

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran umum Sampah.

Sampah dan pengolahannya kini menjadi masalah yang kian mendesak di kota-kota Indonesia, sebab apabila tidak dilakukan penanganan yang baik akan mengakibatkan terjadinya perubahan keseimbangan lingkungan yang merugikan atau tidak diharapkan sehingga dapat mencemari lingkungan baik terhadap tanah, air atau udara. Oleh karena itu untuk mengatasi masalah pencemaran tersebut diperlukan penanganan dan pengendalian terhadap sampah. Penanganan dan pengendalian akan menjadi semakin kompleks dan rumit dengan semakin majunya kebudayaan. Oleh karena itu penanganan sampah di perkotaan relatif lebih sulit dibanding sampah di desa-desa.

Masalah yang sering muncul dalam penanganan sampah kota adalah masalah biaya operasional yang tinggi dan semakin sulitnya ruang yang pantas untuk pembuangan. Sebagai akibat biaya operasional yang tinggi, kebanyakan kota-kota di Indonesia hanya mampu mengumpulkan dan membuang $\pm 60\%$ dari seluruh produksi sampahnya. Dari 60% ini sebagian besar ditangani dan dibuang dengan cara yang tidak saniter, boros dan mencemari (sumber: Daniel et.al, 1985)

Untuk mendapatkan tingkat efektifitas dan efisien yang tinggi dalam penanganan sampah di kota maka dalam pengolahannya harus cukup layak diterapkan yang sekaligus disertai upaya pemanfaatannya sehingga diharapkan

mempunyai keuntungan berupa nilai tambah. Untuk mencapai hal tersebut maka perlu pemilihan cara dan teknologi yang cepat, perlu partisipasi aktif dari masyarakat, sumber sampah berasal dan mungkin perlu dilakukan kerjasama antar lembaga pemerintah yang terkait (antara Departemen Koperasi, Departemen Pertanian, Departemen Perdagangan dan Industri maupun Lembaga Keuangan).

Disamping itu perlu aspek legal untuk dijadikan pedoman berupa peraturan-peraturan mengenai lingkungan demi menanggulangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh sampah.

Untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan maka dicari suatu cara pengolahan sampah secara baik dan benar melalui perencanaan yang matang dan terkendali dalam bentuk pengolahan sampah secara terpadu.

2.2 Pengertian Sampah

Sampah adalah istilah yang umum yang sering digunakan untuk menyatakan limbah padat. Sampah adalah sisa-sisa bahan yang mengalami perlakuan-perlakuan, baik karena telah diambil bagian utamanya, atau karena pengolahan, atau karena sudah tidak ada manfaatnya yang ditinjau dari segi sosial ekonomis tidak ada harganya dan dari segi lingkungan dapat menyebabkan pencemaran atau gangguan terhadap lingkungan hidup (Hadiwiyoto, 1983)

Sampah adalah limbah yang bersifat padat terdiri dari zat organik dan zat anorganik yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan (Anonim, 1990)

Sampah adalah bahan buangan sebagai akibat aktivitas manusia dan hewan, yang merupakan bahan yang sudah tidak berguna lagi, sehingga dibuang sebagai barang yang tidak berguna (Sudarso, 1985)

2.2.1 Sumber Sampah

Menurut Sudarso (1985), sumber sampah antara lain:

a. Sampah dari pemukiman

Umumnya sampah rumah tangga berupa sisa pengolahan makanan, perlengkapan rumah tangga bekas, kertas, kardus, gelas, kain, sampah kebun/halaman dan lain-lain.

b. Sampah dari pertanian dan perkebunan

Sampah dari kegiatan pertanian tergolong bahan organik, seperti jerami dan seterusnya. Sebagian besar sampah yang dihasilkan selama musim panen dibakar atau dimanfaatkan untuk pupuk. Untuk sampah bahan kimia seperti pestisida dan pupuk buatan perlu perlakuan khusus agar tidak mencemari lingkungan. Sampah pertanian lainnya adalah lembaran plastik penutup tempat tumbuh-tumbuhan yang berfungsi untuk mengurangi penguapan dan menghambat pertumbuhan gulma, namun plastik ini bisa didaur ulang.

c. Sampah dari sisa bangunan dan konstruksi gedung

Sampah berasal dari kegiatan pembangunan dan pemugaran gedung ini bisa berupa bahan organik maupun anorganik, misalnya: semen, pasir, batu bata, ubin, besi, baja, kaca dan kaleng.

d. Sampah dari perdagangan dan perkantoran.

Sampah yang berasal dari perdagangan seperti toko, pasar tradisional, warung, pasar swalayan ini terdiri atas kardus, pembungkus, kertas dari bahan organik termasuk sampah makanan dan restoran.

Sampah yang berasal dari lembaga pendidikan, kantor pemerintah dan swasta biasanya terdiri dari kertas, alat tulis-menulis (bolpoint, pensil, spidol, dll), toner foto copy, tinta printer, kotak tinta printer, baterai, bahan kimia dari laboratorium, pita mesin ketik, klise film, komputer rusak dan lain-lain. Baterai bekas limbah bahan kimia harus dikumpulkan secara terpisah dan harus memperoleh perlakuan khusus karena berbahaya dan beracun.

e. Sampah dari industri

Sampah ini berasal dari seluruh rangkaian proses produksi (bahan-bahan kimia serpihan/potongan bahan), perlakuan dan pengemasan produk (kertas, kayu, plastik, kain/lap yang jenuh dengan pelarut untuk pembersihan). Sampah industri berupa bahan kimia yang seringkali beracun memerlukan perlakuan khusus sebelum dibuang.

2.2.2 Jenis Sampah.

Berdasarkan jenis sampah pada prinsipnya dibagi 3 bagian besar yaitu:

- a. Sampah padat
- b. Sampah cair.
- c. Sampah dalam bentuk gas (Anonim, 1992)

Sampah pada umumnya dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

- a. Sampah organik : yaitu sampah yang mengandung senyawa-senyawa organik karena itu tersusun dari unsur-unsur seperti C,H,O,N dll, (umumnya sampah organik dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme. Contohnya sisa makanan, kertas, karton, plastik, kain, karet, kulit, sampah halaman, kayu.
- b. Sampah anorganik : sampah yang bahan kandungan non organik umumnya. Sampah ini sangat sulit terurai oleh mikroorganisme. Contohnya kaca, kaleng, aluminium, logam-logam lain, debu (Hadiwiyoto, 1983).

2.2.3 Karakteristik Sampah

Menurut Ircham (1992), karakteristik sampah adalah sebagai berikut:

- a. *Garbage*, yakni jenis sampah yang terdiri dari sisa-sisa potongan hewan atau sayuran hasil pengolahan dari dapur rumah tangga, hotel, restoran, semuanya mudah membusuk.

- b. *Rubbish*, yakni jenis sampah yang tidak mudah membusuk. Misalnya, pertama yang mudah terbakar, seperti halnya kertas, kayu dan sobekan kain, kedua yang tidak mudah terbakar misalnya kaleng, kaca dan lain-lain.
- c. *Ashes*, yakni semua jenis abu dari hasil pembakaran baik dari rumah maupun industri.
- d. *Street sweeping*, yakni sampah dari hasil pembersihan jalanan, seperti halnya kertas, kotoran, daun-daunan dan lain-lain
- e. *Dead animal*, yakni bangkai binatang yang mati karena alam, kecelakaan maupun penyakit.
- f. *Abandoned vehicle*, contoh dari jenis ini adalah bangkai kendaraan seperti sepeda, motor, becak dan lain-lain.
- g. Sampah khusus, yaitu sampah yang memerlukan penanganan khusus misalnya kaleng-kaleng cat, zat radioaktif, sampah pematik serangga, obat-obatan dan lain-lain.

2.2.4 Komposisi Sampah

Menurut Tchobanoglous, Theisen, Vigil (1993), komponen sampah terdiri dari:

- A. Organik
 - a. Sisa makanan.
 - b. Kertas.
 - c. Karbon.
 - f. Kain.
 - g. Kulit.
 - h. Kebun atau halaman

- d. Plastik.
- e. Karet.
- B. Anorganik
 - a. kaca.
 - b. Aluminium.
 - c. Kaleng.
 - i. Kayu
 - d. Logam lain.
 - e. Abu, debu.

2.3 Prasarana dan sarana TPA

2.3.1 Fasilitas Umum

a. Jalan Masuk

Jalan masuk TPA harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

- a) Dapat dilalui kendaraan truk sampah dari 2 arah
- b) Lebar jalan 6 m, kemiringan permukaan 2-3% kearah saluran drainase, tipe jalan kelas 3 dan mampu menahan beban perlintasan dengan tekanan gandar 10 ton dan kecepatan 30 km/jam (sesuai ketentuan Ditjen Bina Marga).

b. Jalan Operasi.

Jalan operasi yang dibutuhkan dalam pengoperasian TPA terdiri dari 2 jenis.

Yaitu:

- a) Jalan operasi penimbunan sampah, jenis jalan bersifat temporer, setiap saat dapat ditimbun dengan sampah.
- b) Jalan penghubung antar fasilitas, yaitu kantor/pos jaga, bengkel, tempat parkir, tempat cuci kendaraan. Jenis jalan bersifat permanen.

Jalan operasional adalah jalan yang bermula dari ujung jalan masuk sampai ke tempat pengosongan truk, dimana truk menimbun sampahnya dan kemudian diambil alih oleh peralatan sampah. Bila sampah telah mencapai elevasi jalan, maka ketinggian jalan operasional tersebut harus dinaikkan. Hal ini biasanya dilaksanakan dengan sampah yang ditutup bongkaran bangunan (pecahan batu bata) atau material sejenis. Lapisan tersebut hendaknya terdiri material kasar untuk menjamin bahwa sistem drainase pada jalan tersebut bekerja dengan baik.

c. Kantor/Pos jaga

Fungsi bangunan ini adalah sebagai pusat pengendalian kegiatan di TPA baik teknis maupun administrasi, dengan ketentuan sebagai berikut: luas bangunan kantor tergantung pada lahan yang tersedia dengan mempertimbangkan rencana kegiatan yang akan dilaksanakan antara lain pencatatan sampah, tampilan rencana tapak dan rencana pengoperasian TPA, tempat cuci kendaraan, kamar mandi dan gudang.

d. Drainase

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

a) Jenis drainase yang dapat berupa drainase permanen (jalan utama, disekeliling timbunan terakhir, daerah kantor, bengkel, gudang, tempat cuci) dan drainase sementara (dibuat secara lokal pada zone yang akan dioperasikan).

b) Kapasitas saluran dihitung dengan persamaan manning.

$$Q = 1/n \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

Q = debit aliran air hujan (m³/det)

A = luas penampang basah saluran (m²)

S = kemiringan (%)

n = konstanta

R = jari-jari hidrolis (m)

c) Pengukuran besarnya debit dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$D = 0.278 \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana :

D = debit (m³/det)

C = angka pengaliran

I = intensitas hujan maksimum (mm/jam)

A = luas daerah aliran (km²)

e. Pagar

Pembangunan pagar dimaksudkan untuk mencegah agar sampah tidak berterbangan keluar area TPA pada saat angin kencang, cukup menggunakan pagar dengan ketinggian 3 m. Bentuk, ukuran dan strukturnya hendaknya disesuaikan dengan kondisi cuaca (angin), bentuk topografi dan kondisi operasional TPA itu sendiri. Disamping itu juga berfungsi untuk menjaga keamanan TPA dapat berupa pagar tanaman sekaligus dapat juga berfungsi sebagai daerah penyangga setebal 5 m.

f. Pintu gerbang.

