

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Menurut Ehler and Steel (1975), memberikan pengertian bahwa air limbah adalah cairan yang dibawa atau dialirkan oleh saluran air buangan, sehingga secara umum dapat dikemukakan bahwa air limbah yaitu cairan yang berasal dari rumah tangga, industri dan tempat lainnya dan biasanya mengandung zat-zat yang membahayakan kehidupan dan mengganggu kelestarian lingkungan hidup.

Dalam studi ini, limbah yang akan dikaji adalah limbah cair rumah sakit. Limbah medis sendiri disini adalah limbah yang berasal dari aktivitas kegiatan medis yang berupa sisa obat, suntikan, infus, maupun limbah cair dari ruang rawat inap. Limbah rumah sakit memiliki karakteristik yang sedikit berbeda dengan limbah-limbah yang lain, terutama dari segi kandungan mineral, logam, maupun zat-zat lain yang ada didalamnya.

2.2. Sifat-sifat Air Limbah

2.2.1. Sifat Fisik

1. Kandungan Zat Padat (Total Suspended Solid)

Umumnya air limbah mengandung bahan terendap yang cukup tinggi apabila diukur dari padatan terlarut dan padatan tersuspensi.

2. Bau

Air limbah yang mengalami proses degradasi akan menghasilkan bau. Hal ini disebabkan karena adanya zat organik terurai secara tak sempurna dalam air limbah. Senyawa-senyawa yang menghasilkan bau antara lain : NH_3 dan Hidrogen Sulfida (H_2S).

3. Warna

Zat terlarut dalam air limbah dapat menimbulkan warna air limbah. Umumnya air limbah yang baru akan berwarna abu-abu dan berubah menjadi hitam setelah mengalami dekomposisi. Selanjutnya air limbah akan jernih kembali bila telah normal kembali.

4. Temperatur

Proses kegiatan sumber limbah padat menyebabkan air buangan menjadi hangat, sehingga air limbah umumnya memiliki suhu yang lebih tinggi dibanding dengan suhu air bersih.

2.2.2. Sifat Kimia

Berdasarkan bahan yang terkandung didalamnya, sifat kimia air limbah digolongkan :

1. Senyawa Organik

Air Limbah pada umumnya mengandung senyawa organik 40% total padatan yang tersusun dari unsur-unsur seperti : H, O, N, P dan S yang bentuknya berupa senyawa protein, karbohidrat, lemak, minyak, detergen dan pestisida.

2. Senyawa Anorganik

Keberadaan komponen-komponen anorganik dalam air limbah perlu mendapat perhatian dalam menempatkan kualitas air limbah sebagai bahan buangan, karena keberadaan bahan-bahan organik ini tidak menutup kemungkinan terkandung racun yang menambah beban dan potensi bahaya air limbah.

2.2.3. Sifat Biologis

Keberadaan mikroorganisme dalam air limbah dapat membantu proses pengolahan sendiri (self purification). Namun bila mikroorganisme dalam air limbah tidak sesuai dengan ketentuan yang ada, justru akan menimbulkan gangguan bagi lingkungan. Berdasarkan kemampuan mikroorganisme untuk menimbulkan gangguan terhadap lingkungan, maka mikroorganisme dikelompokkan menjadi 2 (dua) golongan yaitu :

1. Mikroorganisme patogen, seperti : bakteri coli, virus hepatitis, salmonella dan lain-lainnya.
2. Mikroorganisme non patogen, seperti : protista dan algae.

Berdasarkan beberapa karakteristik air buangan tersebut, maka pengolahan air limbah dibagi atas :

- Pengolahan air buangan secara fisik
- Pengolahan air buangan secara kimiawi

- Pengolahan air buangan secara biologis

Adapun pemilihan cara pengolahan yang akan dipakai tergantung pada karakteristik air buangan tersebut. Untuk limbah rumah sakit dalam mengolah air limbahnya menggunakan pengolahan secara biologis berupa sistem *Fluidized Bed Biofilm Reactor (FBBR)*.

2.3. Sumber-sumber Limbah Cair Rumah Sakit

Sumber air limbah rumah sakit diantaranya adalah dari kamar pasien, ruang operasi, kamar bersalin, ruang gawat darurat, ruang hemodialisis, dan toilet memiliki kisaran yang sama dengan komposisi limbah kota yang ditunjukkan pada kandungan BOD, COD, nitrogen, dan fosfor.

