

BAGIAN ENAM PENANGANAN GAS-BIO

1 LATAR BELAKANG

Metode pengurugan sampah dan buangan padat lainnya yang tergolong biodegradabel ke dalam tanah, yang dikenal sebagai metode dengan lahan-urug, bukan hanya sekedar mengisolasi limbah tersebut di dalam tanah, tetapi juga memanfaatkan kemungkinan aspek pemusnahannya melalui proses biodegradasi secara alamiah, disamping memperhatikan aspek perlindungan terhadap lingkungan. Lahan yang cocok dan layak untuk pengurugan sampah makin sulit didapat, khususnya di kota-kota besar di Indonesia, sehingga lokasinya kadangkala terletak jauh dari sentroid sumber sampah, yang mengakibatkan naiknya biaya pengangkutannya. Memperpanjang masa layan lahan yang tersedia merupakan salah satu upaya yang sangat dianjurkan, misalnya dengan mempercepat stabilitas sampah yang diurug. Percepatan biodegradasi sampah di timbunan akan mempercepat stabilitas lahan-urug tersebut, yang dapat ditandai dengan *settlement* yang lebih cepat. Pada limbah yang sebagian besar komponennya biodegradabel, seperti sampah perkotaan, laju kestabilan itu akhirnya akan banyak ditentukan oleh laju degradasi materi organik dari sampah tersebut.

Tolak ukur yang biasa digunakan untuk memantau kestabilan sebuah lahan-urug adalah [ED]:

- Kandungan lindi yang telah sesuai dengan baku mutu yang berlaku,
- Potensi gas bio yang telah dapat diabaikan,
- Penurunan (*settlement*) timbunan yang dapat diabaikan

Di negara industri, upaya percepatan stabilitas sebuah lahan-urug merupakan hal yang terus dikembangkan. Hal ini terutama dirasakan perlunya terutama setelah cara ini diterapkan pula untuk limbah non-domestik, seperti untuk limbah industri, baik dalam bentuk pencampuran dengan sampah kota (*co-disposal*) yang lebih menguntungkan dari sudut kestabilan, maupun dalam bentuk terpisah dan spesifik untuk sampah sejenis. Pengembangan yang banyak dilakukan adalah bersasaran untuk lebih mengoptimalkan lahan yang ada serta sekaligus mempercepat kestabilannya, dengan memandang lahan tersebut sebagai sebuah bio-reaktor yang besar.

2 DEGRADASI MATERI ORGANIK PADA LAHAN-URUG

Pada awalnya sampah yang ditimbun akan mengalami proses degradasi secara aerob. Tetapi sejalan dengan teknik operasional yang saat ini dianut, yaitu sampah ditimbun lapis per lapis dan setiap periode tertentu ditutup dengan tanah penutup, maka kondisi aerob tidak dapat lama bertahan dalam. Kondisi yang paling dominan kemudian adalah kondisi anaerob, sehingga memunculkan timbulnya gas-bio, khususnya gas metana (CH₄) dan CO₂.

Kondisi aerob sebetulnya diinginkan, mengingat membawa keuntungan antara lain:

- Relatif tidak menimbulkan bau,
- Proses degradasi lebih cepat,
- Lindi yang dihasilkan akan lebih ringan
- Memungkinkan kondisi eksotermis

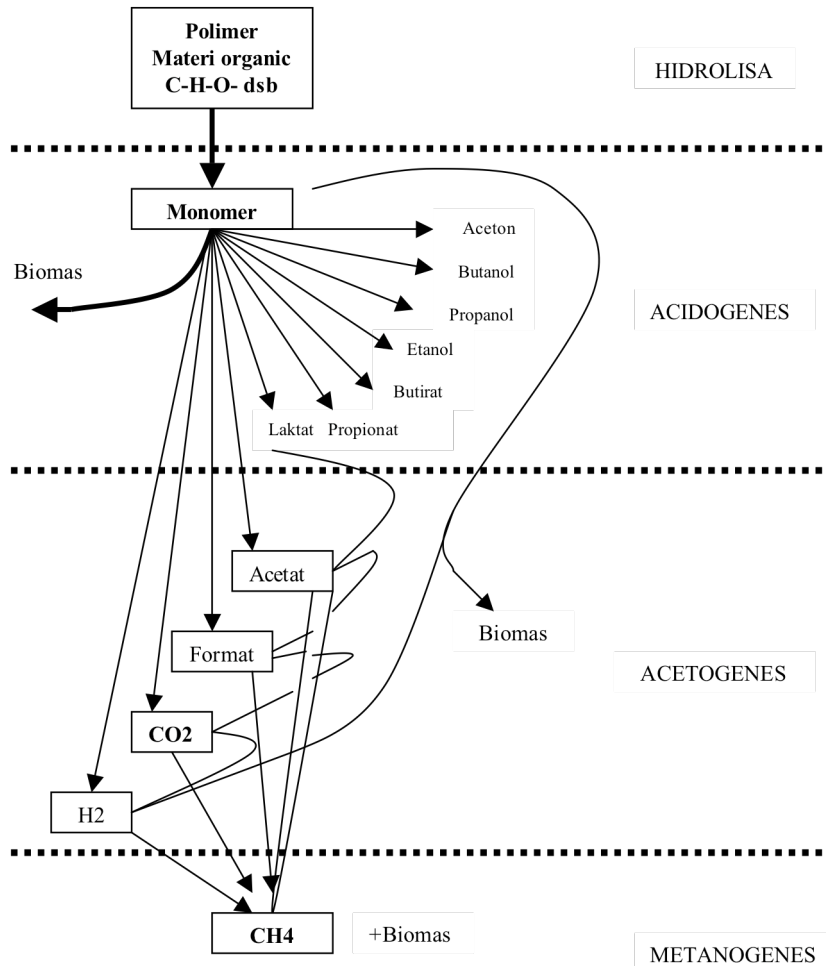
Namun hal ini sulit dicapai pada kondisi pengoperasian yang biasa. Beberapa usaha yang sudah dirintis adalah menerapkan lahan-urug semi aerob atau lahan-urug aerob dengan suplai udara.

Dalam kondisi anaerob, materi organik umumnya akan terurai tahapan (Gambar 6.1):

- Likuifaksi/hidrolisa
- Asidogenes
- Asetogenes
- Metanogenes

Produk akhir dari proses anaerob adalah pembentukan gas metan (CH₄). Produk yang dihasilkan sebelum terbentuknya fase metanogen adalah asam-asam organik yang

menyebabkan *leachate* (lindi) dari timbunan tersebut bercirikan COD atau BOD yang tinggi dengan pH yang rendah, serta penyebab timbulnya bau khas sampah yang membusuk. Bila tahap ini lebih dipersingkat lagi keberadaannya dalam sistem, dengan mengkonversi segera asam-asam tersebut menjadi metan, maka beban organik dalam lindi akan menjadi berkurang, yang secara tidak langsung akan mengurangi kelarutan mineral dalam lindi.