Pintu gerbang TPA diperlukan sebagai tempat masuk dan keluarnya kendaraan pengangkut sampah.

g. Papan Nama

Papan nama diperlukan sebagai informasi bagi orang yang sampai ke TPA. Beberapa hal yang perlu tercakup dalam informasi papan nama diantaranya adalah:

- a) Nama dan alamat pemilik TPA
- b) Luas TPA
- c) Tahun Pengoperasian
- d) Jam kerja, dll

(sumber : DPU)

2.3.2 Fasilitas Penunjang.

2.3.2.1 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 5 ton.
- c. Lebar jembatan minimal 3.5 m.
- d. Otomatisasi.

Sistem program komputer yang membuat pendataan dapat berlangsung secara otomatis dengan sedikit pemasukan data akan lebih memudahkan petugas.

- e. Komponen dari jembatan timbang.

Jembatan timbang pada saat ini telah dilengkapi dengan program yang dapat dengan mudah melakukan pendataan, perhitungan dan penayangan hasil yang kesemuanya merupakan hasil dari peralatan/fasilitas dari alat timbang tersebut yang terdiri atas:

- a) Landasan/platfom tempat dimana kendaraan akan berada saat penimbang berlangsung.
- b) Sel penerima beban (*load cell*) yang merupakan alat pengkonversi dari satuan beban menjadi keluaran sinyal listrik.

- c) Unit pengolahan untuk mengubah sinyal listrik menjadi angka satuan berat.
- d) Komputer untuk pengolahan data.
- e) Monitor untuk penayangan data.
- f) Printer untuk mencetak data sesuai program yang ada.

2.3.2.2 Air Bersih.

Fasilitas air bersih akan digunakan terutama untuk kebutuhan kantor, pencucian kendaraan (truk dan alat besar) maupun fasilitas TPA lainnya. Penyediaan air bersih dapat dilakukan dengan sumur bor dan pompa. Dimana kebutuhan per orang untuk setiap harinya diperkirakan sekitar 10 L/jam (sumber: Plambing,1993).

2.3.2.3 Bengkel/hangar.

Bengkel/garansi/hangar berfungsi untuk menyimpan dan memperbaiki kendaraan atau alat yang rusak. Luas bangunan yang akan direncanakan harus dapat menampung minimal 3 kendaraan. Peralatan bengkel minimal yang harus ada di TPA adalah untuk pemeliharaan dan kerusakan ringan.

2.3.3 Fasilitas TPA

Untuk mendukung operasi dan fungsi TPA diperlukan fasilitas sarana antara lain seperti:

a. Jaringan jalan

Jaringan/jalur jalan di lokasi TPA harus direncanakan sedemikian sehingga kegiatan pengangkutan dan pembongkaran sampah dapat berjalan dengan lancar, termasuk rute perputaran kendaraan.

b. Bangunan penunjang

Bangunan penunjang yang diperlukan berupa kantor untuk monitoring/pengawas, bengkel dan gudang/garasi berikut fasilitas listrik, air bersih dan sanitasi serta jembatan timbang.

c. Sistem drainase

Sistem drainase di lokasi TPA harus direncanakan dengan baik untuk menyalurkan air hujan, baik dari sekeliling TPA maupun dari permukaan TPA yang telah ditutup tanah. Jumlah *leachate* tergantung pada kondisi cuaca, komposisi sampah, serta usia TPA. Sistem drainase tersebut adalah penting bagi seluruh lokasi TPA tersebut. Bila sistem tersebut macet, ketinggian air di TPA akan meningkat. Lambat-laun TPA tersebut akan tergenang dan selama musim hujan tidak dapat dimasuki. Selain itu, air *leachate* tersebut akan merembes ke bagian TPA yang lebih rendah dan bisa menyebabkan pencemaran terhadap air tanah. Oleh karena itu, operasi dan pemeliharaan sistem drainase merupakan prioritas mutlak.

d. Peralatan operasi

Peralatan/mesin-mesin yang diperlukan untuk menunjang operasi TPA, pemilihannya disesuaikan dengan sistem yang digunakan serta kondisi lingkungan.

e. Fasilitas keamanan

Lokasi TPA harus dilengkapi dengan fasilitas keamanan seperti:

- a) Peralatan pelindung bagi pekerja yang secara langsung berhubungan dengan sampah.
- b) Pemberian pintu dan pagar dilokasi untuk mencegah masuknya binatang atau manusia yang tidak berkepentingan serta untuk mencegah sampah plastik/ kertas beterbangan keluar lokasi TPA.
- c) Fasilitas penanganan gas dan peralatan pemadam kebakaran

f. Sumur pemantau

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

- a) Lokasi sumur uji harus terletak pada lokasi sekitar penimbunan dan pada lokasi setelah penimbunan.
- b) Penempatan lokasi harus tidak pada daerah yang akan tertimbun sampah
- c) Kedalaman sumur uji 20-25 m dengan luas 1 m²
- d) Penempatan sumur pemantau harus melihat aliran *leachate* sesuai dengan kontur .

2.3.4 Peralatan Yang Umum Digunakan Dalam Operasi Di TPA

Peralatan digunakan untuk pemindahan, penyebaran dan pemadatan sampah serta transportasi dan pemadatan tanah penutup. Tipe, ukuran dan jumlah peralatan yang diperlukan tergantung pada ukuran TPA dan cara operasinya. Peralatan yang umum digunakan di TPA, adalah:

a. **Bulldoser**

Merupakan peralatan yang sangat baik untuk operasi perataan, pengurangan dan pemadatan. Terdapat 2 type dozer, yaitu menggunakan rantai (crawl/track) dan yang menggunakan roda (wheel) dengan kelebihan dan kekurangan sendiri-sendiri.

b. **Crawl/Track Dozer**

- a). Sangat baik untuk pemadatan
- b). Dapat beroperasi ditanah lunak
- c). Mobilitas dan kecepatan rendah

c. **Wheel dozer**

- a). Tidak cocok untuk pemadatan
- b). Tidak dapat beroperasi ditanah yang lembek
- c). Mobilitas dan kecepatan relatif lebih tinggi

d. **Loader dan Poweshovel**

Dapat digunakan untuk operasi penggalian, perataan, pengurangan dan pemadatan.

e. Dragline

Dapat digunakan untuk penggalian tanah dan pengurugan, memperbesar kapasitas TPA dengan penggalian, membuat saluran dan mengumpulkan tanah urugan. Peralatan ini efisien untuk *sanitary landfill* (SLF) yang luas.

f. Scraper

Baik untuk lapisan pengurugan dengan tanah dan perataan.

g. Kompaktor

Sangat baik digunakan untuk pemadatan timbunan sampah pada lokasi datar.

2.4 Pengertian *Leachate*

Lindi (*leachate*) adalah cairan yang meresap melalui sampah yang mengandung unsur-unsur yang terlarut dan tersuspensi. Lindi ini termasuk salah satu pencemaran lingkungan yang dihasilkan oleh timbunan sampah. Lindi akan terjadi apabila ada air eksternal yang berinfiltrasi kedalam timbunan sampah, misalnya dari air permukaan, air tanah, air hujan atau sumber lain. Cairan tersebut kemudian mengisi rongga-rongga pada sampah dan bila kapasitasnya telah melampaui kapasitas tekanan air dari sampah maka cairan tersebut akan keluar dan mengandung bahan organik dan anorganik hasil proses kimia dan biologis yang terjadi pada sampah.

Hasil dari proses tersebut maka *leachate* biasanya akan mengandung bahan-bahan organik terlarut serta ion-ion anorganik dalam konsentrasi tinggi.

(Tri padmi damanhuri, 1993).

Pada saat *leachate* mengalir dan mencapai air tanah maka kehadiran *leachate* dengan kandungan logam berat dan senyawa organiknya akan menurunkan kualitas air tanah dan sekitarnya. Untuk menghindari hal tersebut perlu dipikirkan usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk mencegah atau mengurangi dampak negatif *leachate* terhadap lingkungan.

2.4.1 Proses Pembentukan *Leachate*

Sejak sampah berada dalam timbunan maka mulailah terjadi proses dekomposisi yang ditandai oleh perubahan secara fisik, biologis dan kimiawi pada sampah. Proses yang terjadi antara lain :

- a. Penguraian biologis bahan organik secara aerob dan anaerob yang menghasilkan gas dan cairan.
- b. Oksidasi kimia
- c. Pelepasan gas dari timbunan sampah
- d. Pergerakan cairan karena perbedaan tekanan
- e. Pelarutan bahan organik dan anorganik oleh air dan lindi yang melewati timbunan sampah
- f. Perpindahan materi terlarut karena gradien konsentrasi dan osmosis
- g. Penurunan permukaan yang disebabkan oleh pemadatan sampah yang mengisi ruang kosong pada timbunan.

Salah satu hasil dari rangkaian proses diatas adalah terbentuknya *leachate* berupa cairan akibat adanya air eksternal yang berinfiltrasi kedalam timbunan sampah. Air yang ada pada timbunan sampah ini antara lain berasal dari :

- a. Aliran permukaan yang berinfiltrasi kedalam timbunan sampah horizontal melalui tempat penimbunan
- b. Kandungan air dari sampah itu sendiri
- c. Air hasil proses dekomposisi bahan organik pada sampah

Reaksi biologis akan terus menerus berlangsung di dalam timbunan sampah menurut kondisi ada atau tidak adanya oksigen serta tahapan proses dekomposisi sehingga proses yang terjadi akan bersifat dekomposisi secara aerob dan anaerob.

2. 4.2 Kualitas dan Kuantitas *Leachate*

Kualitas dan kuantitas *leachate* penting diketahui untuk menentukan sistem pengolahan yang tepat dan untuk memperkirakan efek-efek polusi dari *leachate* terhadap lingkungan.