2.3.1. Air Limbah dari Ruang Rawat Inap

Pada ruang rawat inap, limbah dihasilkan dari wastafel, kamar mandi dan toilet. Sumber dan kuantitas limbah cair disini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain :

- a. Jumlah tempat tidur
- b. Pemakaian per bulan dari tempat tidur
- c. Jenis kegiatan yang ada
- d. Jumlah karyawan
- e. dan lain-lain

tetapi diantara kelima faktor tersebut, yang paling mempengaruhi adalah jumlah pasien yang rawat inap disini. Semakin bertambah jumlah pasien, maka limbah yang dihasilkan semakin besar pula.

2.3.2. Air Limbah dari Dapur (Kitchen)

Air limbah dari dapur (Kitchen) banyak mengandung lemak dan minyak dalam mentega. Lemak (Fat) adalah satu diantara senyawa organik yang stabil dan tidak mudah didekomposisi oleh bakteri. Lemak dan minyak merupakan bahan yang memiliki viskositas (Kekentalan) tinggi dan menghambat perpindahan oksigen ke air limbah. Pada sisi lain fluidized bed yang dimasuki lemak dan minyak, fungsinya bisa menjadi tidak normal. Bahan-bahan yang dapat menghambat transfer oksigen ke air limbah ini harus dihilangkan dengan cara pengolahan pendahuluan (Pre-Treatment).

2.3.3. Air Limbah dari Ruang Cuci (Laundry)

Air limbah dari ruang cuci (Laundry) memiliki karakteristik pH > 9. kisaran pH optimum untuk proses pengolahan biologis adalah 6,5 – 8,5. pH limbah dari laundry harus dinetralkan menjadi 6,5 – 9 dengan air limbah lain dalam tangki buffer. Air limbah laundry mengandung ABS dan minyak. Jumlah material-material ini tergantung pada jenis kekotoran dan konsentrasinya. ABS dan beberapa minyak dihilangkan pada sistem pre-treatment untuk air limbah. Bubuk pembersih ABS mempunyai konsentrasi fosfor tinggi. Sebagian besar fosfor dalam air limbah dihasilkan dari penggunaan bubuk ABS untuk pembersihan di dapur, laboratorium, dan laundry.

2.3.4. Air Limbah dari Ruang Isotop (Radiologi dan Laboratorium)

Limbah dari ruang pemrosesan ruang X terdiri dari campuran limbah *fixing agent* dan limbah larutan berkembang (*developing solution*). Limbah *fixing agent* mengandung perak (Ag) dalam konsentrasi tinggi. Limbah larutan berkembang mengandung berbagai macam senyawa kimia. Perak dan senyawa kimia merupakan senyawa racun bagi bakteri. Limbah dari ruang pemrosesan sinar X dipisahkan dan dibuang keluar dari rumah sakit.

Air limbah dari ruang radio isotop-isotop sangat berbahaya untuk manusia dan binatang. Jika rumah sakit memiliki ruang radio isotop. Limbahnya harus dipisahkan dan dibuang keluar dari rumah sakit. Bangunan pengolahan limbah ini tidak termasuk pengolahan limbah dari ruang radio isotop.

Dari berbagai sumber penyebab limbah cair, kegiatan di laundry merupakan kegiatan penghasil limbah cair paling besar, dimana sekitar 50-60% volume limbah cair berasal dari kegiatan ini, kegiatan dapur 20%, toilet 20% serta kegiatan lain-lain 10%.

Antiseptik berasal dari prosedur pencucian, sedang antibiotik dihasilkan dari air buangan pasien dan prosedur pengolahan medis. Antiseptik dan antibiotik dilarutkan dengan air limbah lain dalam tangki buffer. Namun mikroorganisme tidak dapat berfungsi di tempat yang memiliki konsentrasi yang dapat menghalangi fungsi.

Logam berat dan senyawa kimia dihasilkan terutama dari ruang tes patologi dan klinik serta laboratorium lain. Bila logam berat dan senyawa kimia

dibuang ke sistem air limbah pada konsentrasi yang sangat tinggi. Sistem pengolahan biologis dapat dipengaruhi bahan-bahan tersebut. Asam kuat atau dan basa kuat mungkin juga dibuang dari laboratorium. Seperti yang dibandingkan dengan total air limbah, jika volume beban yang tinggi dihasilkan, maka material-material ini tidak boleh langsung dibuang ke saluran air limbah, namun harus dibuang secara terpisah.