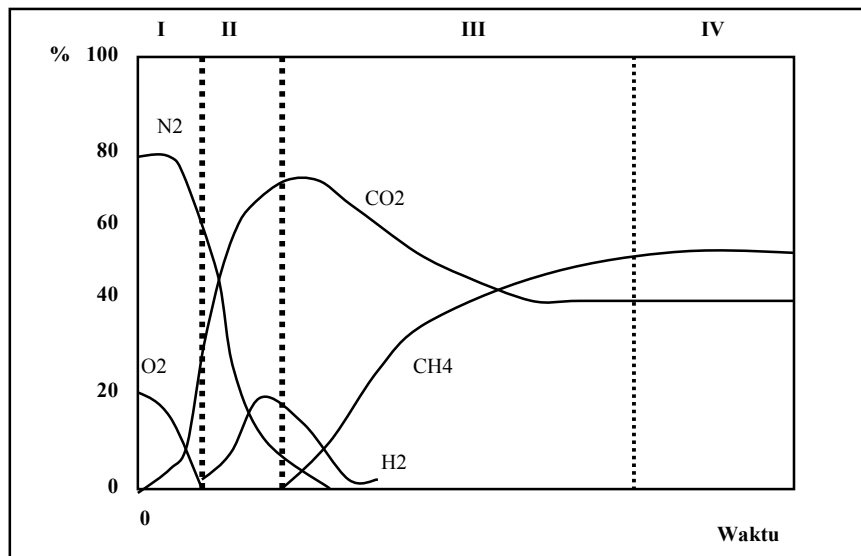


Gambar 6.1: Tahapan proses degradasi materi organik secara anaerobik [Demeyer]

Stanforth at al (1979) memperkenalkan model proses degradasi yang dapat terjadi dalam sebuah lahan-urug, berdasarkan teori klasik dari proses degradasi materi organik. Model tersebut membagi proses degradasi menjadi 2 fase, yaitu :

- a) Fase aerob, ditandai oleh likuifaksi dan hidrolisa materi organik, yang mengakibatkan turunnya pH dan larutnya mineral-mineral (I dan II)
- b) Fase anaerob, dibagi menjadi 2 tahap, yaitu (III dan IV):
 - Tahap 1 : setelah oksigen berkurang, maka bakteri anaerob fakultatif menjadi dominan, likuifaksi terus berlangsung, sejumlah besar asam-asam volatil serta CO₂ akan dihasilkan dari sistem ini, dan materi anorganik akan lebih banyak lagi larut, terutama karena turunnya pH.
 - Tahap 2 : fase ini bisa berlangsung karena meningkatnya alkalinitas sehingga pH menjadi naik, dan memungkinkan bakteri-bakteri metan dapat hidup; asam-asam volatil akan dikonversi menjadi metan dan CO₂, dan materi organik terlarut menjadi berkurang karena kelarutannya menjadi berkurang akibat pH yang naik.

Gambar 6.2 adalah gambaran umum fase-fase tersebut.



Gambar 6.2: Tahapan proses biodegradasi materi organik dalam landfill (Stanforth)

3 FAKTOR-FAKTOR BERPENGARUH DALAM PROSES DEKOMPOSISI

Percepatan stabilitas materi organik dalam kondisi anaerob dalam sebuah *landfill*, secara langsung memacu percepatan produksi gas bio. Beberapa faktor tersebut akan diuraikan secara umum berdasarkan pustaka-pustaka terkait di bawah ini (Gambar 6.3):

a. Temperatur:

Produksi gas bio mengenal 2 zone temperatur optimum sesuai aktivitas 2 mikroflora yang berbeda, yaitu :

- antara 36° - 40° C dikenal sebagai zone mesofilik,
- antara 55° - 60° C dikenal sebagai zone termofilik

Dengan simulasi lahan-urug pada kondisi laboratorium, Damanhuri (1987) mendapatkan bahwa produktivitas metan adalah 0,006-0,007 L/kg MV/hari pada temperatur 20°C, sedangkan pada temperatur 37°C menghasilkan produktivitas sebesar 2,38-2,413 L/kg MV/hari. Kenyataannya di lapangan, pengaturan temperatur praktis sulit dilaksanakan. Namun hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi Indonesia yang mempunyai temperatur udara relatif lebih tinggi, akan diperoleh produktivitas gas bio yang lebih baik dibandingkan pada daerah yang beriklim dingin.

b. Kelembaban:

Laju produksi gas bio akan bertambah dengan bertambahnya kelembaban. Tambah tinggi kelembaban, akan tambah tinggi produktivitas gasbio. Adanya kelembaban disamping merupakan kebutuhan mikroorganisme, juga berfungsi untuk mendistribusikan nutrisi dalam timbunan sampah. Jumlah air serta aliran air merupakan dua parameter yang berbeda, dimana gerakan air ternyata juga mempengaruhi laju produktivitas gas bio dalam sebuah lahan-urug [ED tesis].

c. Faktor pH dan potensial redoks:

Efek pH pada proses metanisasi sudah banyak diketahui. Produksi metan akan baik pada kondisi netral. Turunnya pH, misalnya akibat akumulasi asam-asam volatil, akan merupakan penghalang bagi aktivitas metanogenes.

Penelitian laboratorium dalam rangka mengoptimalkan kondisi lahan-urug banyak dilakukan dari sudut pengaturan pH ini, baik pada sampah sebelum ditimbun dalam lahan urug artifisial, maupun pada lindi yang diresirkulasi ke dalam timbunan sel. Hasil-hasil yang diperoleh menunjukkan hal yang positif, terutama untuk mempercepat mulainya tahap metanogenes dalam sistem tersebut..

Hasil yang diperoleh dalam skala laboratorium atau pilot menimbulkan idea baru dalam pengelolaan sebuah lahan-urug, misalnya dengan konsep *accelerated landfill*, dimana dari awal operasinya telah diharapkan timbulnya kondisi lingkungan yang mendukung aktivitas metanogenes, misalnya dengan pengolahan pendahuluan ataupun teknik lain yang aplikatif di lapangan.

d. Nutrisi:

Untuk pengembangan dan sintesis selnya, mikroorganisme membutuhkan substrat nutrisi, yang pada dasarnya berlimpah dalam sampah. Untuk hidup dan pertumbuhannya, bakteri menggunakan kira-kira 30 bagian karbon untuk 1 bagian nitrogen. Nilai C/N biasanya terletak antara 20-35, sedang nilai C/P yang ideal terletak sekitar 150.