Komposisi dan produktivitas *leachate* dipengaruhi oleh berbagai hal, seperti:

- a. Karakteristik sampah (organik/anorganik, mudah tidaknya terurai, mudah larut atau tidak)
- b. Hidrologiologi lokasi penimbunan sampah
- c. Klimatologi
- d. Kondisi TPA: umur timbunan sampah, kelembaban, temperatur

- e. Sifat air yang masuk ketimbunan sampah
- f. Jenis operasi yang dilakukan di tempat penimbunan sampah (lahan tertutup dan sebagainya).

Faktor-faktor tersebut diatas sangat bervariasi pada satu tempat pembuangan yang lain, demikian pula aktivitas biologis serta proses yang terjadi pada timbunan sampah baik secara aerob maupun anaerob.

Komponen utama yang terdapat dalam *leachate* dari *landfill* antara lain adalah (Tchobanoglous, 1993):

- a). Zat organik
- b). Kalsium (Ca)
- c). Besi (Fe)
- d). Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)
- e). Magnesium (Mg)
- f). Tracemetal seperti mangan (Ma), timah hitam serta komponen mikrobiologi

Kandungan unsur-unsur dalam lindi terdapat pada tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Kandungan unsur-unsur dalam lindi.

No	Parameter	Konsentrasi mg/l	
		Range	Tipikal
1	BOD	2000-30000	10000
2	TOC	1500-20000	6000
3	COD	3000-45000	18000
4	Total Suspended Solid	200-1000	500
5	Organik Nitrogen	10-600	200
6	Amonia Nitrogen	10-800	200
7	Nitrat	5-40	25
8	Total Phospor	1-70	30
9	Otho Phospor	1-50	20
10	Alkaliniti	1000-1000	3000
11	pH	5.3-8.3	6
12	Total Hardness	300-10000	3000
13	Kalsium	200-3000	3500
14	Magnesium	50-1500	250
15	Potasium	200-2000	300
16	Natrium	200-2000	500
17	Klorida	100-3000	500
18	Sulfat	100-1500	300
19	Total Besi	50-600	6

Sumber : Tchobanoglous, G, et.all, 1977, Asolid Waste Engineering Principles

and Management Issues, pg, 99.

2.4.3 Karakteristik *Leachate*

Karakteristik *leachate* sangat bervariasi tergantung dari proses dalam *landfill* yang meliputi proses fisik, kimia dan biologis. Mikroorganisme di dalam sampah akan menguraikan senyawa organik yang terdapat dalam sampah menjadi senyawa organik yang lebih sederhana, sedangkan senyawa anorganik seperti besi dan logam lain dapat teroksidasi (Tchobanoglous, 1977).

Aktivitas didalam *landfill* umumnya mengikuti suatu pola tertentu, pada mulanya sampah terkomposisi secara aerobik, tetapi setelah oksigen di dalamnya habis maka mikroorganisme fakultatif dan aerob yang menghasilkan gas metan yang tidak berbau dan berwarna. Karakteristik penguraian secara aerobik adalah timbulnya karbondioksida, air dan nitrat sebagai pengurai, sedangkan penguraian secara anaerobik menghasilkan metan, karbondioksida, air, asam organik, nitrogen, amoniak, sulfida, besi, mangan dan lain-lain.

Dekomposisi sampah akibat aktivitas mikrobial adalah sebagai berikut :

Tahap I : degradasi sampah dilakukan oleh mikroorganisme aerobik menjadi bentuk organik yang lebih sederhana, yakni karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O)

Tahap II : apabila oksigen pada udara yang tertangkap habis dikonsumsi oleh mikroorganisme aerobik dan diganti CO_2 , proses degradasi diambil alih oleh mikroorganisme yang perkembangannya atau tanpa adanya oksigen. Organisme ini akan memecah molekul organik menjadi yang lebih sederhana seperti hidrogen, amonia, air, karbondioksida dan asam organik.

Tahap III : pada tahap ini organisme anorganik berkembang dan menguraikan asam organik menjadi bentuk gas metan serta lainnya. Pada fase aerobik, pengaruh terhadap kualitas *leachate* yang ditemukan hanya sedikit.

Pada fase anaerobik *leachate* yang dihasilkan mempunyai kandungan organik yang tinggi, pH rendah, berbau dan perbandingan BOD/COD yang tinggi. Tingginya konsentrasi BOD dan COD disebabkan oleh asam organik yang ada, seperti asam asetat, butirat dan lain-lain.

Pada fase metagenesis sebagian besar karbon organik diubah menjadi gas, maka pada tahap tersebut konsentrasi organik berangsur-angsur menurun. Perbandingan konsentrasi BOD/COD menjadi rendah, pada fase ini pH meningkat menjadi sekitar 6.8-7.2 (Knox, 1985).

2.4.4 Pipa *Leachate*

Saluran pengumpul *leachate* terdiri dari saluran pengumpul sekunder dan primer. Saluran sekunder dipasang memanjang ditengah blok zona penimbunan. Saluran ini menerima aliran dari dasar lahan dengan kemiringan minimal 2°. Sebaiknya pipa *leachate* terbuat dari pipa tahan korosi (PVC) yang diberi lubang. Jumlah lubang pada pipa minimal 50 buah per m² pipa dengan diameter lubang antara 150-200 mm. Saluran primer yang menampung lindi dari saluran sekunder dan membawanya ke bak penampung lindi. Saluran sekunder dan saluran primer

dihubungkan oleh bak kontrol yang berfungsi sekaligus sebagai ventilasi yang dihubungkan dengan pengumpul gas vertikal.

Kecepatan pengaliran air di dalam pipa 0.6-3 m/det dengan pengaliran diusahakan secara gravitasi. Jarak pemasangan antara satu pipa *leachate* dengan yang lain berkisar antara 15-20 m. Pipa-pipa *leachate* ini dipasang mengarah pada kolam pengumpul *leachate*.

2.4.5 Pergerakan *Leachate* di TPA

Leachate yang terdapat pada dasar *landfill* dapat bergerak secara horizontal/vertikal tergantung dari karakteristik permeabilitas tanah. Selama pengaliran *leachate* dalam tanah, nilai koefisien permeabilitas akan menurun sesuai dengan waktu, karena reaksi yang menurun memperkecil ukuran pori.

Partikel tanah dengan permukaan yang halus menyebabkan aliran *leachate* lebih lambat karena koefisien permeabilitasnya rendah, hal ini memungkinkan tanah tersebut memiliki kemampuan yang lebih tinggi untuk menahan zat padat yang terlarut. *Leachate* bergerak dari kadar air jenuh ke tidak jenuh. Jika seluruh rongga di dalam tanah terisi oleh air, maka tanah tersebut dikatakan mencapai titik jenuh. Kemungkinan terjadi pengeceran *leachate* di dalam air tanah sangat kecil karena aliran tanah sifatnya laminar.

2.5 Persiapan Penempatan *landfill*

Persiapan penempatan *landfill* meliputi:

a. Pembuatan saluran drainase

Pembuatan drainase merupakan langkah awal untuk mengalirkan dan membuang limpasan hujan dari area *landfill*.

b. Penggalian dan persiapan dari dasar *landfill*

Dasar *landfill* dilapisi geotesta sehingga *leachate* dapat ditampung dan dialirkan ke luar dari *landfill*.

c. Pemasangan pipa *leachate*

d. Pemasangan pipa gas.

Penempatan sampah dalam *landfill* dapat dilakukan dengan sampah dibuang dalam *landfill* lalu dipadatkan permukaannya dan terbentuk sel-sel. Untuk Ketinggian sel 240-360 cm, lebar sel antara 300-900 cm atau tergantung dari kapasitas *landfill* dengan kemiringan sel $\pm 30^\circ$. Setiap permukaan sel ditutup dengan lapisan tanah 15-30 cm pada setiap pengoperasian (biasanya satu hari sekali) dan 15-20 cm untuk permukaan miring.

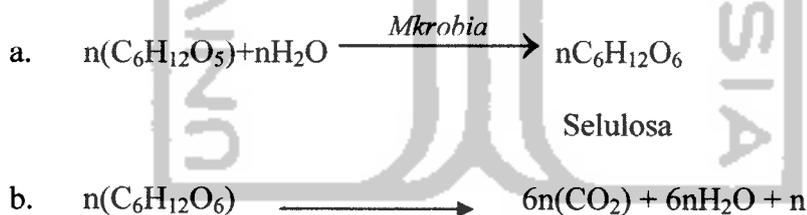
2.6 Proses Pembentukan Gas

Secara keseluruhan, proses dekomposisi zat organik di TPA akan berlangsung secara aerobik (dalam kondisi ketersediaan oksigen) dan anaerobik (dalam kondisi tanpa oksigen). Proses aerobik berlangsung hanya beberapa saat ketika oksigen

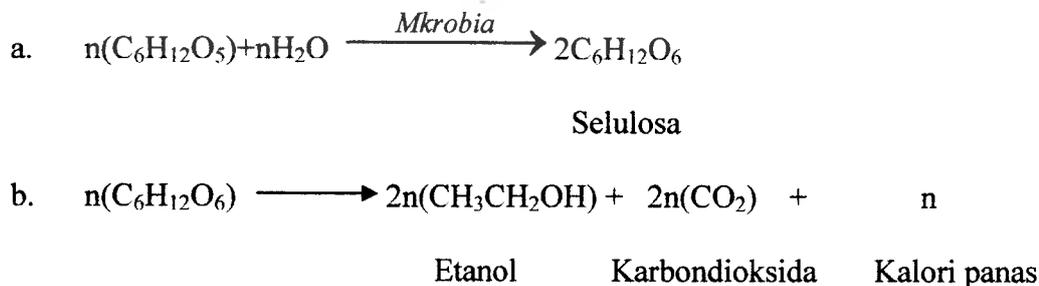
terjebak dalam tumpukan sampah pada waktu pembokaran. Segera setelah peralatan dan pemadatan, kandungan oksigen akan sangat cepat habis kecuali pada lapisan terbatas dari sampah yang berhubungan dengan udara bebas. Selanjutnya bagian yang lebih dalam akan kehabisan oksigen dan menjadi anaerobik.