2.4. Ambang Batas Pencemar

Air buangan dari rumah sakit ini sebelum masuk ke saluran pembuangan kota, terlebih dahulu melalui proses pengolahan. Berdasarkan Keputusan Pemerintah Republik Indonesia dengan KEK-02/MENKLH/I/1988 Tgl 19 Januari 1988. Adapun pembagian golongannya terbagi menjadi sebagai berikut :

- Golongan A : Air yang digunakan sebagai air minum tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu.
- Golongan B : Air yang digunakan sebagai air baku untuk diolah sebagai air minum dan keperluan rumah tangga.
- Golongan C : Air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.
- Golongan D : Air yang dapat dipergunakan untuk keperluan pertanian dan dapat dimanfaatkan untuk usaha perkotaan, industri, listrik tenaga air.

Baku mutu limbah cair bagi kegiatan rumah sakit berdasarkan Kepmen LH No.Kep-58/MENLH/12/1995 adalah seperti yang tercantum pada tabel 2.1 berikut

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Rumah Sakit

Parameter	Kadar Maksimum
FISIKA	
Suhu	30° C
KIMIA	
pH	6 – 9
BOD ₅	30 mg / L
COD	80 mg / L
TSS	30 mg / L
NH ₃ Bebas	0,1 mg / L
PO ₄	2 mg / L
MIKROBIOLOGIK	
MPN-Kuman Gol Koli / 100 ml	10.000
RADIOAKTIF	
³² P	7 x 10 ² Bq / L
³⁵ S	2 x 10 ³ Bq / L
⁴⁵ Ca	3 x 10 ² Bq / L
⁵¹ Cr	7 x 10 ⁴ Bq / L
⁶⁷ Ga	1 x 10 ³ Bq / L
⁸⁵ Sr	4 x 10 ³ Bq / L
⁹⁹ Mo	7 x 10 ³ Bq / L
¹¹³ Sn	3 x 10 ³ Bq / L
¹²⁵ I	1 x 10 ⁴ Bq / L
¹³¹ I	7 x 10 ⁴ Bq / L
¹⁹² Ir	1 x 10 ⁴ Bq / L
²⁰¹ Tl	1 x 10 ⁵ Bq / L

Sumber : Soeparman & Soeparmin, 2002 : 153

Selain itu ada juga Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 986 / MENKES / PER / XI / 1992 tanggal 14 November 1992 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit dan Keputusan Direktorat Jendral Pemberantasan Penyakit Menular dan Penyehatan Lingkungan Pemukiman No. HK.00.06.44 tanggal 18 Februari 1993 tentang Persyaratan dan Petunjuk Teknis Tata Cara

Penyehatan Lingkungan Rumah Sakit mempersyaratkan fasilitas pembuangan limbah sebagai berikut :

1. Saluran pembuangan limbah harus menggunakan sistem saluran tertutup, kedap air, dan limbah harus mengalir dengan lancar.
2. Rumah Sakit harus memiliki unit pengolahan limbah sendiri atau bersama-sama secara kolektif dengan bangunan disekitarnya yang memenuhi persyaratan teknis, apabila belum ada atau tidak terjangkau sistem pengolahan air limbah perkotaan.
3. Kualitas limbah (Efluen) rumah sakit yang akan dibuang ke lingkungan harus memenuhi persyaratan baku mutu efluen sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Untuk melindungi lingkungan dari kegiatan rumah sakit di Indonesia, buangan air limbah dari rumah sakit diatur oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup. Dalam keputusan ini, manajemen rumah sakit harus memeriksakan standar kualitas air limbahnya pada laboratorium yang kompeten minimal sebulan sekali dan melaporkan hasilnya kepada pemerintah setidaknya tiga bulan sekali.