Konsep resirkulasi lindi secara tidak langsung bertujuan untuk mendistribusikan nutrisi siap pakai, dan sekaligus merupakan *seeding* mikroorganisme ke seluruh sel-sel sampah dalam timbunan. Disamping itu, resirkulasi bersasaran memasok air dan sekaligus mendistribusikan secara baik ke seluruh lapisan sel-sel timbunan sampah.

e. Pemotongan:

Dalam reaktor anaerob biasa, pengurangan ukuran materi biasanya akan mendorong lebih banyak produksi metan karena adanya peningkatan luas permukaan substrat yang dapat kontak dengan mikroorganisme, misalnya akibat pemotongan bahan tersebut.

Namun penelitian yang dilakukan oleh DeWalle (1978) menunjukkan bahwa pemotongan sampah sampai faktor 10 akan menaikkan produksi gas bio dengan faktor 4,4 tanpa timbulnya gas metan. Buivid et al (1981) mengamati bahwa produksi metan adalah lebih kecil sebanyak 3,2 kali pada sampah yang mempunyai ukuran 10-15 cm, dibandingkan sampah yang mempunyai ukuran 20-35 cm. Agaknya pemotongan sampah pada sebuah lahan-urug lebih banyak mendorong fase hidrolisa, sehingga lebih banyak timbulnya asam-asam volatil. Bila kondisi ini tidak diikuti dengan kondisi yang memungkinkan timbulnya aktivitas mikroorganisme metanogen, maka gas bio yang dihasilkan akan miskin metan.

f. Densitas:

De Walle (1978) menyatakan bahwa kenaikan densitas timbunan sampah akan menurunkan luas permukaan efektif yang dapat kontak dengan mikroorganisme, sehingga akan mengurangi produksi gas bio. Sebaliknya Buivid et al (1981) berpendapat bahwa pemadatan timbunan sampah justru akan lebih mempercepat produksi metan karena mengurangi masuknya oksigen ke dalam sistem. Kedua pendapat tersebut belum pernah dikonfirmasi dalam lahan-urug yang diooperasikan pada kondisi berbeda secara nyata di lapangan.

4 BEBERAPA BESARAN YANG BERKAITAN DENGAN GAS BIO SAMPAH

Secara teoritis M^3 gasbio, dengan 50% gas metan, ekuivalen dengan 0,58 liter bensin, atau 1,07 liter alkohol, atau $0,53 M^3$ gas alam, atau 2,24 Kg kayu bakar atau 5,80 kWh listrik.

Beberapa perhitungan teoritis :

- Bila dianggap bahwa seluruh materi volatil adalah sellulosa dan CO_2 dan CH_4 sebesar 50%: 50%, maka secara teoritis produksinya adalah $829 L/kg-Volatil = 414,5 L metan/kg-Volatil$.
- Jika berdasarkan pada komposisi yang ada (L/kg-kering):
 - glukosa $C_6 H_{12} O_6$ akan dihasilkan:
 - substrat murni : 350 CH_4 dan 350 CO_2
 - sampah : 160 CH_4 dan 160 CO_2
 - protein $C_4 H_6 OH$ akan dihasilkan :
 - substrat murni : 580 CH_4 dan 590 CO_2
 - sampah : 10 CH_4 dan 10 CO_2
 - lipida $C_{15} H_{31} COOH$ akan dihasilkan :
 - substrat murni : 1010 CH_4 dan 390 CO_2
 - sampah : 40 CH_4 dan 20 CO_2

sehingga maksimum potensi gas-bio sampah adalah 400 L biogas/kg-kering atau 210 L metan/kg-kering.

Digestor skala laboratorium:

- Reaktor kecil dengan kontrol temperatur 35-37 °C
 - Diaz : 45 - 295 L biogas/kg MV = 27 - 177 L /kg MS
 - Stenstrom : 440 - 560 L biogas/kg MV = 270 - 264 L/kg MS
 - Cooney & Wis = 467 L biogas/kg MV = 280 L/kg MS
- Pada beberapa lisimeter sampah kotah, yang dioperasikan tanpa kontrol temperatur = 2,6 - 183 L/kg MV
- Pada lisimeter sampah kota yang dioperasikan dengan resirkulasi lindi = 0,137 L/kg MV/hari = 0,026 L metan/kg MV/hari

d. Digestor skala komersial:

- Valorga (Perancis) : pilot metanisasi sampah kota skala industri, dengan kondisi:
 - konsentrasi solid 30-40 % (air = 60-70%)
 - reaktor komersil = 500 m³
 - prapengolahan : pemilahan dan pemotongan
 - resirkulasi cairan dari reaktor kembali ke reaktor

diperoleh produksi = 140 L biogas/materi solid dengan 65 % metan

- Cetom Methane (Perancis) : reaktor anaerobik skala komersil menghasilkan produksi = 240 L/kg MV dengan konsentrasi metan = 60 %
- e. Produksi gas bio pada *landfill* secara teoritis:
- Estimasi Frerote adalah bahwa hanya 20-25 % yang dapat dimanfaatkan (ditangkap) dengan produksi taksiran = 30 - 40 L biogas/kg MS
 - taksiran Mouton = 30 - 50 L metan/kg MS
 - perkiraan kasar di landfill (USA) = 20-25 mL/kg MS/hari
- f. Produksi nyata biogas di lapangan di luar negeri (berskala komersial):
- landfill Palas Verde (USA) = 0,030 - 0,056 L/kg MV/hari atau sekitar 11,5 - 13 m³/ton sampah/tahun
 - landfill Sheldon Arletta (USA) = 0,022 L/kg MV/hari
 - landfill Mountain View (USA) = 0,045 L/kgMV/hari
 - uji coba di Perancis pada beberapa landfill = 0,064 L/kg MS/hari

5 GAS-BIO DI LANDFILL

Pada sarana lahan urug yang baik, sarana penangkap gas sudah diperhitungkan, paling tidak pada akhir penggunaan lahan tersebut. Timbulnya gasbio dapat menimbulkan dampak negatif bila tidak ditangani secara baik karena akan menimbulkan ledakan bila berada di udara dengan konsentrasi sekitar 15%. Secara global gas metan mempunyai potensi efek rumah kaca 22 kali dibanding CO₂. Oleh karenanya gas metan yang terbentuk harus dikonversi menjadi CO₂ dengan jalan membakarnya. Oleh karena itu timbulnya gas metan dapat dianggap sebagai nilai tambah dari sebuah landfill, dengan memanfaatkan gas yang terbentuk sebagai sumber energi. Beberapa negara industri telah mengkomersialkan gas yang terbentuk dari sebuah landfill sampah kota.