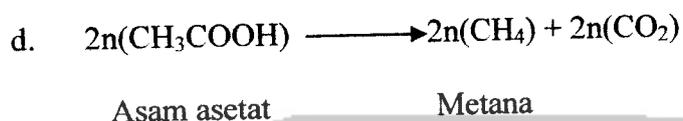
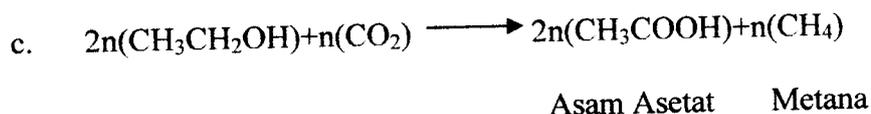
Dalam kondisi aerobik, bakteri aerob akan menguraikan zat organik menjadi karbondioksida dan air serta sejumlah kecil amonia. Sementara itu, sampah organik yang tertimbun dalam TPA akan mengalami berbagai proses alamiah akibat aktivitas mikroorganisme sehingga materi organik secara bertahap akan terurai menjadi senyawa/materi yang lebih sederhana sampai pada akhirnya menjadi kompos/humus yang stabil dengan berbagai jenis gas yang juga timbul seiring dengan berlangsungnya proses tersebut.

Reaksi kimia dekomposisi secara aerobik dijelaskan sebagai berikut :



Reaksi kimia secara anaerobik (Chen, 1974)





Gas utama yang ditimbulkan dari lokasi penimbunan sampah adalah metana, amonium, hidrogen sulfida dan karbondioksida.

Ventilasi gas berfungsi untuk mengalirkan dan mengurangi akumulasi tekanan gas. Pipa ventilasi ini dipasang dari dasar TPA secara bertahap setiap lapisan sampah dan dapat dihubungkan dengan pipa *leachate*. Material yang dipergunakan biasanya adalah pipa PVC (tahan korosi) dengan diameter 150 mm. Ketinggian pemasangan pipa ini tergantung pada ketebalan lapisan sampah dan ditambah 50 cm. Gas yang dikumpulkan dapat dipakai sebagai bahan bakar atau dibakar biasa. Jarak antara vent adalah antara 50-100 m. Dalam timbunan sampah mungkin terdapat ruang gas, ruang gas tersebut hampir tidak pernah kosong sama sekali oleh karena itu mungkin dapat menimbulkan ledakan bila terbentur oleh peralatan berat di TPA (bulldozer). Dilokasi TPA tidak diperbolehkan membakar. Namun demikian, kebakaran mungkin terjadi karena kecerobohan dalam penanganan kebakaran terbuka (*open fire*), karena panasnya sampah atau karena proses degradasi di TPA.

2.7 Tanah Penutup

Tanah penutup dibutuhkan untuk mencegah sampah berserakan, timbul bau, berkembangnya lalat atau binatang pengerat, mencegah bahaya kebakaran dan mengurangi produksi *leachate*. Beberapa hal yang perlu diperhatikan terhadap tanah penutup adalah:

- a. Jenis tanah penutup adalah tanah yang tidak kedap air.
- b. Periode penutupan tergantung pada metode pembuangannya.
- c. Ketebalan *landfill* biasanya sekitar 3m atau kurang dengan tiap lapisan mempunyai ketebalan tanah penutup sebesar 50cm. Secara teoritis, lapisan penutup dibedakan menjadi 3, yaitu: lapisan penutup harian dengan ketebalan lapisan tanah ± 30 cm, lapisan penutup antara dengan ketebalan lapisan tanah ± 50 cm dan lapisan penutup akhir dengan ketebalan lapisan tanah $\pm 50-60$ cm. Bila pada akhir periode direncanakan untuk ditanami pohon, maka ketebalan lapisan tanah penutup akhir antara 1-2 m.
- d. Kemiringan tanah penutup harus cukup untuk mengalirkan air hujan keluar dari lapisan tanah tersebut.
- e. Kemiringan tanah penutup akhir hendaknya mempunyai kemiringan tidak lebih dari 30° untuk menghindari terjadinya erosi.
- f. Diatas tanah penutup akhir harus dilapisi dengan tanah media tanam.
- g. Dalam kondisi sulit tanah penutup dapat digunakan reruntuhan bangunan, sampah lama atau kompos dan hasil pembersih saluran sebagai tanah penutup.

2.8 Alternatif Pengolahan Air Limbah

Tujuan utama dari pengolahan air limbah adalah untuk mengurangi BOD, partikel tercampur, serta membunuh organisme patogen. Selain itu juga diperlukan tambahan pengolahan untuk menghilangkan bahan nutrisi, komponen beracun, serta bahan yang tidak dapat didegradasi agar konsentrasi yang ada menjadi rendah. (Sasongko, 1986).

Berdasarkan analisa kualitas, maka pengolahan air limbah dibagi menjadi beberapa cara yaitu :

2.8.1 Pengolahan air limbah secara fisik

Proses pengolahan ini dimaksudkan untuk memisahkan sebagian dari bahan pencemar. Pengolahan secara fisik dapat berupa : pengendapan, pengapungan, penyaringan, penyerapan dan pengeringan.

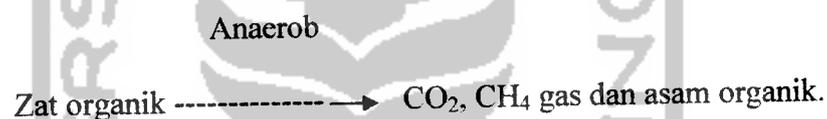
Dalam proses ini dipisahkan zat-zat padat seperti kayu, daun dan lain-lain yang berasal dari tanaman sekitar yang mengering. Dimana pengolahan secara fisik berfungsi untuk memisahkan zat-zat padat dan untuk menghindarkan penyumbatan pada saluran pembawa serta meningkatkan efisiensi untuk pengolahan lainnya. Proses pengolahan ini dapat menurunkan BOD 0-5% (Lund, 1971).

2.8.2 Pengolahan air limbah secara biologis.

Pengolahan limbah secara biologis digunakan untuk mengolah limbah yang biodegradable. Misalnya untuk limbah berbahaya yang berasal dari industri, *leachate* lahan urug dan pencemaran tanah (Damanhuri, 1994).

Salah satu cara pengolahan limbah secara biologis adalah pengolahan anaerobik. Pengolahan anaerobik digunakan untuk mengolah air limbah dengan konsentrasi zat organik yang tinggi. Pada pengolahan ini setiap keadaan mengalami proses anaerob kecuali pada bagian permukaan.

Penguraian zat-zat yang dihasilkan :



Pada proses ini sangat peka terhadap suhu, pH, O₂ terlarut dan zat-zat racun. Dalam proses ini kadar BOD dapat dihilangkan sampai 90% (Lund, 1971).

Macam-macam pengolahan secara biologis adalah sebagai berikut:

2.8.2.1 *Oxidation Ditch*

Oxidation Ditch merupakan suatu bentuk dari pengolahan air buangan secara alamiah berupa reaksi biokimia. Di *Oxidation Ditch* organisme biologis dalam unit pengolahan air buangan akan menyebabkan berbagai perubahan biokimia.

Keuntungan dan kerugian dari pengolahan biologis dengan *Oxidation Ditch*:

- a. Keuntungan pengolahan *Oxidation Ditch*
- Efisiensi penyisihan BOD sebesar 95-98%
 - Effluen tidak berbau dan jauh dari gangguan lalat
- b. Kerugian pengolahan *Oxidation Ditch*
- Memerlukan perawatan khusus dan biaya yang cukup tinggi
 - Perlu tenaga ahli dan tenaga terlatih untuk operasinya
 - Tidak fleksibel terhadap variasi beban hidrolis
 - Memerlukan proses stabilisasi sludge.

Adapun kriteria design dalam perencanaan bangunan pengolahan *Oxidation Ditch*:

Tabel 2.2 Kriteria Desain Kolam Oksidasi

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Organik Loading(F/M)	U	0.05-0.3	Kg BOD/hr/kg MLVSS
Umur Lumpur	Θ Chiyoko	10-40	Hari
Waktu Aerasi	Td	12-36	Jam
MLSS dalam Reaktor	X	3000-6000	Mg/l
Volumetric Loading	VL	0.1-0.78	Kg BOD ₅ /m ³ .hr
Ratio MLVSS/MLSS		59-88	%
Ratio Resirkulasi	R	50-200	%
Koefisien pertumbuhan	Kd	0.4-0.6	Kg sel/kg BOD ₅
Koefisien kematian		0.03-0.075	Hari ⁻¹
Koefisien penyisihan BOD ₅		95-98	%
Kedalaman saluran aerasi untuk rotor Φ 27.5	D	0.915-1.525	m
Kedalaman saluran aerasi Q>1MGD	D	1.83	m
Panjang rotor Φ 27.5	L	0.3-4.6	m
Kedalaman immersi		5.1-25.4	Cm
Beban rotor Φ 27.5			
- Volume > 60.000 gal		<16.000	Gal/ft.png rotor
- Volume < 60.000 gal		<13.000	Gal/ft.png rotor

2.8.2.2 *Aerobic Aerated Lagoon*

Pengolahan Limbah dengan *Aerobic aerated lagoon* adalah pengolahan air buangan dalam kolam secara mekanis atau hembusan guna mendapatkan oksigen (Tjokusumo, 1995).

Aerobic Aerated lagoon menurut Larry dan Clifford (1980) adalah salah satu cara pengolahan air limbah dengan menggunakan supply oksigen yang merata pada seluruh volume air limbah. Keuntungan dan kerugian dari pengolahan biologis dengan *Aerobic Aerated Lagoon* adalah sebagai berikut:

- a. Keuntungan pengolahan *Aerobic Aerated Lagoon*
 - a) Dapat meremoval BOD hanya 80 %
 - b) Sangat efektif untuk menstabilkan limbah organik yang bersifat kuat dengan cepat
 - c) Murah dalam pengoperasian dan konstruksinya
 - d) Menghasilkan sedikit biomassa dari bahan organik yang telah diproses
 - e) Tidak memerlukan energi tambahan karena tidak membutuhkan suplai udara, pemanasan dan pencampuran
- b. Kerugian pengolahan *Aerobic Aerated Lagoon*.
 - a) Memerlukan lahan yang relatif luas.
 - b) Memerlukan waktu yang lama untuk menstabilkan bahan organik
 - c) Dapat mencemari air tanah sehingga harus menyiapkan liner untuk mencegah pencemaran yang dapat ditimbulkan akibat *lagoon* tersebut.

- d) Dapat mempengaruhi lingkungan secara langsung sehingga perlu dilakukan kontrol terhadap proses pengoperasiannya, karena *lagoon* sangat sensitif terhadap perubahan suhu.