Tabel 2.2 Standar Buangan Air Limbah menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. KEP-58/MENLH/12/1995

Parameter	Satuan	Standar
Fisik		
- Suhu	°C	< 30
Kimiawi		
- pH		6 – 9
- BOD	mg/l	< 30
- COD	mg/l	< 80
- TSS	mg/l	< 30
- NH ₃ bebas	mg/l	< 0,1
- PO ₄	mg/l	< 2
Mikrobiologi		
- Total Koliform	MPN/100 ml	< 10.000

Sumber : Anonim, 2004 : 25

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI dan Keputusan Dirjen PPM dan PLP Depkes RI tersebut, jumlah toilet dan kamar mandi yang harus disediakan untuk unit rawat inap disesuaikan dengan jumlah tempat tidur rumah sakit dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Jumlah Toilet dan Kamar Mandi Berdasarkan Jumlah Tempat Tidur

No.	Jumlah Tempat Tidur	Jumlah Toilet	Jumlah Kamar Mandi
1.	1 – 15	1	1
2.	16 – 30	2	2
3.	31 – 50	3	3
4.	51 – 75	4	4
5.	Setiap penambahan 25 tempat tidur harus ditambah 1 toilet dan 1 kamar mandi		

Sumber: Soeparman & Soeparmin, 2002 : 157

Sedangkan jumlah toilet dan kamar mandi bagi karyawan rumah sakit berdasarkan jumlah karyawan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.4 Jumlah Toilet dan Kamar Mandi yang Harus Disediakan Berdasarkan Jumlah karyawan

No.	Jumlah Karyawan	Jumlah Toilet	Jumlah Kamar Mandi
1.	1 – 20	1	1
2.	20 – 40	2	2
3.	41 – 70	3	3
4.	71 – 100	4	4
5.	Setiap penambahan 40 karyawan harus ditambah 1 toilet dan 1 kamar mandi		

Sumber: Soeparman & Soeparmin, 2002 : 157

Fasilitas toilet dan kamar mandi rumah sakit harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Toilet dan kamar mandi harus selalu terpelihara dan dalam keadaan bersih.
2. Lantai terbuat dari bahan yang kuat, kedap air, tidak licin, berwarna terang, dan mudah dibersihkan.
3. pada setiap unit ruangan harus tersedia toilet (jamban, peturasan, dan tempat cuci tangan) tersendiri, khususnya untuk unit rawat inap, dan kamar karyawan harus tersedia kamar mandi.
4. Pembuangan air limbah dari toilet dan kamar mandi dilengkapi dengan penahan bau (*water seal*).
5. Letak toilet dan kamar mandi tidak berhubungan langsung dengan dapur, kamar operasi, dan ruang khusus lainnya.
6. Lubang ventilasi harus berhubungan langsung dengan udara luar.
7. Toilet dan kamar mandi pria dan wanita harus terpisah.
8. Toilet dan kamar mandi unit rawat inap dan karyawan harus terpisah.

9. Toilet dan kamar mandi karyawan harus terpisah dari toilet dan kamar mandi pengunjung.
10. Toilet pengunjung harus terletak di tempat yang mudah dijangkau dan ada penunjuk arah.
11. Toilet dan kamar mandi harus dilengkapi dengan slogan atau peringatan untuk untuk memelihara kebersihan.
12. Tidak terdapat penampungan atau genangan air yang dapat menjadi tempat perindukan nyamuk.
13. Tersedia toilet untuk pengunjung dengan perbandingan 1 toilet untuk 1 – 40 pengunjung wanita, 1 toilet untuk 1 – 60 pengunjung pria.

2.5. Metode Pengolahan Air Limbah

2.5.1. Pengolahan Menurut Tingkat Perlakuan

2.5.1.1. Pengolahan Pendahuluan

Pengolahan pendahuluan digunakan untuk memisahkan padatan kasar, mengurangi ukuran padatan, memisahkan minyak atau lemak, dan proses menyetarakan fluktuasi aliran limbah pada bak penampung. Unit yang terdapat dalam pengolahan pendahuluan adalah :

1. Saringan (*Bar Screen/Bar Racks*)
2. Pencacah (*Comminutor*)
3. Bak penangkap pasir (*Grit Chamber*)
4. Penangkap lemak dan minyak (*Skimmer and Grease Trap*)
5. Bak penyetaraan (*Equalization Basin*)

2.5.1.2. Pengolahan Tahap Pertama

Pengolahan tahap pertama bertujuan untuk mengurangi kandungan padatan tersuspensi melalui proses pengendapan (*Sedimentation*). Pada proses pengendapan, partikel adat dibiarkan mengendap ke dasar tangki. Bahan kimia biasanya ditambahkan untuk menetralsir dan meningkatkan kemampuan pengurangan padatan tersuspensi. Dalam unit ini, pengurangan BOD dapat mencapai 35%, sedangkan SS berkurang sampai 60%. Pengurangan BOD dan padatan pada tahap awal ini selanjutnya akan membantu mengurangi beban pengolahan tahap kedua (*Secondary Treatment*).