Beberapa aspek yang dapat ditimbulkan oleh gas-gas ini adalah:

- Gangguan terhadap tanaman dilokasi landfill atau sekitarnya. karena mengurangi oksigen pada zone akar, meningkatkan suhu tanah, efek toxic pada fisiologi tanaman
- Methane pada konsentrasi 5-15 % volume udara mudah terbakar/meledak juga merupakan kotributor dalam pemanasan global.
- Walaupun methane dan karbon dioksida tidak berbau tetapi gas-gas yang lain seperti H₂S, mercaptane dan gas organik menimbulkan bau.
- Karbon dioksida dapat meningkatkan kesadahan air.

Pergerakan methane dapat melalui mekanisme difusi (gradien konsentrasi) maupun konveksi (gradien tekanan). Tetapi biasanya yang berpengaruh/utama adalah dengan konveksi. Gas senantiasa mengalir melalui bagian yang dengan rintangan yang minimum, dan lebih cepat lagi pada material porous. Gas metan akan cenderung naik ke atas, karena lebih ringan dibanding udara, sedang gas CO₂ akan cenderung berada di bawah, dan dapat terakumulasi di tempat-tempat tertentu seperti di sumur.

Gas yang terkandung dalam landfill walaupun tekanannya rendah dapat bermigrasi dalam arah horisontal. Hal ini terjadi apabila permeabilitas horisontal dari tanah di area tersebut "lebih tinggi" dibandingkan dengan permeabilitas vertikalnya. Migrasi gas keluar dapat diatasi dengan jalan memompa gas melalui pipa-pipa pengumpul gas di sekeliling landfill. (Beizer, 1983). Kualitas penutupan tanah akhir sangat menentukan besarnya tekanan gas. Karena tekanan gas biasanya sangat rendah, maka untuk mengeluarkan gas dari tempatnya harus dipompakan.

Timbulan dan Kualitas Gas:

Daley (1981) melakukan studi untuk menentukan jumlah gas TPA maksimum yang dapat dihasilkan dari sampah kota. Studi tersebut melaporkan bahwa jumlah gas metan maksimum yang dapat dihasilkan dari tiap kg sampah adalah bervariasi antara 0,12-0,45 m³. Dari jumlah gas maksimum, diperkirakan hanya seperempat yang dapat dikumpulkan karena sebagian gas lolos dan karena penguraian yang tidak sempurna. Produksi metan sangat bervariasi bergantung pada karakteristik sampah dan kondisi di landfill tersebut. Shumacher (1983) memberikan nilai 0,04 cuft/lb sampah/tahun. Typical 0.04 ft³/lb sampah (0.0025 m³/kg).

Pada umumnya, jumlah metan yang terkandung di dalam gas tersebut antara 40-60%, jumlah gas metan dan karbondioksida mencapai 90-99%, sedangkan sisanya antara 1-10% terdiri dari nitrogen, H₂S, H₂O dan CH₃SH (mercaptans) [Van den Broek, 1985]. Dalam beberapa kasus, gas metan yang dihasilkan tidak mencapai tingkat yang memadai hingga 2 sampai 4 tahun setelah lahan urug ditutup.

Untuk menghitung timbulan gas dari suatu landfill dapat digunakan persamaan dari O. Tabasaran yaitu:

$$kdt = \frac{dCg}{(Cc - Cg)} \dots\dots\dots(1)$$

$$Cc = Ct(0.014T + 0.28) \dots\dots\dots(2)$$

dimana Cg : karbon yang dikonversi menjadi gas

t : waktu

k : koefisien reaksi

Cc : total karbon dikonversi menjadi gas

T = suhu rata-rata (26°C)

Ct = Karbon organik yang dapat terkonversi menjadi gas

Selanjutnya : $Gc = kGc \times Cc \dots\dots\dots(3)$

$$Gt = Gc \times 10^{-kt} \dots\dots\dots(4)$$

t = waktu (tahun)

k = koefisien reaksi penguraian karbon organik (0.03)

Contoh :

Sebuah landfill sampah kota berumur 5 tahun, kapasitas sampah yang masuk adalah 500 m³/hari dan tidak mengalami kenaikan selama operasi. Suhu rata-rata di daerah itu adalah 26°C.

Untuk memperkirakan produksi gas bio, digunakan langkah-langkah sebagai berikut :

Dengan menggunakan formula dari Tabasaran maka

$$Cc = Ct(0.014T + 0.28)$$

$$Cc = 200 ((0.014 \times 26) + 0.28)$$

$$Cc = 128.8$$

T = suhu rata-rata (26°C)

Ct = Karbon organik yang dapat terkonversi menjadi gas (200 kg/ton)

1 kg karbon organik akan dapat menghasilkan 1,868 m³ (kGc) gas yang terdiri dari gas methane (CH₄) dan gas CO₂.

$$Gc = kGc \times Cc$$

$$Gc = 1.868 \times 128.8$$

$$Gc = 240.6$$

$$Gt = Gc \times 10^{-kt}$$

$$Gt = 240.6 \times 10^{-0.03t}$$

t = waktu (tahun)

k = koefisien reaksi penguraian karbon organik (0.03)

Gas yang dihasilkan merupakan turunan pertama dari Gt
 $\Delta Gt = 16,62 \times 10^{-0.03t} \times \text{berat (ton/tahun) sampah yang masuk}$

Sistem Penyaluran Gas:

Guna mengalirkan gas yang terbentuk ke udara bebas, atau menuju ke pemanfaatan gas bio dibutuhkan ventilasi. Metode untuk mengendalikan 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 untuk penyaluran dan atau pengumpulan gas
- Pembuatan ventilasi di dalam lokasi landfill
- Pembuatan ventilasi di sekeliling perbatasan landfill (perimeter)

Ventilasi dapat dilakukan secara pasif ataupun secara aktif dan secara aktif:

Ventilasi secara aktif terdiri dari pipa berlubang dalam sumuran berisi kerikil, atau pipa berlubang yang diletakkan secara horizontal dalam saluran berisi kerikil. Saluran atau sumuran ini dihubungkan dengan pipa utama ke suatu *exhaust blower* yang menciptakan keadaan vakum. Pada sistem ini pergerakan gas lebih terkontrol tetapi lebih mahal. Lebih lazim digunakan pada sistem yang bermaksud akan memanfaatkan gas metan. Sedang pada ventilasi secara pasif hanya mengandalkan pada materi permeabel yang ditempatkan pada jalan aliran gas. Agar efektif, pasir harus mempunyai gradien tekanan alami. Saluran atau sumuran yang permeabel bertindak sebagai daerah dengan tekanan lebih rendah sehingga akan terjadi aliran konveksi. Pengendalian dari sekeliling lahan tidak dapat mengendalikan pergerakan gas ke udara tetapi hanya pergerakan dalam tanah (lateral).

Alternatif dalam pengendalian secara pasif tersebut adalah dengan pengadaan:

- pembatasan dengan gravel
- vent stack
- sumuran gravel
- kombinasi ketiga hal di atas

Lapisan pengendali sekeliling lahan (perimeter) tersebut tidak terlalu dibutuhkan bila site telah memiliki sistem vent pada lokasi yang telah menggunakan sistem liner.