Adapun kriteria design dalam perencanaan bangunan pengolahan *Aerobic Aerated lagoon* adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3. Kriteria Desain *Aerobic Aerated lagoon*

Parameter laju muatan	Angka	Sumber
Waktu Tinggal (hari)	1 – 10	Mc Kinney, 1971
Kedalaman (ft)	8 – 16	Eckenfelder, 1972
Keluaran SS (mg/l)	260 - 300	Metcalf and Eddy, 1972
BOD ₅ (%)	80 - 95	Eckenfelder, 1972

Sumber : Benefield and Randal, 1980

2.8.2.3 Activated Sludge

Activated Sludge yaitu proses lumpur aktif yang berfungsi untuk mengolah air dengan bantuan bakteri aerobik yang menggunakan zat-zat organik di dalam air buangan sebagai makanannya. Untuk meningkatkan bakteri aerobik tersebut, dilakukan aerasi dengan memasukkan oksigen ke dalam air buangan yang akan diolah sesuai kebutuhan.

Keuntungan dan Kerugian dari Pengolahan biologis dengan *Activated Sludge* adalah :

- a. Keuntungan pengolahan *Activated Sludge*:
- a) Sistem *Activated Sludge* mempunyai efisiensi BOD removal yang tinggi 85%-95%.

- b) Pada sistem *Activated Sludge* effluent tidak berbau dan gangguan lalat tidak ada.
 - c) Dapat dimodifikasi sesuai dengan karakteristik air buangan.
- b. Kerugian Pengolahan *Activated Sludge*:
- a) Perlu tenaga ahli dan tenaga terlatih untuk operasi pengolahannya.
 - b) Tidak fleksibel terhadap variasi beban hidrolik
 - c) Memerlukan proses stabilisasi *sludge*.

Adapun kriteria design dalam perencanaan bangunan pengolahan *Activated Sludge* :

Tabel 2.4 Kriteria Design *Activated Sludge*

No	Parameter	Simbol	Satuan	Besaran
1	Efisiensi BOD Removal	%R	%	85-95
2	MLSS	MLSS	Mg/ltr	3000-6000
3	Umur Lumpur	Φ_c	Hari	20-30
4	Resirkulasi Ratio	Qs/Q		0.75-1.5
5	Food Mikroorganisme Ratio	F/M	Kg BOD ₅	0.05-0.25
6	Volumetric Loading		kgBOD ₅ /m ³ hr	0.1-0.4
7	Waktu Detensi	Φ	Jam	18-36
8	Kecepatan Penggunaan Substrat oleh Mikroorganisme	K	/hari	2-8
9	Koefisien Kematian	Kd	/hari	0.03-0.07
10	Konsentrasi Substrat pada $\frac{1}{2}$ Maxgrouth Rate	Ks	Mg/ltr BOD ₅	40-120
11	Koefisiensi Pertumbuhan	γ	Vss BOD ₅	0.3-0.7

Sumber : Qasim, *Waste Water Treatment Plants*, 1985

2.8.2.4 *Constructed Wetlands*

Constructed Wetlands secara umum didefinisikan suatu perencanaan ekosistem lingkungan yang berupa tanah jenuh air yang dapat ditumbuhi oleh tanaman air dan pada bagian permukaannya dapat dimanfaatkan oleh aktivitas mikroorganisme atau komponen hewan, (Cowardin dkk, 1979) yang kondisinya dibuat sesuai dengan bentuk *wetlands* alaminya, dengan tujuan untuk meminimalisasikan kandungan konsentrasi air limbah yang berpotensi menyebabkan pencemaran air (NRCS, 2001). Daya tarik *wetlands* dalam pengolahan limbah sangat menarik perhatian khusus, karena kelebihan dan kesederhanaannya tetapi memiliki kemampuan proses minimalisasi limbah yang tinggi, ada tiga fungsi dasar dari *wetlands* yang menjadikan sistem pengolahan limbah cair ini sampai potensial yaitu:

- a. Secara fisik mampu menahan atau menangkap kandungan-kandungan polutan yang terdapat di permukaan tanah dan senyawa-senyawa organik dalam limbah.
- b. Memanfaatkan (Utilization) dan sebagai transformation dari sebagai macam aktifitas jenis mikroorganisme.
- c. Memerlukan energi dan syarat pemeliharaan yang rendah dan mudah untuk menghasilkan pengolahan yang baik. (Chan, E.T.A Bursztynsky, 1981)

Definisi umum *wetlands* lainnya berupa tanah transisi antara bagian daratan dan perairan di mana sebagian besar komposisinya berupa air. *Natural treatment wetlands* ini efektif untuk mengolah air limbah di mana prinsip pengolahan limbah cair dengan *constructed wetlands* ini memanfaatkan peranan aktivitas mikroorganisme atau bakteri

sebagai *mikrobal degradation of contaminants* (Luckeydoo et.al.2002) yang terdapat di dalam limbah dan permukaan air atau yang hidup di akar, batang tanaman dan peranan tanaman (*vegetation*) air di area tersebut. Proses pengolahan yang terjadi di dalam *wetlands* tersebut berupa sedimentasi, filtrasi, gas transfer, adsorpsi atau disebut juga dengan proses pengolahan fisik, untuk pengolahan secara kimiawi dan biologi pada *constructed wetlands* terjadi karena adanya aktivitas dari mikroorganisme dalam tanah dan aktivitas dari tanaman, yaitu berupa proses fotosintesis (Metcalf & Eddy, 1993).

Variabel-variabel perencanaan pada *constructed wetlands* meliputi : kapasitas debit air limbah yang dialirkan, beban organik limbah tertentu, kedalaman media tanah maupun air, serta adanya pemeliharaan tanaman yang digunakan selama proses tanaman.

Keuntungan pengolahan dengan sistem *Consentruced Wetlands* adalah biaya pengolahan dan perawatan lebih murah, mampu mengolah air limbah domestik dan industri di mana kualitas effluen yang dihasilkan terbukti baik dan sistem manajemen dan control yang mudah (Gambrell, 1994)

Adapun Kriteria Design dalam perencanaan bangunan pengolahan *Consentruced Wetlands* :

Tabel 2.5 Kriteria Design *Consentruced Wetlands*

Desain	Satuan	Tipe FWS
Waktu Tinggal Hidrolis	Hari	4-15
Kedalaman Air	M	0.09-0.6
Laju Beban BOD ₅	Kg/Ha/Hari	<112
Laju Beban Hidrolis	M ³ /m ² .hari	0.01-0.05
Luas Spesifik	Ha/m ³ .d	0.002-0.014
Lebar : Panjang		1:2-10

Sumber : Bendroricchio,G.,Dal Cin, L.and Person.

2.8.2.4.1 Mekanisme Sistem Pengolahan *wetlands*.

Berdasarkan definisi dari *Enviromental Protection Agency* (EPA) dan *Water Pollution Control Federation* sistem pengolahan pada *constructed wetlands* dikategorikan menjadi dua tipe yaitu :

a. Sistem *Free Water Surface* (FWS)

Sistem ini berbentuk kolam atau saluran yang dilapisi dengan lapisan impermeable alami atau lapisan tanah, yang mana kandungan air pada sistem ini dangkal. Lapisan ini berfungsi untuk mencegah terjadinya perembesan air limbah atau keluarnya air limbah dari kolam atau saluran tersebut. Komposisi utama pada sistem *free water surface* (FWS) adalah tanah sebagai substrat untuk tempat hidupnya tanaman air.

Pada sistem FWS ini biasanya tanaman yang digunakan berupa *cattail*, *reed*, *seadage* dan *rush*. Kondisi yang harus diperhatikan dalam sistem FWS ini adalah:

- a) Kedalaman air relatif dangkal
 - b) *Velocity* atau kecepatan air rendah (*low*)
 - c) Keberadaan batang dan sisa-sisa tanaman yang mempengaruhi aliran air.
 - d) Lebih efisien digunakan pada saluran atau area yang panjang
- b. Sistem *Sub Surface Flows* (SSF)

Sistem *sub surface flows* ini pada dasarnya hampir sama dengan sistem *free water surface* hanya pada jumlah air pada sistem ini hampir seluruh tanaman air hidup menggenang pada permukaan air. Pada SSF media yang digunakan berupa media berpori antara lain : kerikil dan pasir kasar. Proses yang terjadi pada sistem SSF ini berupa filtrasi, adsorpsi yang dilakukan oleh mikroorganisme dan adsorpsi terhadap tanah dan bahan organik akibat adanya aktivitas dari akar tanaman.

Pada sistem pengolahan *constructed wetlands* ini terdapat dua jenis pengaliran air limbah yaitu secara Horizontal (*sub surface flow wetlands*) dan jenis pengaliran secara vertikal (*vertical flow wetlands*). Untuk perencanaan tugas akhir kita menggunakan media tanaman enceng gondok.

2.8.2.4.2 Media Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crossipes*)

Eceng gondok dapat hidup mengapung bebas diatas permukaan air dan berakar di dasar kolam atau rawa jika airnya dangkal. Kemampuan tanaman inilah

yang banyak digunakan untuk mengolah air buangan., karena dengan aktivitas tanaman ini mampu mengolah air buangan domestik dengan efisiensi yang tinggi. Eceng Gondok dapat menurunkan kadar BOD, partikel suspensi secara biokimiawi (berlangsung agak lambat) dan mampu menyerap logam-logam berat seperti Pb, Hg, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Cr dengan baik, kemampuan menyerap logam persatuan berat kering Eceng Gondok lebih tinggi pada umur muda dari pada umur tua (Widianto dan Suselo, 1977).

Adapun bagian-bagian tanaman yang berperan dalam penguraian air limbah adalah sebagai berikut :

a. Akar.

Bagian akar Eceng Gondok ditumbuhi dengan bulu-bulu akar yang serabut, berfungsi sebagai penanganan atau jangkar tanaman. Sebagian besar peranan akar untuk menyerap zat-zat yang diperlukan tanaman dari dalam air. Pada ujung akar terdapat kantung akar yang mana di bawah sinar matahari kantung ini akan berwarna merah, susunan akarnya dapat mengumpulkan lumpur atau partikel-partikel tanah yang terlarut dalam air. (Ardiwinata, 1950)

b. Daun.

Daun Eceng Gondok tergolong dalam mikrofita yang terletak di atas permukaan air, yang di dalamnya terdapat lapisan rongga udara dan berfungsi sebagai alat pengapung tanaman. Zat hijau daun (klorofil) Eceng Gondok terdapat dalam sel epidemis. Di permukaan atas daun dipenuhi oleh mulut daun (Stomata) dan bulu

daun. Rongga udara yang terdapat dalam akar, batang dan daun selain sebagai alat penampung juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan O_2 dari proses fotosintesis. Oksigen hasil fotosintesis ini digunakan untuk respirasi tumbuhan di malam hari dengan menghasilkan CO_2 yang akan terlepas ke dalam air (Pandey, 1980)

c. Tangkai

Tangkai Eceng Gondok berbentuk bulat menggelembung yang didalamnya penuh dengan udara yang berperan untuk mengapungkan tanaman di permukaan air. Lapisan terluar petiolar adalah lapisan epidermis, kemudian dibagian bawahnya terdapat jaringan tipis sklerenkim dengan bentuk sel yang tebal disebut lapisan parenkim, kemudian di dalam jaringan ini terdapat jaringan pengangkut (*xylem* dan *Floem*). Rongga-rongga udara dibatasi oleh dinding penyekat berupa selaput tipis berwarna putih. (Pandey, 1980)

d. Bunga.

