Pembagian Sel Sampah

8.1.3. Blok Operasi

Blok operasi merupakan bagian dari lahan TPA yang digunakan untuk penimbunan sampah selama periode operasi menengah misalnya 1 atau 2 bulan. Luas blok operasi sama dengan luas sel dikalikan perbandingan periode operasi menengah dan pendek.

8.1.4. Pengurugan sampah

1. Sanitary *landfill*

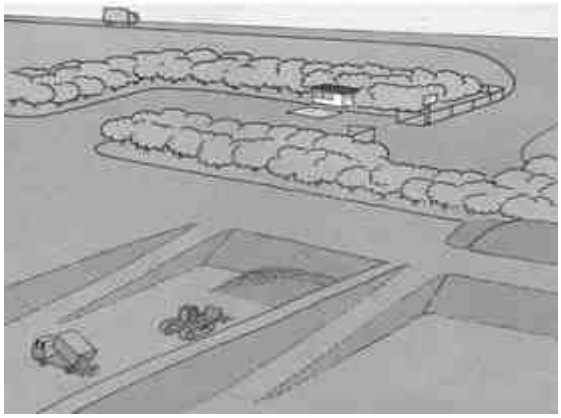
Sampah disebar dan dipadatkan lapis per-lapis sampai ketebalan sekitar 1,50 m yang terdiri dari lapisan-lapisan sampah setebal sekitar 0,5 m yang digilas dengan *steel wheel compactor* atau *dozer* paling tidak sebanyak 4 sampai 6 gilasan, dan setiap hari ditutup oleh tanah penutup setebal minimum 15 cm, sehingga menjadi sel-sel sampah. Setelah terbentuk 3 (tiga) lapisan, timbunan tersebut kemudian ditutup dengan tanah penutup antara setebal minimum 30 cm. Tinggi lapisan, setinggi sekitar 5 m, disebut sebagi 1 *lift*, dengan kemiringan talud sel maksimum 1:3.

2. Controlled *landfill*

Sampah disebar dan dipadatkan lapis per-lapis sampai ketebalan sekitar 4,50 m yang terdiri dari lapisan-lapisan sampah setebal sekitar 0,5 m yang digilas dengan *steel wheel compactor* atau *dozer* paling tidak sebanyak 3 sampai 5 gilasan, sehingga menjadi sel-sel sampah. Setelah terbentuk ketinggian tersebut, timbunan kemudian

ditutup dengan tanah penutup antara setebal minimum 20 cm. Tinggi lapisan, setinggi sekitar 5 m, disebut sebagi 1 *lift*.
Di atas timbunan sampah dalam bentuk *lift* tersebut kemudian diurug sampah baru, membentuk ketinggian seperti dijelaskan di muka. Bila pengurugan sampah dilakukan dengan metode area, untuk memperkuat kestabilan timbunan, maka batas antara 2 *lift* tersebut dibuat terasering selebar 3–5 m.

Denah TPA



Area efektif pengurugan

Gambar 28. Pembagian Area Efektif Pengurugan

8.2. Penanganan sampah yang masuk ke TPA

1. Kegiatan operasi pembuangan sampah secara berurutan akan meliputi:
    - Penerimaan sampah di pos pengendalian; dimana sampah diperiksa, ditimbang, dicatat dan diarahkan menuju area lokasi pembongkaran.
    - Pengangkutan sampah dari pos penerimaan ke lokasi sel yang dioperasikan; dilakukan sesuai rute yang diperintahkan.
    - Pembongkaran sampah dilakukan di titik bongkar yang telah ditentukan dengan manuver kendaraan sesuai petunjuk pengawas.
    - Perataan dan pemadatan sampah oleh alat berat yang dilakukan lapis demi lapis agar tercapai kepadatan optimum yang diinginkan. Dengan proses pemadatan yang baik dapat diharapkan kepadatan sampah meningkat hampir dua kali lipat.

- Pemadatan sampah oleh alat berat untuk mendapatkan timbunan sampah yang cukup padat sehingga stabilitas permukaannya diharapkan dapat menjadi menyangga lapisan berikutnya.
- Penutupan sampah dengan tanah untuk mendapatkan kondisi operasi *sanitary landfill*.