Sistem penyaluran gas dapat berupa:

- Ventilasi horizontal : merupakan ventilasi yang bertujuan untuk membentuk aliran gas dalam satu sel.
- Ventilasi vertikal : merupakan ventilasi yang mengarahkan gas yang terbentuk mengalir ke udara bebas.
- Ventilasi akhir : merupakan ventilasi yang dibangun pada saat timbunan akhir sudah terbentuk.

Lapisan impermeabel akan membatasi dan mengisolasi sampah yang ditimbun sehingga dapat membantu pengaliran gas. Lapisan impermeabel yang dapat dipergunakan adalah membran sintesis, clay, beton dan aspal. Tanah clay dapat menjaga nilai saturasi tanah, yang dapat menciptakan rongga untuk pergerakan gas. An Hua (1981) menunjukkan bahwa aliran gas dalam arah horizontal adalah 37,5 kali lebih besar dibandingkan dengan aliran gas dalam arah vertikal. Sistem pengumpul gas horizontal biasanya dibangun setelah terbentuk 2 lapisan atau lebih kemudian diteruskan hingga selesainya timbunan. Jarak sistem vertikal biasanya 25 m, sedang jarak horizontal sekitar 30 m. Ventilasi horizontal biasanya berbentuk saluran-saluran kerikil, yang berfungsi juga untuk pengaliran lindi. Sistem pengumpul horizontal dengan perpipaian lebih diutamakan pada landfill yang luas.

Perpipaan gas dapat terdiri dari pipa vertikal dan horizontal. Pipa gas horizontal dalam hal ini bukan merupakan sistem khusus penangkapan gas tetapi dikaitkan dengan pipa pengumpul lindi. Karenanya, di setiap ujung pipa pengumpul lindi dibuat pipa vertikal untuk menyalurkan gas yang terakumulasi di dalam pipa horizontal. Beberapa kriteria desain perpipaian vertikal pipa biogas:

- Pipa gas dengan casing PVC atau PE : 100- 150 mm
- Lubang bore: 50 - 100 cm

- Perforasi: 8 - 12 mm
- Kedalaman: 80 %

Sementara itu Tchobanoglous mengindikasikan bahwa jarak antar pipa bergantung pada tudung penutup yang digunakan yaitu :

- Geomembran: jarak antar pipa = 45 – 60 m
- Clay dan tanah penutup: jarak antar pipa = 30 m

Pengelolaan Akhir Gás:

Apabila gas tidak dimanfaatkan ataupun tidak dibakar, maka di akhir operasi pipa vertikal diakhiri dengan penggunaan pipa beton diameter berlubang-lubang, dan ujung pipa memiliki ketinggian 1 m dari elevasi akhir. Namun sebaiknya gas yang terbentuk dimanfaatkan. Disamping akan diperoleh energi, juga dapat mengurangi efek rumah kaca. Bila tidak dimanfaatkan, maka sangat dianjurkan agar gas bio yang terbentuk dibakar melalui flare. Prinsip dalam desain pemanfaatan gas adalah:

- Kualitas gas yang sesuai dengan kebutuhan pemakai
- Kapasitas rencana sistem

Kapasitas desain sistem dihitung berdasarkan :

- Proyeksi gas yang dapat dihasilkan
- Laju produktivitas gas
- Estimasi presentasi gas yang dapat dimanfaatkan dan keinginan pemakai

Jika gas akan digunakan dalam pembakaran ataupun pembangkit tenaga listrik, adanya gas-gas lain selain metan, tidak menjadi masalah yang besar.

Komponen-komponen yang dibutuhkan dalam sistem pengelolaan gas meliputi:

- Perpipa horizontal dan vertikal : pembawa gas
- Kompresor: penyedot gas bio
- Storage: Pengumpul /penyimpan gas bio
- Instalasi pemurni gas bio

Gas yang dikumpulkan didistribusikan ke alat pembakaran dan pemakai terdekat melalui stasiun pemompaan. Fasilitas pemompaan yang sederhana adalah yang ditempatkan secara sentral di permukaan landfill dan dihubungkan dengan pipa-pipa kepada sistem pengumpul. Dibutuhkan setidaknya head/tekanan sebesar 25 cm (10 in) m kolom air. Instalasi pemompaan gas terdiri dari 3 bagian utama yaitu pipa penangkap gas (sumur), pompa gas dan alat pembakar nyala.

Desain stasiun pemompaan :

- Stasiun pemompaan dilengkapi dengan alat pemisah air dan alat pembuang gas.
- Pompa digerakkan dengan motor listrik atau dilengkapi mesin dengan karburator gas yang menggunakan bahan bakar gas dari lahan tersebut
- Dilengkapi dengan alat ukur tekanan gas (manometer) dan alat ukur kadar gas gravitometer (bellgravitasi) khususnya untuk mengukur konsentrasi metan dan karbondioksida.

Gas dikumpulkan dalam suatu reservoir untuk kemudian dimanfaatkan sesuai dengan keperluan. Bila tidak dimurnikan, atau dibakar maka pengoboran lebih efektif bila flow rate melalui obor (flare) dapat dikontrol antara 1,5 – 4,3 ft³/kg 0,042-0,12 m³/kg. Suhu cerobong 1500 °F (minimum) dengan waktu detensi gas adalah 0,3 - 0,5 detik. Idealnya alat ini dilengkapi dengan:

- Kendali otomatis agar operasi terus menerus
- Alarm tanda bahaya dan sistem isolasi otomatis yang siap menghentikan pembakaran dan pengoperasian dari suplai gas
- Kendali otomatis penyuplai udara untuk mengendalikan jumlah udara masuk dan suhu pembakaran
- Fasilitas pengawasan proses pembakaran dan pencuplik (sampling) udara
- Pelindung yang dipasang di atas nyala api

Pemisahan CO₂ umum dilakukan dalam pemanfaatan gas metan untuk menghasilkan panas dan energi yang lebih baik. Pemisahan tersebut dapat melalui adsorpsi fisika, adsorpsi kimia, atau pemisahan oleh membran (semipermeabel membran) karena membran menahan CO₂, H₂S dan H₂O tapi meloloskan CH₄.