Eceng Gondok berbunga bertangkai dengan warna mahkota lembayung muda. Berbunga majemuk dengan jumlah 6-35 berbentuk karangan bunga bulir dengan putik tunggal.

Eceng Gondok juga memiliki ciri-ciri morfologi sebagai berikut: eceng gondok merupakan tumbuhan perenial yang hidup dalam perairan terbuka, yang mengapung bila air dalam dan berakar didasar bila air dangkal. Perkembangbiakan eceng gondok terjadi secara vegetatif maupun secara generatif, perkembangan secara vegetatif

terjadi bila tunas baru tumbuh dari ketiak daun, lalu membesar dan akhirnya menjadi tumbuhan baru.

Setiap 10 tanaman Eceng Gondok mampu berkembangbiak menjadi 600.000 tanaman baru dalam waktu 8 bulan (Widiyanto, 1981). Hal inilah membuat Eceng Gondok dapat banyak dimanfaatkan guna untuk pengolahan air limbah. Eceng Gondok dapat mencapai ketinggian antara 40-80 cm dengan daun yang licin dan panjangnya 7-25.

Keuntungan dari Eceng Gondok :

- a) Hidup pada suhu 28°C - 30°C
- b) Berhenti tumbuh pada suhu dibawah 10°C dan diatas 40°C
- c) Tumbuh pada air tawar
- d) Pertumbuhan semakin baik pada air tercemar oleh sampah karena eceng gondok dapat menggunakan Nitrogen, Fospor dan nutrien lain terdapat didalamnya.
- e) Tumbuh pada pH = 4.0-10.0.
- f) Eceng Gondok yang tumbuh pada air yang lebih asam/basa cenderung mengubah pH sehingga terletak didalam kisaran pH optimum (Asiyatun, 1993)
- g) Eceng Gondok dapat berfungsi sebagai penyerap logam-logam berbahaya diantaranya Pb, As, Hg/Cd (Ahmady, 1995)
- h) Eceng Gondok mampu menyerap unsur Cd dan Pb sebesar 3.92 mg/gram dan berat kering tanaman perhari selama periode waktu 4 hari, setelah periode 28 hari kemampuan penyerapannya menjadi berkurang. Pada periode tersebut Pb

dan Cd yang diserap hanya 0.29 mg/gram berat kering tanaman perhari (Yuliawati, 1995)

2.8.2.5 Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

Dari sekian banyak yang menarik perhatian dari teknologi yang menggunakan proses anaerobic adalah reactor UASB yaitu Anaerobik Blanket Reactor yang ditemukan oleh Vinken pada tahun 1970 di Netherland.

Pada prinsipnya reactor UASB terdiri dari suatu lumpur yang padat yang berbentuk butiran. Lumpur atau sludge tersebut ditempatkan dalam suatu reactor yang didesain dengan aliran ke atas (upflow). Air limbah akan masuk melalui dasar bak secara merata dan mengalir secara vertical, sedangkan butiran sludge akan tetap berada atau bertahan sedemikian rupa sehingga dapat menciptakan pembentukan sludge blanket yang memberikan area yang luas untuk kontak antara sludge dan air limbah.

Karakteristik pengendapan butiran sludge dan karakteristik air limbah akan menentukan kecepatan upflow dalam reactor, kecepatan upflow berkisar pada 0,5 - 0,3 m/jam. Gas yang terperangkap dalam butiran sludge sering mendorong sludge tersebut menuju ke bagian atas reactor yang disebabkan oleh berkurangnya densitas butiran. Untuk itu diperlukan pemisahan butiran sludge dengan membuat gas - solid - liquid separator yang ditempatkan di bagian atas reactor.



Pada prinsipnya reactor UASB terdiri dari suatu lumpur yang padat yang berbentuk butiran. Lumpur atau Sludge ditempatkan dalam suatu reactor yang desain dengan aliran ke atas. Air limbah akan masuk melalui dasar bak secara merata dan mengalir secara vertical, sedangkan butiran sludge akan tetap berada atau tertahan dalam reactor. Kecepatan upflow harus dipertahankan sedemikian rupa sehingga supaya dapat menciptakan pembentukan sludge blangket yang memberikan area yang luas untuk kontak antara sludge dan air limbah.

Karakteristik pengendapan butiran sludge dan karakteristik air limbah akan menentukan kecepatan upflow yang harus dipelihara dalam reactor. Biasanya kecepatan aliran ke atas berada pada rentang 0.5 – 0.3 m/jam. Untuk mencapai sludge blangket yang memuaskan, pada saat kondisi hidrolis puncak (debit puncak) kecepatan dapat mencapai 2-6 m/jam.

Gas yang terperangkap dalam butiran sludge sering mendorong sludge tersebut menuju ke bagian atas reactor, yang disebabkan oleh berkurangnya densitas butiran. Untuk itu diperlukan pemisahan butiran sludge di luar reactor dan kemudian dikembalikan lagi ke reactor. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat gas-solid-liquid separator tersebut sedangkan sludge dikembalikan lagi ke reactor.

Problem yang dihadapi pada UASB adalah terutama sludge yang bergerak naik yang disebabkan turunnya densitas sludge. Di samping itu juga turunnya aktivitas spesifik butiran. Beragamnya densitas sludge memberikan ketidak seragaman sludge blangket alhasil sludge akan ikut keluar reactor.

Tingginya konsentrasi suspended solid dan fatty mineral dalam air limbah juga merupakan masalah operasi yang serius. Suspended solid dapat menyebabkan clogging/penyumbatan atau channeling. Adsorpsi suspended solid pada butiran sludge juga akan mempengaruhi proses. Dan juga air limbah yang mengandung protein atau lemak menyebabkan pembentukan busa.

Tabel 2.6 Parameter dan Aplikasi UASB

No	Parameter Utama	Keuntungan	Aplikasi
1	Efisiensi Pengolahan 80-90% (COD)	-Kebutuhan energi rendah	-Pulp and paper -Alcohol- distilleries
2	Beban Organik 10-20 kg	-Kebutuhan lahan sedikit	-Sugar, yeast, and molasses
3	Hydrolic Retention Time 4-24 jam	-Biogas yang berguna	-Pengolahan makanan dan minuman
4	pH 6-8	-Kebutuhan nutrien sedikit	-Tekstil, cotton
5	COD Influent 100-100.000 mg/L	-Sludge mudah diolah/dikeringkan	-Petrochemicals -Pharmaceuticals
6	Produksi Gas Methane 0.4 m ³ /kg COD yang disisihkan	-Tidak mengeluarkan bau dan kebisingan	-Buangan Domestik
7	Pertumbuhan Sludge 0.5 kg/kg COD yang disisihkan	-Mempunyai kemampuan terhadap fluktuasi dan intermitten load	
8	Stabil terhadap, Peak flow, suhu, dan pH		

2.8.3 Pengolahan limbah secara kimia.

Pada proses pengolahan ini pada dasarnya memanfaatkan reaksi-reaksi kimia untuk mentransformasi limbah berbahaya menjadi lebih tidak berbahaya (Damanhuri, 1994). Dimana instalasi pengolahannya dapat berupa bak Netralisasi. Proses pengolahan ini adalah meliputi proses penetralan yang umumnya bersifat asam atau

basa, proses koagulasi untuk mengendapkan zat-zat organik yang tersuspensi dan partikel koloid yang tidak larut dalam air. Air limbah yang bersifat asam dinetralkan dengan basa dengan penambahan NaOH, demikian sebaliknya bersifat basa maka dinetralkan dengan penambahan HCL.

2.9 Saluran Drainase

Dalam merencanakan saluran drainase hal-hal yang menjadi pertimbangan adalah sebagai berikut:

2.9.1 Analisa Hidrologi

Data hidrologi dapat digunakan untuk menentukan kapasitas maksimum dan minimum dari *run off*, volume aliran, banjir dan kondisi rata-rata perairan. Dari data ini sangat diperlukan untuk perencanaan dalam mendesain reservoir, saluran drainase dan struktur hidrologi lainnya.

Untuk membangun sebuah sistem drainase air hujan dalam suatu wilayah diperlukan beberapa macam analisa terhadap berbagai bidang yang terkait dan berpengaruh terhadap sistem perencanaan. Salah satu yang penting adalah menganalisa sumber air yang ada terutama air hujan sehingga diketahui distribusi curah hujan. Untuk perencanaan saluran air hujan sehingga diketahui distribusi curah hujan. Untuk perencanaan saluran air hujan (drainase) dilakukan analisa curah hujan

yang paling tinggi untuk tahun tertentu. Data curah hujan atau data hidrologi yang diperoleh digunakan untuk :

- a. Perhitungan dimensi saluran baik yang tertutup ataupun terbuka.
- b. Perhitungan dimensi bangunan-bangunan saluran perlintasan seperti gorong-gorong dan siphon.
- c. Perhitungan batang jembatan.
- d. Perhitungan waduk pengendali banjir mikro dan makro

2.9.2 Melengkapi Data Curah Hujan yang Hilang

Dalam suatu wilayah perencanaan kadang data curah hujan yang diperoleh tidak lengkap dan ada beberapa data yang hilang, hal ini kemungkinan terjadi dikarenakan adanya berbagai sebab misalnya kerusakan alat, petugas yang lalai didalam melaksanakan tugas dan sebagainya. Oleh sebab itu sebelum dilakukan terlebih dahulu sehingga diperlukan pengisian data yang hilang tersebut dengan membandingkan stasiun yang ada.

Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$\frac{r_x}{R_x} = \frac{1}{n-1} \times \sum_{n=1}^n \frac{r_n}{R_n} \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana:

r_x : Nilai tinggi curah hujan yang dicari

R_x : Nilai rata-rata tinggi curah hujan pada stasiun pengamat yang salah satu tinggi curah hujannya sedang dicari

n : Banyaknya stasiun pengamat hujan untuk perhitungan $n > 2$

r_n : Nilai tiap hujan pada tahun yang sama dengan r_x pada stasiun pembanding

R_n : Nilai rata-rata tinggi curah hujan pada setiap stasiun pengamat hujan yang datanya sedang dicari (sumber :Gunadarma, 1997).