2. Setiap truk pengangkut sampah yang masuk ke TPA membawa sampah harus melalui petugas registrasi guna dicatat jumlah, jenis dan sumbernya serta tanggal waktu pemasukan. Petugas berkewajiban menolak sampah yang dibawa dan akan diproses di TPA bila tidak sesuai ketentuan.
3. Mencatat secara rutin jumlah sampah yang masuk dalam satuan volume (m^3) dalam satuan berat (ton) per-hari. Pencatatan dilakukan secara praktis di jembatan timbang/pos jaga dengan mengurangi berat truk masuk (isi) dengan berat truk keluar TPA (kosong).
4. Pemerosesan sampah masuk di TPA dapat terdiri dari :
   - Menuju area pengurugan untuk diurug, atau
   - Menuju area pemerosesan lain selain pengurugan, atau
   - Menuju area transit untuk diangkut ke luar TPA.
5. Pemulung ataupun kegiatan peternakan di lokasi TPA dan sekitarnya tidak dilarang, tetapi sebaiknya dikendalikan oleh suatu peraturan untuk ketertiban kegiatan tersebut.

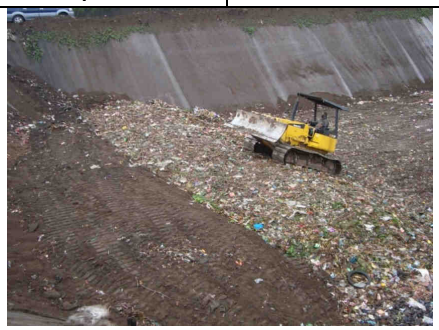
8.3. Pengurugan sampah pada bidang kerja

Letak titik pembongkaran harus diatur dan diinformasikan secara jelas kepada pengemudi truk agar mereka membuang pada titik yang benar sehingga proses berikutnya dapat dilaksanakan dengan efisien.

Titik bongkar umumnya diletakkan di tepi sel yang sedang dioperasikan dan berdekatan dengan jalan kerja sehingga kendaraan truk dapat dengan mudah mencapainya. Beberapa pengalaman menunjukkan bahwa titik bongkar yang ideal sulit dicapai pada saat hari hujan akibat licinnya jalan kerja. Hal ini perlu diantisipasi oleh penanggungjawab TPA agar tidak terjadi.

Penuangan Sampah

Perataan Sampah



Pemadatan Sampah

Gambar 29. Pengurugan Sampah pada Bidang Kerja

Jumlah titik bongkar pada setiap sel ditentukan oleh beberapa faktor:

- Lebar sel
- Waktu bongkar rata-rata
- Frekuensi kedatangan truk pada jam puncak

Harus diupayakan agar setiap kendaraan yang datang dapat segera mencapai titik bongkar dan melakukan pembongkaran sampah agar efisiensi kendaraan dapat dicapai.

Perataan dan pemadatan sampah dimaksudkan untuk mendapatkan kondisi pemanfaatan lahan yang efisien dan stabilitas permukaan TPA yang baik. Kepadatan sampah yang tinggi di TPA akan memerlukan volume lebih kecil sehingga daya tampung TPA bertambah, sementara permukaan yang stabil akan sangat mendukung penimbunan lapisan berikutnya.

Setelah sebuah truk melaksanakan tugasnya, maka alat angkut tersebut dicuci, paling tidak dengan membersihkan bak dan roda truk agar sampah yang melekat tidak terbawa ke luar lokasi operasi. Bilasan pencucian ini dialirkan menuju pengolah leachate, atau dikembalikan ke urugan sampah.

8.4. Penerapan Tanah Penutup

Frekuensi penutupan sampah dengan tanah disesuaikan dengan metode/teknologi yang diterapkan. Penutupan sel sampah pada sistem *sanitary landfill* dilakukan setiap hari, sementara pada *controlled landfill* dianjurkan 7 hari sekali.