Pemanfaatan Gas sebagai Bahan Bakar Keperluan Rumah Tangga:

Bila gasbio yang dihasilkan akan dimanfaatkan untuk kebutuhan rumah tangga, maka beberapa petunjuk adalah:

- Pipa distribusi terbuat dari polyethylene berwarna hitam dengan diameter 1" klas 8. Pipa jenis ini digunakan karena lebih kuat dari pada pipa pralon.
- Campuran gas yang dapat terbakar/menyala terdiri dari 5-15 % metana murni dengan 85 - 95 % udara (Perry, 1973). Jadi satu volume gas TPA dari sumur berkualitas 60 % metana kira-kira perlu dicampurkan dengan 5-10% volume udara untuk dapat terbakar. Campuran ini biasanya terjadi di dalam kompor pada orificenya. Perbandingan gas ini sangat tergantung dari kuantitas dan kualitas gas yang diproduksi.
- Perbandingan luas lubang untuk udara yang masuk dengan lubang pengeluaran gas adalah 10 : 100.
- Luas pancaran orifice 0,25 mm²
- Perbandingan luas pancaran gas: lubang pemasukan udara dan lubang pengeluaran gas (*flame port*) = 1 : 5 : 100.
- Alat pembakaran perlu diatur agar kecepatan gas pada spuyer tidak terlalu karena diameter spuyer besar, menyebabkan udara yang masuk terlalu banyak sehingga terjadi pembuangan nyala. Sebaliknya apabila kecepatan gas terlalu rendah maka nyala api tidak stabil.

Usaha peningkatan gas yang diperoleh dapat dilakukan dengan:

- Tanah penutup timbunan sampah harus dipelihara dan harus dicegah dari keretakan sehingga tidak terjadi pelepasan gas.
- Meningkatkan akselerasi proses biokimia yang dapat meningkatkan timbulan gas, seperti :
 - *Homogenisasi sampah yang masuk*, dapat dilakukan melalui *shredding*. Selain itu pemadatan dapat juga meningkatkan efek homogenitas.
 - *Penambahan lumpur buangan rumah tangga* untuk peningkatan nutrisi bagi mikroorganisme yang akan mendegradasi gas-gas.
 - Menjaga pH sampah agar netral, misalnya dengan resirkulasi lindi, dan bilamana diperlukan disertai pengaturan pH lindi
 - Menjaga kadar air pada material sampah.

6 MITIGASI METAN MENURUT ARAHAN UNFCCC**Gas rumah kaca:**

Untuk memudahkan mitigasi gas metan dalam rangka pengurangan gas rumah kaca sesuai dengan arahan *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), maka US-EPA mengeluarkan sebuah panduan langkah-per-langkah untuk identifikasi dan evaluasi landfill dan open-dumping skala besar yang merupakan calon berpotensi untuk reduksi gas rumah kaca. Terkait dengan gas rumah kaca, beberapa catatan tentang gas metan adalah sebagai berikut:

- o Gas metan adalah salah satu gas utama gas rumah kaca, dianggap berkontribusi sekitar 18% terhadap total gas rumah kaca pada tahun 1990 (tahun 1990 dianggap sebagai posisi tahun dengan level gas rumah kaca yang diinginkan). Untuk setiap kg, maka gas metan berpotensi sekitar 24,5 kali lebih banyak dibandingkan CO₂ dalam frame waktu acuan 100 tahun
- o Konsentrasi gas metan di udara dinilai meningkat sekitar 0,6% per-tahun, dan telah meningkat 2 kali lipat sejak 2 abad terakhir, sedang CO₂ diperkirakan meningkat rata-rata sekitar 0,4% per-tahun.
- o Metan dikenal mempunyai waktu-hidup (*life time*) yang terpendek, yaitu sekitar 11 tahun, sedang CO₂ sekitar 120 tahun. Oleh karena potensi dan *life-time*-nya tersebut, maka reduksi dan stabilisasi gas metan akan berpengaruh segera terhadap potensi mitigasi gas rumah kaca.
- o Karena metan sekaligus merupakan sumber energi, maka pengendaliannya akan mempunyai nilai tambah ekonomi. Reduksi gas ini dapat dianggap berpotensi berbiaya murah, bahkan dapat menguntungkan karena memanfaatkan energi yang dikandungnya.

- Teknologi recovery gas metan yang berasal dari emisi antropogenik (akibat aktivitas manusia), kecuali sawah dan pembakaran biomas, yang tersedia di pasar secara komersial mudah diperoleh.

Gas rumah kaca dari landfill:

Estimasi kasar emisi gas metan dari landfill dan open dumping skala besar menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) berkisar antara 20 sampai 70 Tg/tahun (Tg = teragram = 10^6 metrik ton), yang diperkirakan berkontribusi sebanyak 6 sampai 20% dari emisi tahunan dari sumber antropogenik. Perlu dicatat, bahwa emisi CO₂ dari sebuah landfill dianggap tidak berkontribusi terhadap kenaikan emisi gas rumah kaca, karena CO₂ yang dihasilkan berasal dari biogenik (dari pohon dan tanaman).

Landfill di negara berkembang mempunyai tendensi lebih cepat stabil (10-15 tahun) artinya memproduksi gas lebih cepat dibanding landfill di negara maju (20 tahun atau lebih), karena kandungan sisa makanan yang lebih banyak. Sementara di negara maju, landfillaanya banyak mengandung kertas dan karton yang lebih lambat proses degradasinya.

Terdapat 2 pendekatan utama untuk mengurangi emisi gas metan dari landfill, yaitu (1) mengekstraksi gas melalui sumur-sumur yang dibor ke dalam timbunan sampah atau melalui sistem pengumpul gas yang telah dipasang sebelumnya, lalu membakarnya, atau (2) mengurangi input materi organik yang akan diurug ke dalam landfill, sehingga mengurangi emisi gas metan di masa depan. Aktivitas daur-ulang dan pengomposan adalah upaya yang dapat dilakukan untuk itu.

Penanganan hasil ekstraksi gas metan dari timbunan sampah di landfill dapat berupa:

- Penggunaan gas secara langsung: dengan kualitas 30 – 50% CH₄, misalnya sebagai bahan bakar bagi pemakai yang langsung, atau disalurkan melalui sistem perpipaan. Bila disalurkan melalui perpipaan, biasanya gas bio tersebut perlu ditingkatkan kemurniannya, sampai mendekati 100% metan.
- Pembangkit tenaga listrik melalui generator: listrik yang dihasilkan dapat langsung dipakai, atau diintegrasikan dengan jaringan listrik yang ada, misalnya PLN.
- Penghasil uap: gas landfill dapat digunakan untuk menghasilkan uap air, misalnya untuk keperluan pemanas
- Flaring: merupakan alternatif termurah dan termudah, yaitu membakar gas metan yang dihasilkan, tanpa memanfaatkannya. Flaring ini kadang dinilai jalan terbaik, bila gas yang dihasilkan tidak cukup layak untuk dimanfaatkan.

Proyek reduksi emisi gas metan ini akan lebih menarik bila dijumpai calon pemakai gas ini di sekitar area. Keuntungan lain pembakaran gas metan ini adalah sekaligus membakar gas-gas organik lain yang dihasilkan, sehingga mengurangi pencemaran udara akibat gas pencemar organik.