Catatan :

- a) Jika perbedaan kurang dari 10% maka dipakai metode Aritmatik yaitu perhitungan dengan mengambil rata-rata dari curah hujan dari stasiun yang lain.
- b) Perbedaan lebih daripada 10% dipakai metode perbandingan normal.

Ada tiga macam cara yang umum dipakai dalam menghitung hujan rata-rata kawasan:

1. Rata-rata aljabar

Merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan hujan kawasan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, alat penakar tersebar merata/hampir merata dan harga individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya.

Hujan kawasan diperoleh dari persamaan:

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \dots \dots \dots 2.4$$

Dimana P_1, P_2, \dots, P_n adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n dan n adalah banyaknya pos penakar hujan.

2. Metode Poligon Thiessen

Metode ini dikenal juga sebagai metode rata-rata timbang. Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat Gambar 1. Diasumsikan bahwa variasi hujan antara pos yang satu dengan lainnya adalah linier dan bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat. Hasil metode poligon Thiessen lebih akurat dibandingkan dengan metode rata-rata aljabar. Cara ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500-5.000 km² dan jumlah pos penakar hujan terbatas dibandingkan luasnya.

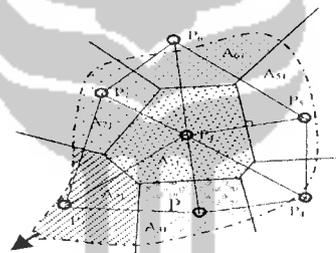
Prosedur penerapan metode ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Lokasi pos penakar hujan diplot pada peta DAS. Antara pos penakar dibuat garis lurus penghubung.
- b. Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk poligon Thiessen. Semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan pos penakar yang ada didalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap pos lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada pos tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan.

- c. Luas area pada tiap-tiap poligon dapat diukur dengan planimeter dan luas total DAS, A, dapat diketahui dengan menjumlahkan semua luasan poligon.
- d. Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{P_1 A_1 + P_2 A_2 + \dots + P_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots \dots \dots 2.5$$

Dimana P_1, P_2, \dots, P_n adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n. A_1, A_2, \dots, A_n adalah luas area poligon 1, 2, ..., n adalah banyaknya pos penakar hujan.



Gambar 2.1 Poligon Thiessen

3. Metode Isohyet

Metode ini merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian dan pengalaman. Cara ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Dengan kata lain, asumsi metode Thiessen yang secara membabi buta menganggap bahwa tiap-tiap pos penakar mencatat kedalaman yang sama untuk daerah sekitarnya dapat dikoreksi.

Metode isohyet terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

- Plot data kedalaman air hujan untuk tiap pos penakar hujan pada peta.
- Gambar kontur kedalaman air hujan dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai kedalaman air yang sama. Interval isohyet yang umum dipakai adalah 10 mm.
- Hitung luas area antara dua garis isohyet dengan menggunakan planimeter. Kalikan masing-masing luas areal dengan rata-rata hujan antara dua isohyet yang berdekatan.

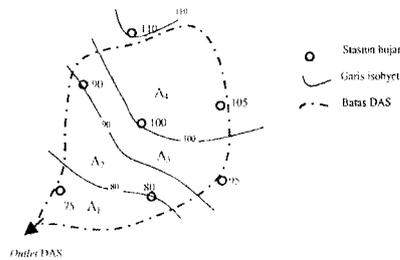
Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{A_1 \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) + A_2 \left(\frac{P_2 + P_3}{2} \right) + \dots + A_{n-1} \left(\frac{P_{n-1} + P_n}{2} \right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1}} \dots\dots\dots 2.6$$

Atau

$$P = \frac{\sum \left[A \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \right]}{\sum A} \dots\dots\dots 2.7$$

Metode isohyet cocok untuk daerah berbukit dan tidak teratur dengan luas lebih dari 5.000 km².



Gambar 2.2 Isohyet

2.9.3 Metode Menghitung hujan harian maksimum

Metode-metode yang digunakan adalah:

2.9.3.1 Metode gumbel

Distribusi harga ekstrim tipe 1 disebut juga dengan distribusi gumbel yang berdasarkan fisher dan tippet, yang menyatakan bahwa distribusi harga ekstrim (maksimum/minimum) tahun yang dipilih dari n sampai akan mendekati suatu bentuk garis batas bila ukuran sampel meningkat.

Persamaan yang digunakan dalam metode ini adalah:

$$R_T = \mu + \frac{1}{\alpha} * Y_T \dots\dots\dots 2.8$$

$$\mu = R_r - \frac{1}{\alpha} * Y_r \dots\dots\dots 2.9$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\delta R}{\delta n} \dots\dots\dots 2.10$$

$$\text{Jadi } R_T = R_r + \frac{\delta R}{\delta n} x \frac{Y_T}{Y_r} \dots\dots\dots 2.11$$

Dimana:

R_T = HMMS rencana dengan PUHT tahun

R_r = Presipitasi rata-rata dalam array data

δ_R = Standart deviasi

δ_n = Expected standart deviasi (tabel)

Y_t = Reduced Variated untuk PUHT (tabel)

Y_n = Expected mean reduced variate (tabel)

$$G = \sqrt{[(1 + (1.3 * k)) + (1.1 * k^2)]} \dots\dots\dots 2.12$$

$$K = \frac{(Y_t - Y_n)}{\delta_n} \dots\dots\dots 2.13$$

2.9.3.2 Metode Iway Kadoya

Dalam menghitung curah hujan harian maksimum dengan menggunakan Metode Iway Kadoya, dapat dilakukan melalui tahap-tahap berikut:

- a) Harga curah hujan (R) disusun mulai dari harga yang terbesar, kemudian melakukan perhitungan yang diperlukan
- b) Memperkirakan harga X_o dengan rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$X_o = \text{antilog } \frac{\sum \text{Log}x}{n} \dots\dots\dots 2.14$$

c) Memperkirakan harga b

Dalam memperkirakan harga b digunakan Tabel 4.4 pada lampiran 2, dimana nilai dari X_s adalah dua nilai curah hujan terbesar dan untuk X_t adalah nilai dari curah hujan yang terkecil dan nilai b adalah:

$$m = \frac{n}{10}$$

$$b = \frac{1}{m} x (\sum bt) \dots\dots\dots 2.15$$

Menghitung nilai $\frac{1}{c}$

nilai $\frac{1}{c}$ dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\frac{1}{c} = \sqrt{\frac{2n}{n-1}} x \sqrt{X^2 - X_o^2} \dots\dots\dots 2.16$$

dimana : $X^2 = \frac{[\sum \text{Log}(x+b)]^2}{15} \dots\dots\dots 2.17$

2.9.3.3 Metode Log Pearson Type III

Dalam menghitung curah hujan harian maksimum dengan menggunakan Metode Log Pearson Type III, data curah hujan (x) disusun atau diurutkan dari data terbesar sampai data yang terkecil. Perhitungan curah hujan maksimum Metode Log Pearson type 3 adalah sebagai berikut:

$$X = \frac{\sum Xi}{N} \dots\dots\dots 2.18$$

$$Cs = \frac{nx \sum (Xi - X)^3}{(n-1)x(n-2)x(\sigma x)^3} \dots\dots\dots 2.19$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (Xi - X)^2}{n-1}} \dots\dots\dots 2.20$$

Keterangan:

K_x : dari tabel (lampiran)

$$X_T = X + (K_x \cdot x) \dots\dots\dots 2.21$$

$$R_T = \text{antilog } X_t \dots\dots\dots 2.22$$

2.9.4 Distribusi Hujan Dengan Metode Hasper-Weduwen

Untuk menghitung distribusi hujan, maka diperlukan data Hujan Harian Maksimum (HHM) dari perhitungan sebelumnya.

- a. Waktu distribusi hujan yang digunakan ialah : 5,10,20,30,40,60,80,120 menit
- b. Rumus yang digunakan ialah:
 - a) $1 \leq t \leq 24$ jam

$$R_T^t = \sqrt{\frac{11300xt}{t+3.12}} \times \left(\frac{X_T}{100} \right) \dots\dots\dots 2.23$$

- b) $0 < t < 1$ jam

$$R_T^t = \sqrt{\frac{11300xt}{t+3.12}} \times \left(\frac{R_t}{100} \right) \dots\dots\dots 2.24$$

$$R_t = X_T \times \left(\frac{1218t + 54}{X_T(1-t) + 1272t} \right) \dots\dots\dots 2.25$$

Dimana:

X_T = Curah hujan harian maksimum (mm)

t = durasi hujan (jam)

Sehingga:

$$I = \frac{R}{t} \text{ (mm/jam)} \dots\dots\dots 2.26$$

2.9.5 Metode Menghitung Lengkung Intensitas Hujan

Dapat dihitung dengan menggunakan beberapa rumus, seperti dibawah ini :

A. Rumus Talbot

$$I = \frac{a}{t+b} \dots\dots\dots 2.27$$

$$a. = \frac{(\sum Ixt) \times (\sum I^2) - (\sum I^2xt) \times (\sum I)}{Nx(\sum I^2) - (\sum I)^2} \dots\dots\dots 2.28$$

$$b. = \frac{(\sum I) \times (\sum Ixt) - Nx(\sum I^2xt)}{Nx(\sum I^2) - (\sum I)^2} \dots\dots\dots 2.29$$

Persamaa Intensitas curah hujan dengan menggunakan rumus Talbot ialah :

$$I = \frac{a}{t+b} \dots\dots\dots 2.30$$

B. Rumus Sherman

$$I = \frac{a}{t^n} \dots\dots\dots 2.31$$

$$\text{Log a} = \frac{\sum \log Ix \sum (\log t)^2 - (\sum \log Ix \sum \log t)x \sum \log t}{Nx \sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2} \dots\dots\dots 2.32$$

$$n = \frac{\sum \log Ix \sum \log t - Nx (\sum \log I \log t)}{Nx \sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2} \dots\dots\dots 2.33$$

C. Rumus Ishigoro

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b} \dots\dots\dots 2.34$$

$$a = \frac{\sum (Ix\sqrt{t})x \sum I^2 - \sum (I^2x\sqrt{t})x \sum I}{Nx \sum I^2 - (\sum I)^2} \dots\dots\dots 2.35$$

$$b = \frac{\sum Ix \sum (Ix\sqrt{t}) - Nx \sum (I^2x\sqrt{t})}{Nx \sum I^2 - (\sum I)^2} \dots\dots\dots 2.36$$

Setelah menentukan rumus intensitas berdasarkan ketiga metode, lalu dicari nilai dan dibandingkan dengan Intensitas Hujan hasil perhitungan **Hasper Weduwen**. Dicari yang mempunyai beda terkecil dan rumus tersebut yang digunakan.