Penurunan Tanah Penutup dari Truck

Perataan Tanah Penutup

Pemadatan Tanah Penutup

Gambar 30. Penutupan Tanah Harian

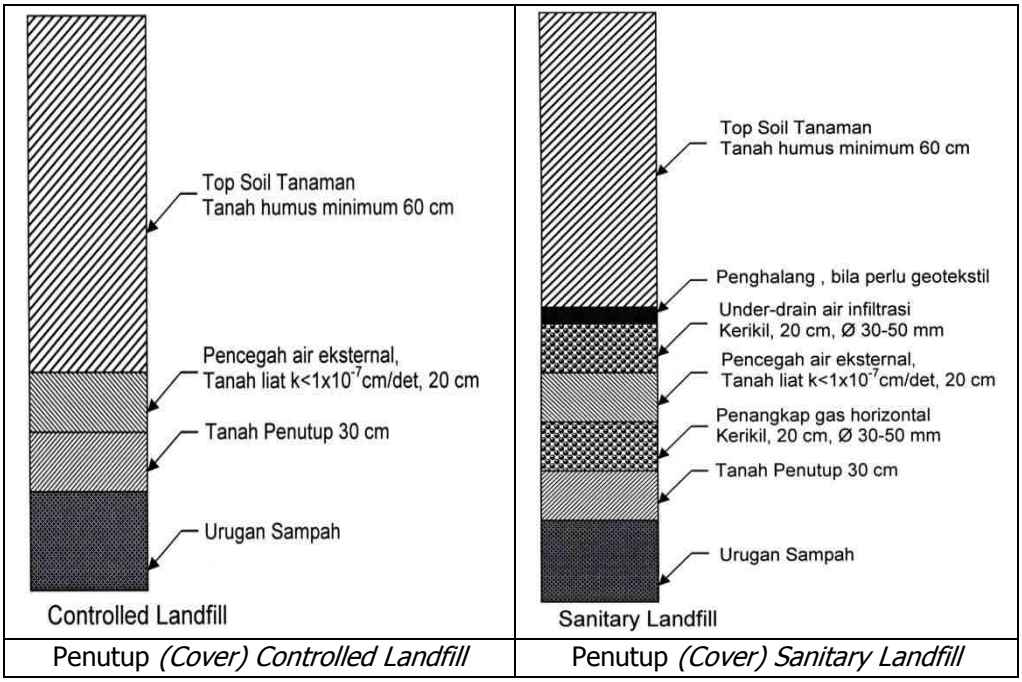
Sistem penutup akhir pada *sanitary landfill* terdiri atas beberapa lapis, yaitu berturut-turut dari bawah ke atas:

- Di atas timbunan sampah: lapisan tanah penutup reguler (harian atau antara). Bila sel harian tidak akan dilanjutkan untuk jangka waktu lebih dari 1 bulan, maka dibutuhkan penutup antara setebal 30 cm dengan pemadatan.
- Lapisan kerikil berdiameter 30 – 50 mm sebagai penangkap gas horizontal setebal 20 cm, yang berhubungan dengan perpipaan penangkap gas vertikal.
- Lapisan tanah liat setabal 20 cm dengan permeabilitas maksimal sebesar 1 x 10^{-7} cm/det.
- Lapisan kerikil under-drain penangkap air infiltrasi terdiri dari media kerikil berdiameter 30 – 50 mm setebal 20 cm, menuju sistem drainase. Bilamana diperlukan di atasnya dipasang lapisan geotekstil untuk mencegah masuknya tanah di atasnya
- Lapisan tanah humus setebal minimum 60 cm.

Sistem penutup akhir pada *controlled landfill* terdiri atas beberapa lapis, yaitu berturut-turut dari bawah ke atas :

- Di atas timbunan sampah: lapisan tanah penutup reguler (harian atau antara)
- Lapisan tanah liat setabal 20 cm dengan permeabilitas maksimal sebesar 1 x 10^{-7} cm/det
- Lapisan tanah humus setebal minimum 60 cm

Gambar 31. Penutupan Tanah Akhir



Penutup *(Cover) Controlled Landfill*	Penutup *(Cover) Sanitary Landfill*

Gambar 32. Sistem Penutup pada *Controlled Landfill* Dan *Sanitary Landfill*

Kemiringan tanah penutup akhir hendaknya mempunyai grading dengan kemiringan maksimum 1 : 3 untuk menghindari terjadinya erosi.

Kemiringan dan kondisi tanah penutup harus dikontrol setiap hari untuk menjamin peran dan fungsinya, bilamana perlu dilakukan penambahan dan perbaikan pada lapisan ini. Pada area yang telah dilaksanakan penutupan final diharuskan ditanami pohon yang sesuai dengan kondisi daerah setempat.