Perdagangan karbon:

Bila dikaitkan dengan perdagangan karbon (*carbon trade*) yang dikaitkan dengan Mekanisme Pembangunan Bersih atau *Clean Development Mechanisms* (CDM), maka beberapa pertimbangan awal yang dapat digunakan dalam rencana reduksi gas rumah kaca dari sebuah landfill atau open dumping berskala besar adalah:

- Landfill:
 - Sarana tersebut dirancang untuk menerima limbah organik biodegradabel, khususnya sampah kota. Fasilitas ini didasarkan atas desain dengan komponen rekayasa yang baik, sehingga memungkinkan adanya kontrol yang baik terhadap sampah yang masuk, seperti adanya pelapis dasar, pengolah lindi dan penanganan gas bio.
 - Pengelolaan site yang baik memungkinkan sampah yang masuk akan diurug melalui pemadatan untuk mengurangi ruang-ruang kosong, sehingga kondisi anaerobik memang dominan, yang memungkinkan timbulnya gas metan
- Open-dumping skala besar:
 - Bila urugan sampah berlangsung sebagai open dumping, maka kemungkinan kondisi aerobik bisa muncul. Sarana ini menjadi atraktif untuk proyek CDM bila

- terletak dalam “lobang” atau berada pada depresi alamiah atau memang sengaja dibuat. Paling tidak kedalamannya adalah 7-10 m, dengan luas area 5-60 Ha.
- Sampah yang masuk basah, dan berkonsentrasi di dasar, sehingga berpotensi mempunyai konsisi anaerob
 - Adanya drainase permukaan dan drainase lindi, serta kondisinya tidak memungkinkan terjadinya genangan air.
 - Open-dumping skala besar dapat pula terlebih dahulu di-*upgrade* menjadi landfill, khususnya dengan memasukkan fasilitas penangkap gas
 - Yang paling atraktif dalam proyek CDM untuk landfill atau open-dumping skala besar adalah ukurannya yang cukup besar, yaitu paling tidak mempunyai sampai di tempat sebesar 1 juta ton, yang dapat menjamin adanya gas yang cukup. Umur sarana tersebut hendaknya kurang dari 10 tahun. Beberapa pendekatan estimasi adalah sebagai berikut:
 - Densitas sampah masuk (*as delivered*)= 0,2 – 0,4 ton/m³
 - Densitas sampah di site (*as disposed*) = 0,6 ton/m³ (tanpa tanah penutup) dan dapat mencapai 0,8 ton/m³ bila menggunakan tanah penutup, yang dapat meningkat menjadi = 1 – 1,2 ton/m³ dengan adanya *settlement*.
 - Tersedianya catatan jumlah sampah yang masuk, paling tidak dengan satuan volume truk, akan mempermudah perkiraan massa sampah di sarana tersebut.
 - Data topografi sebelum sampah ditimbun, bila tersedia, akan mempermudah menghitung volume sampah yang telah terkubur di sarana tersebut.

Estimasi besaran lahan dapat dilakukan sebagai berikut:

Langkah1:

- Estimasi jumlah sampah yang masuk: seperti dijelaskan di muka, yaitu melalui pendataan populasi dan penghasil sampah lainnya serta estimasi kenaikannya
- Estimasi satuan timbulan sampah, dengan estimasi sebagai berikut:
 - Negara Eropa Barat: 85% diangkut ke landfill, dengan timbulan sekitar 0,60 kg/kapita/hari, atau 220 kg/kapita/tahun
 - Negara berkembang: 80% diangkut ke landfill, dengan timbulan sekitar 0,50 kg/kapita/hari, atau 182 kg/kapita/tahun
- Lamanya waktu landfilling di site tersebut yang telah berlangsung
- Sehingga estimasi kasar total sampah di area tersebut (ton) = Jumlah penduduk x timbulan (kg/kapita/tahun) x lama waktu landfilling (tahun) x 0,001 (ton/kg)

Langkah 2: pendataan jumlah landfill yang digunakan

Langkah 3: Menghitung ukuran rata setiap landfill yang ada, yaitu: ukuran landfill rata-rata (ton) = jumlah sampah (ton)/jumlah landfill

Estimasi potensi produksi gas:

Terdapat 3 metode estimasi sebagai langkah awal dalam menilai kelayakan proyek CDM dari sebuah landfill, yaitu:

Metode 1: uji sumur

- Merupakan metode yang paling dapat diandalkan
- Agar efektif, sumur-sumur uji harus ditempatkan pada titik-titik yang representatif
- Bila yang diuji adalah landfill di negara berkembang, maka jumlah yang diperoleh dikalikan faktor (disarankan = 0,5) akibat adanya pemadatan yang tidak merata, serta kondisi lain sehingga tidak semua gas terkumpul dengan baik.
- Dengan cara ini, maka besaran gas, baik kuantitas maupun kualitas dapat terukur dengan akurat

Metode 2: perkiraan kasar

- Cara ini adalah yang paling sederhana dan cepat, namun sangat tidak akurat
- Setiap ton sampah yang dikubur diperkirakan akan menghasilkan gas sebesar 6 m³ per-tahun
- Porsi gas metan dianggap 50%, umur sampah lebih tidak lebih dari 10 tahun, produksi gas dianggap dijamin antara 5-15 tahun.

Metode 3: estimasi dengan persamaan

- Persamaan *first order decay model*, yaitu

$$LFG = 2 L_0 R (e^{+kc} - e^{-kt}) \dots\dots\dots(5)$$

- LFG = jumlah gas yang dihasilkan (m3/tahun)
- L_0 = potensi metan di sampah (lihat Tabel 6.1)
- R = rata-rata sampah masuk ke sarana per-tahun (kg)
- k = konstanta decay untuk timbulan metan (lihat Tabel 6.1)
- t = waktu (tahun) sejak landfill digunakan
- c = waktu (tahun) sejak landfill ditutup

Tabel 6.1: Nilai L_0 dan k

Variabel	Rentang	Iklim basah	Iklim sedang	Iklim kering
L_0 (m3 metan/kg)	0 – 0,312	0,14 – 0,18	0,14 – 0,18	0,14 – 0,18
K (1/tahun)	0,003 – 0,4	01,0 – 0,35	0,05 – 0,15	0,02 – 0,10

- o Persamaan “waste-in-place” yang dikembangkan dari proyek recovery gas di USA, yaitu:
 $LFG = 2 [4,32 + 2,91 W - 1,1 W \times D]$ (6)

- LFG = gas yang dihasilkan pada tahun berjalan (juta m3)
- W = Jumlah sampah di tempat kurang dari 30 tahun (juta ton)
- D = indikator daerah kering, ≤ 1 (=1 bila presipitasi < 63,5 mm/tahun)

Hasil dari model decay maupun model waste-in-place perlu dikali faktor efisiensi pengumpulan, yaitu = 70%-85%. Tabel 6.2 merupakan hasil perbandingan dari ketiga model perhitungan di atas, dengan nilai faktor efisiensi pengumpulan = 75%.