2.9.6 Jaringan Drainase

2.9.6.1 Kriteria Desain Perencanaan

Rumus yang digunakan :

- a. Untuk menghitung debit limpasan air hujan digunakan persamaan :

$$Q = x C x I x A \quad (\text{untuk luas daerah} < 80 \text{ Ha}) \dots\dots\dots 2.37$$

$$Q = x C x C_s x I x A \quad (\text{untuk luas daerah} > 80 \text{ Ha}) \dots\dots\dots 2.38$$

Dimana:

Q = debit limpasan (lt/dtk)

C = Koefisien pengaliran

I = Rata-rata intensitas hujan yang besarnya tergantung waktu konsentrasi
(mm/jam)

A = Luas daerah tangkapan (Ha)

C_s = Koefisien penampungan

- b. Waktu Koefisien (T_c)

Adalah waktu yang diperlukan untuk mengalirkan air hujan dari titik terjauh menuju suatu titik tinjauan tertentu sehingga diperoleh debit maksimum.

Rumus yang dipakai adalah:

$$T_c = T_o + T_d \dots\dots\dots 2.39$$

Dimana:

T_o = Waktu yang diperlukan air untuk mengalir pada permukaan tanah menuju saluran terdekat

T_d = Waktu pengaliran dalam saluran menuju titik tinjauan

Berikut ini adalah rumus untuk menghitung T_o , T_d atau langsung menuju perhitungan T_c .

c. Untuk panjang aliran ± 300 m, maka:

$$T_o = \frac{3.26(1.1-C) L_o^{1/2}}{S^{1/3}} \dots\dots\dots 2.40$$

d. Untuk panjang aliran ± 1000 m, maka:

$$T_o = 108 n (L_o^{1/3}/S^{1/3}) \dots\dots\dots 2.41$$

$$T_d = L_d \times V \dots\dots\dots 2.42$$

Dimana

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \dots\dots\dots 2.43$$

Dengan n = angka kekasaran manning

V = kecepatan rata-rata aliran

R = jari-jari hidrolis

$$T_c = 0.195 (L/S^{1/2})^{0.77} \dots\dots\dots 2.44(\text{rumus Kirpich})$$

Dimana L = Panjang limpasan (m)

S = Kemiringan DAS (perbandingan selisih tinggi dengan jarak)

Catatan : satuan T_c , T_d dan T_o adalah dalam menit.

e. Koefisien Pengaliran

Adalah perbandingan antara tinggi aliran dengan tinggi hujan untuk luas DAS yang sama dalam jangka waktu yang cukup panjang. Dipengaruhi oleh keadaan hujan, luas dan bentuk DAS, kemiringan DAS dan dasar saluran, daya infiltrasi dan perkulasi tanah dsb.

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots 2.45$$

f. Koefisien Tampungan

Merupakan efek penampungan dari suatu saluran terhadap puncak banjir dimana koefisien ini akan semakin besar bila daerah alirannya semakin luas.

Rumus yang dipakai adalah:

$$C_s = \frac{2T_c}{2T_c + T_d} \dots\dots\dots 2.46$$

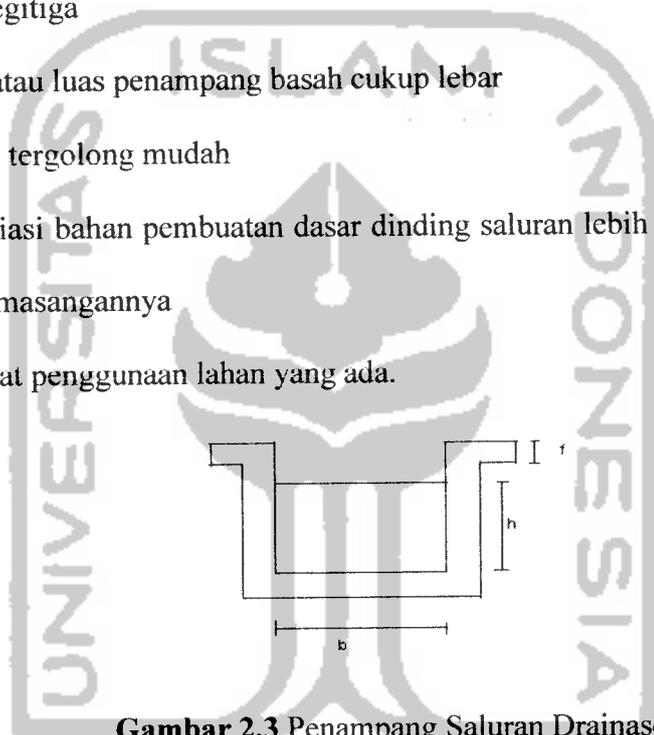
2.9.6.2 Pemilihan Bentuk Saluran

Saluran drainase pada umumnya berbentuk rektanguler dan trapezoidal namun ada beberapa kasus tertentu digunakan lingkaran yaitu pada saluran drainase di Belanda dan saluran berbentuk segitiga dimasa Kerajaan Majapahit.

Menurut Standar Dinas PU (Pekerjaan Umum), untuk Indonesia digunakan saluran berbentuk rektanguler dengan tipikal saluran terbuka, maka dalam

perencanaan ini digunakan tipe rektanguler. Dipilihnya bentuk saluran ini karena beberapa pertimbangan yaitu:

- a. Mudah dibuat oleh tenaga lokal
- b. Ongkos kerja lebih murah daripada pembuatan bentuk trapezoidal, lingkaran maupun segitiga
- c. Nilai (R) atau luas penampang basah cukup lebar
- d. Perawatan tergolong mudah
- e. Untuk variasi bahan pembuatan dasar dinding saluran lebih banyak pilihan dan mudah pemasangannya
- f. Menghemat penggunaan lahan yang ada.



Gambar 2.3 Penampang Saluran Drainase

Keterangan :

b = lebar saluran

h = kedalaman

f = freeboard

$b = 2h$ (untuk penampang ekonomis)

prosedur penurunan rumus $b = 2h$

$$A = b \times h$$

$$= 2h \times h$$

$$A = 2h^2$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = h \text{ (untuk nilai "A")}$$

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

$$Q = V \times A$$

Rumus untuk Q dapat diturunkan menjadi

$$Q = 1.26 \times \frac{1}{n} \times h^{8/3} \times S^{1/2} \dots\dots\dots 2.47$$

Dan rumus diatas adalah yang digunakan dalam perhitungan:

Proses penurunan rumus "Q":

$$Q = V \times A$$

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

Memasukkan nilai "R" yaitu $\frac{1}{2} H$ dan nilai "A" yaitu $2h^2$

$$Q = \frac{1}{n} \times \left(\frac{1}{2} H\right)^{2/3} \times S^{1/2} \times (2H^2)$$

Untuk mempermudah penguraian rumus diatas, kita uraikan khusus penyederhanaan untuk nilai “H”

$$(1/2H)^{2/3} \times 2H^2$$

$$(1/2)^{2/3} \times H^{2/3} \times 2H^2$$

$$\{2 \times (1/2)^{2/3}\} \times H^{2/3} \times H^2$$

$$1.26 \times H^{8/3} \text{ (ini dimasukkan kembali kedalam persamaan “Q”, maka}$$

persamaan Q yang didapatkan adalah:

$$Q = 1.26 \times c \times h^{2/3} \times S^{1/2} \dots\dots\dots 2.48$$

Nilai freeboard (f)

$$f = (c \times h)^{1/2}$$

dimana c merupakan koefisien untuk, $Q \leq 0.6 \text{ m}^3/\text{det}$ maka $c \leq 0.14$

$0.6 \leq Q \leq 8 \text{ m}^3/\text{det}$ maka $0.14 \leq c \leq 0.23$

$Q \geq 8 \text{ m}^3/\text{det}$ maka $c \geq 0.23$

2.9.6.3 Kontrol Kecepatan

Pada saluran yang direncanakan nantinya akan dilakukan perhitungan tambahan yaitu kontrol kecepatan, dimana untuk kecepatan aliran air dalam saluran air harus memenuhi kriteria tertentu, kriteria tersebut adalah;

- a. Kecepatan minimum $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (tujuannya adalah agar tidak terjadi pengendapan dinding saluran)
- b. Kecepatan maksimum $3 \text{ m}^3/\text{s}$ (tujuannya adalah agar tidak terjadi penggerusan atau erosi terhadap dinding saluran)

Persamaan untuk V_{cek} adalah:

$$V_{cek} = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Besarnya harga koefisien pengaliran sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

- a. Karakteristik hujan
 - a) Jenis hujan
 - b) Intensitas hujan
 - c) Distribusi hujan
 - d) Durasi hujan
 - e) Kelembaban tanah
 - f) Kelembaban hujan
 - g) Faktor iklim lainnya
- b. Karakteristik fisik daerah pengaliran
 - a) Tata guna lahan
 - b) Jenis permukaan tanah
 - c) Luas daerah pengaliran
 - d) Bentuk daerah pengaliran
 - e) Elevasi dan slope
 - f) Kontinuitas saluran drainase

Tabel 2.7 Data Koefisien Pengaliran Tata Guna Lahan

Tipe daerah Pengaliran	Harga c
a. Perumputan	
1. tanah pasir, datar 2 %	0.05-0.10
2. tanah pasir, rata-rata 2-7 %	0.10-0.15
3. tanah pasir, curam 7 %	0.15-0.20
4. tanah gemuk, datar 2 %	0.13-0.17
5. tanah gemuk, rata-rata 2-7 %	0.18-0.22
6. tanah gemuk, curam 7 %	0.25-0.35
b. Burnes	
1. daerah kota lama	0.75-0.95
2. daerah pinggiran	0.50-0.70
c. Perumahan	
1. daerah single family	0.30-0.50
2. multi units terpisah-pisah	0.40-0.60
3. multi units tertutup	0.60-0.75
4. suburan	0.25-0.40
5. daerah rumah-rumah apartemen	0.50-0.70
d. Industri	
1. daerah ringan	0.50-0.80
2. daerah berat	0.60-0.90
e. Pertamanan, kuburan	
f. tempat bermain	0.20-0.35
g. halaman kereta api	0.20-0.40
h. daerah yang tidak dikerjakan	0.10-0.30
i. jalan	
1. berasap	0.70-0.95
2. beton	0.80-0.95
3. batu	0.70-0.85
j. untuk berjalan dan naik kuda	0.75-0.85
k. Atap	0.75-0.95