9. Pengawasan dan Pengendalian TPA

Setelah operasional berlangsung, maka perlu dilakukan monitoring terhadap pelaksanaan penimbunan sampah di lokasi TPA. Pemantauan dan pendataan rutin hendaknya dilakukan terhadap :

- Kualitas sampah yang masuk
- Kuantitasi kualitas leachate yang dihasilkan
- Kualitas leachate hasil pengolahan
- Kuantitas dan kualitas gasbio dan penyebarannya

- Kualitas lingkungan lainnya sekitar lokasi TPA, khususnya masalah bau, air tanah dan sumur-sumur penduduk, air sungai, kemungkinan terjadinya longsor, dan sebagainya.

Selain itu perlu dilakukan pendataan dengan mencatat permasalahan operasional lapangan yang penting, pengaduan dari masyarakat atau kesulitan yang dijumpai selama operasi harian. Pendataan rutin lainnya yang juga harus dilaksanakan, terkait dengan pengoperasian TPA adalah (Balitbangkim, 2009):

- Sumber, jumlah, karakteristik dan komposisi sampah yang ditangani
- Sisa kapasitas lahan yang tersedia.
- Setelah area pengurugan ditutup karena penuh, suatu laporan rinci perlu dibuat, yang berisi catatan dan data yang penting, yang terkait dengan monitoring jangka panjang.
- Kondisi sekitar lahan operasi, khususnya erosi timbunan, *settlement*, fungsi instalasi pengolah leachate dan pengendali gas-bio
- Kondisi drainase permukaan
- Kondisi jalan operasi
- Ketersediaan stok tanah penutup.
- Pada musim hujan, lakukan pengamatan rutin terhadap kemiringan tanah penutup harian, untuk menjamin pengaliran *run-off* dari atas lapisan penutup mengalir secara lancar menuju ke saluran drainase.
- Bila terdapat aktivitas *recovery* sampah dalam bentuk pemulungan sebelum pengurugan sampah, maka aktivitas ini hendaknya dimasukkan ke dalam tata-cara operasional rutin sehingga kegiatan-kegiatan tersebut berjalan secara sinergis dan saling menguntungkan.
- Timbunan sampah dalam *landfill* yang telah matang, sekitar 3-5 tahun, dapat digali kembali untuk dimanfaatkan sebagai kompos atau tanah penutup. Setelah *landfill site* ditata kembali, maka residu yang tidak dapat dimanfaatkan diurug kembali ke dalam tanah.

Kebutuhan alat berat untuk sebuah TPA akan bervariasi sesuai dengan perhitungan desain dari sarana *landfill* ini, sebagai contoh :

- *Loader* atau *bulldozer* (120 – 300 HP) atau *landfill compactor* (200 – 400 HP) berfungsi untuk mendorong, menyebarkan, menggilas/memadatkan lapisan sampah. Gunakan blade sesuai spesifikasi pabrik guna memenuhi kebutuhan kapasitas aktivitas

- *Excavator* untuk penggalian dan peletakan tanah penutup ataupun memindahkan sampah dengan spesifikasi yang disyaratkan dengan bucket 0,5 - 1,5 m^3.
- *Dump truck* untuk mengangkut tanah penutup (bila diperlukan) dengan volume 8-12 m^3.

Alat berat yang digunakan untuk operasi pengurugan sampah hendaknya selalu siap untuk dioperasikan setiap hari. Katalog dan tata-cara pemeliharaan harus tersedia di lapangan dan diketahui secara baik oleh petugas yang diberi tugas. Penggunaan dan pemeliharaan alat-alat berat harus sesuai dengan spesifikasi teknis dan rekomendasi pabrik.

10. Kegiatan Pasca Operasi TPA

Setelah lokasi TPA tidak dipergunakan kembali maka sangat penting untuk melakukan upaya monitoring pasca operasi ini. Pemantauan pasca operasi, paling tidak selama 10 (sepuluh) sampai dengan 20 (dua puluh) tahun terhadap leachate, gas-bio, dan *settelement*. Pada pasca operasi, pemantauan terhadap kualitas air tanah harus terus dilakukan secara rutin dan berkala mengingat masih ada potensi pencemaran dari sampah yang telah diurug. Pada pemantauan pasca operasi, mensyaratkan bahwa minimum harus ada 2 sumur pantau (1 di hulu dan 1 di hilir sesuai arah aliran air tanah), dan dipasang sampai dengan zona jenuh dipengaruhi oleh metode pelapisan tanah penutup akhir. Agar lahan TPA pasca operasi dapat dimanfaatkan dengan baik, maka tanah penutup harus memenuhi persyaratan sebagai tanah penutup akhir. Pola penutupan juga direncanakan sesuai dengan lansekap akhir.