Tabel 6.2: Perkiraan produksi gas

Ukuran landfill Juta-ton sampah	Gas tertangkap (juta-m3/tahun)		
	Perkiraan kasar	Model Decay*	Model waste-in-place
1,0	6	7 – 11	9 – 11
1,5	9	10 – 16	11 -13
2,0	12	14 – 21	12 – 15
3,0	18	21 – 32	15 – 20

* Estimasi rata-rata = 10 tahun, nilai bawah untuk c = 10 tahun, nilai atas untuk c = 20 tahun, sampah masuk dianggap konstan, nilai parameter konstanta diambil nilai tengah, untuk daerah iklim sedang.

7 BIOGAS DI TPA INDONESIA

Pada sebuah lahan-urug yang baik, sarana penangkap gas sudah diperhitungkan, paling tidak pada akhir penggunaan lahan tersebut. Adanya gas metan tidak dapat dihindari dalam suatu proses biodegradasi secara anaerob, yang merupakan hasil akhir dari proses tersebut. Secara mikro timbulnya gas tersebut dapat menimbulkan dampak negatif bila tidak ditangani secara baik karena akan menimbulkan ledakan bila berada di udara terbuka dengan konsentrasi sekitar 15 %. Secara global, gas metan ini mempunyai potensi yang lebih besar dalam masalah efek rumah kaca dibandingkan produk akhir lain dari proses degradasi karbon, yaitu CO₂. Oleh karenanya gas metan yang terbentuk harus dikonversi menjadi CO₂ dengan jalan membakarnya. Oleh karena itu, timbulnya gas metan dapat pula dianggap sebagai nilai tambah dari sebuah TPA, dengan memanfaatkan gas terbentuk sebagai sumber energi. Beberapa negara industri telah mengkomersialkan gas yang terbentuk dari TPA dengan menjualnya pada industri yang berdekatan dengan TPA tersebut.

Pemasangan penangkap gas yang ideal adalah dimulai dari saat lahan-urug tersebut dioperasikan, dengan demikian metode penangkapannya dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan, yaitu:

- secara vertikal
- secara horizontal/miring, biasanya mengikuti kemiringan talud sel
- kombinasi antara dua cara tersebut

Beberapa literatur mengemukakan bahwa sistem pengkap secara horizontal akan lebih banyak untuk menangkap gas dibandingkan yang vertikal. Pada TPA yang tidak dilengkapi di awal

dengan penangkap gas, maka satu-satunya cara untuk menangkap gas bio adalah secara vertikal dengan membor ke dalam timbunan sampah. Cara ini banyak menemui hambatan untuk menangkap gas secara baik.

Secara teoritis, potensi biogas dari timbunan sampah di Indonesia relatif cukup tinggi dibandingkan di negara industri yang umumnya terletak di daerah beriklim dingin. Potensi tersebut menonjol terutama bila dilihat dari sudut temperatur udara, komposisi sampah dan kelembaban. Tetapi permasalahan yang ada umumnya TPA di Indonesia yang dioperasikan secara *open dumping* yang belum disiapkan untuk memungkinkan penangkapan gas dari awal penggunaan TPA. Disamping itu timbunan tersebut kurang begitu baik dalam mengumpulkan gas yang terjadi.

Pengukuran gas bio di TPA Indonesia (secara pasif) menghasilkan:

- TPA Sukamiskin (Bandung) : diukur pada 2 ventilasi gas vertikal umur 3 tahun :
 - rentang volume = 2508 - 4669 L/hari
 - rentang kadar metan = 77,02 - 88,38 %
 - produktivitas metan = 0,04 - 0,07 mL/kg MS/hari
- TPA Grenjeng (Cirebon) diukur pada 3 ventilasi gas miring berumur 1-2 tahun :
 - rentang volume = 2686 - 24817 L/hari
 - rentang kadar metan = 64 - 74,85 %
 - produktivitas metan = 0,19 - 1,72 mL/kg MS/hari

Pengukuran gas bio di TPA Sukamiskin secara dinamis (Laporan bulan ke 2 - Uji coba pemanfaatan gas dari TPA Pasir Impun, PD Kebersihan Bandung, Agustus 1993) memberikan hasil :

- pada sumur uji no.6 : gas terukur = 6 M³/jam
- komposisi rata-rata : metan = 60 % dan CO² = 40 %
- pipa-pipa gas terisi air, akibat tersumbat batu dan tanah yang menghambat keluarnya gas
- tanah penutup akhir kurang baik : retak pada musim kemarau menyebabkan udara luar mudah masuk

Penangkap gas pertama yang diuji cobakan di Indonesia adalah pada TPA Sukamiskin (di Bandung) yang dianggap sebagai lahan-urug saniter pertama di Indonesia menggunakan *vertical progressive well*. Sistem ini mengadopsi penangkap gas TPA Perancis yang gasnya telah berproduksi secara komersial (*décharge contrôlée de Limoge*). Sistem ini menggunakan pipa PVC yang dilubangi dengan gergaji, dikelilingi oleh pipa kerikil, kemudian sistem ini naik secara progressif sesuai dengan kenaikan timbunan sampah. Namun sistem ini ternyata kurang begitu berfungsi baik terutama, karena pipa PVC perforasinya yang kurang dapat diandalkan. Beberapa lubang ventilasi ternyata tidak dapat difungsikan sama sekali.

Prinsip sistem pengendalian gas dengan *vertical progressive well*, adalah ketinggian sumuran gas mengikuti meningkatnya ketinggian lapisan sampah. Operasi pemasangan pipa penangkap gas tersebut adalah:

- Penentuan titik pemasangan pipa gas
- Sumuran terdiri dari pipa PVC yang berlubang-lubang, dengan kerikil disekelilingnya. Sebelum dilakukan penimbunan sampah, sebagian sumuran dipasang terlebih dahulu. Pemasangan sumuran didahului dengan pemasangan casing dari GIP. Casing ini berisi pipa PVC kerikil
- Setelah ketinggian pertama tercapai, pipa casing diangkat setinggi lapisan kedua. Setelah itu pipa PVC beserta kerikil di sekelilingnya juga ditinggikan sampai mencapai lapisan yang kedua. Demikian seterusnya, sampai dicapai ketinggian akhir.
- Ketinggian pada lapisan terakhir adalah 1 m di atas pipa penutup.
- Penutupan pipa gas akhir dilakukan dengan cup rubber ring dari PVC dan ujung pipa ini siap dihubungkan pada jaringan pengumpul menuju instalasi pemompaan.