Kegiatan pasca operasi TPA antara lain meliputi kegiatan :

- Inspeksi rutin
- Kegiatan revegetasi dan pemeliharaan lapisan penutup
- Penanaman dan pemeliharaan tanaman di TPA
- Pemeliharaan dan kontrol *leachate* dan gas
- Pembersihan dan pemeliharaan saluran-saluran drainase
- Pemantauan penurunan lapisan dan stabilitas lereng
- Pemantauan kualitas lingkungan.

Pemanfaatan lahan TPA pasca operasi sangat dipengaruhi oleh metode pelapisan tanah penutup akhir. Agar lahan TPA lama pasca operasi dapat dimanfaatkan dengan

baik, maka tanah penutup harus memenuhi persyaratan sebagai tanah penutup akhir. Pola penutupan juga direncanakan sesuai dengan lansekap akhir.

Pada pasca operasi, pemantauan terhadap kualitas air tanah harus terus dilakukan secara rutin dan berkala mengingat masih ada potensi pencemaran dari sampah yang telah diurug. Pada pemantauan pasca operasi, mensyaratkan bahwa minimum harus ada 2 sumur pantau (1 di hulu dan 1 di hilir sesuai arah aliran air tanah), dan dipasang sampai dengan zona jenuh.

Tabel 8. Kegiatan Pemantauan Pasca Operasi TPA

Inspeksi	**Frekuensi**	**Tinjauan**
Kestabilan tanah	2 x setahun	Penurunan elevasi tanah
Tanah penutup	setahun sekali dan setelah hujan lebat	Erosi dan longsor
Vegetasi Penutup	4 x setahun	Tanaman yang mati
Gradiasi akhir	2 x setahun	Muka tanah
Drainase Permukaan	4 x setahun dan setelah hujan lebat	Kerusakan saluran
Monitoring gas	Terus menerus, 1 - 3 bulan sekali hingga 20 tahun pengoperasian	Bau, pembakar nyala api, kerusakan pipa
Pengawasan air tanah	Sesuai rencana pengelolaan	Kerusakan sumur , pompa dan perpipaan
Sanitasi Lingkungan	6 bulan sekali pada awal musim, bertambah 1 bulan sekali bila terdapat pertambahan lalat pada radius 3 km	Jumlah (indeks) lalat
Sistem pengendali *leachate*	Sesuai rencana pengelolaan selama 20 tahun	Posisi : *inlet* dan *outlet*

Bekas lahan TPA pasca operasi dapat digunakan antara lain untuk kegunaan :

- Rekreasi aktif area contoh *golf course* atau atletik, dan rekreasi pasif
- Lahan penghijauan
- Taman
- Cagar alam
- Taman botani
- Lahan pertanian, dengan catatan bahwa top soil dipertahankan minimum 60 cm dan dikelola secara baik, khususnya bila akan digunakan untuk tanaman konsumsi yang berakar serabut
- Penggunaan sebagai lahan perumahan sederhana dapat dilakukan setelah kestabilan tercapai (syarat kriteria stabilitas dengan nilai *safety factor* (SF) minimum 1,3 untuk kemiringan timbunan sementara dan 1,5 untuk kemiringan yang permanen).

10.1. *Landfill Mining*

Penambangan TPA (*landfill mining*) selain mengatasi masalah kesulitan penyediaan lahan untuk TPA baru juga merupakan upaya untuk mendapatkan kembali bahan bermanfaat dari urugan atau timbunan sampah yang sudah ditutup, yaitu bahan berupa tanah penutup atau kompos, dengan cara menggali sarana tersebut dan menyaring sampahnya. Kegiatan *landfill mining* ini dapat dilakukan minimum setelah 5 tahun pasca penutupan TPA.

10.2. *Landfill Reuse*

Penggunaan kembali TPA (*reused landfill*) merupakan pemanfaatan lahan tersedia pasca penambangan TPA menjadi area pengurugan kembali. TPA lama yang telah ditambang sampahnya, dapat menjadi sel-sel pengurugan baru, sedangkan sampah yang ditambang dipindahkan dan dapat dimanfaatkan sebagai kompos untuk tanaman non-makanan dan sangat baik sebagai tanah penutup harian atau antara.