2.5.1.3. Pengolahan Tahap Kedua

Pengolahan tahap kedua berupa aplikasi proses biologis yang bertujuan untuk mengurangi zat organik melalui mekanisme oksidasi biologis. Proses biologis yang dipilih didasarkan atas pertimbangan kuantitas limbah cair yang masuk unit pengolahan, kemampuan penguraian zat organik yang ada pada limbah tersebut (*Biodegradability of Waste*), serta tersedianya lahan. Pada unit ini diperkirakan terjadi pengurangan kandungan BOD dalam rentang 35 – 95% bergantung pada kapasitas unit pengolahnya. Pengolahan tahap kedua yang menggunakan *high-rate treatment* mampu menurunkan BOD dengan efisiensi berkisar 50 – 85%. Unit yang biasa digunakan pada pengolahan tahap kedua berupa saringan tetes (*Trickling Filters*), unit lumpur aktif, dan kolam stabilisasi.

2.5.1.4. Pengolahan Tahap Ketiga atau Pengolahan Lanjutan

Beberapa standar efluen membutuhkan pengolahan tahap ketiga ataupun pengolahan lanjutan untuk menghilangkan kontaminan tertentu ataupun menyiapkan limbah cair tersebut untuk pemanfaatan kembali. Pengolahan pada tahap ini lebih difungsikan sebagai upaya peningkatan kualitas limbah cair dari pengolahan tahap kedua agar dapat dibuang ke badan air penerima dan penggunaan kembali efluen tersebut.

2.5.2. Pengolahan Menurut Karakteristiknya

2.5.2.1. Pengolahan Secara Fisika

Proses pengolahan yang termasuk pengolahan fisika antara lain pengolahan dengan menggunakan *screen*, *sieves*, dan *filter*. Pemisahan dengan memanfaatkan gaya gravitasi (*Sedimentasi* atau *oil/water separator*) serta Flotasi, adsorpsi, dan stripping.

Pemisahan padatan padatan dari cairan atau air limbah merupakan tahapan pengolahan yang sangat penting untuk mengurangi beban dan mengembalikan bahan-bahan yang bermanfaat serta mengurangi resiko rusaknya peralatan akibat adanya kebuntuan (*clogging*) pada pipa, *valve*, dan pompa. Proses ini juga mengurangi abrasivitas cairan terhadap pompa dan alat-alat ukur, yang dapat berpengaruh secara langsung terhadap biaya operasi dan perawatan peralatan. Ada dua prinsip utama yang dapat diterapkan dalam pemisahan padatan. Prinsip

pertama adalah *screening*, *sieving*, dan *filtrasi*, dan prinsip kedua adalah penggunaan gaya gravitasi (sedimentasi, flotasi, dan sentrifugasi). Adapun gambar diagram alir proses pengolahan limbah ada pada lampiran.

Sedimentasi adalah pemisahan partikel dari air dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Proses ini terutama bertujuan untuk memperoleh air buangan yang jernih dan mempermudah proses penanganan lumpur. Dalam proses sedimentasi hanya partikel-partikel yang lebih berat dari air yang dapat dipisah. Misalnya: kerikil dan pasir, padatan pada tangki pengendapan sekunder, *floc* hasil pengolahan secara kimia, dan lumpur (pada pengendapan lumpur).

Bagian terpenting dalam perencanaan unit sedimentasi adalah mengetahui kecepatan pengendapan dari partikel-partikel yang akan dipindahkan. Kecepatan pengendapan ditentukan oleh ukuran, densitas larutan, viskositas cairan, dan temperatur. Untuk memperoleh data mengenai karakteristik pengendapan dari *suspended solid* diperlukan percobaan di laboratorium.

$$Q / A < v_s \text{ atau } A > Q / v_s \quad (2 - 1)$$

Pada bak sedimentasi dengan aliran horizontal akan ada dua komponen kecepatan, yaitu:

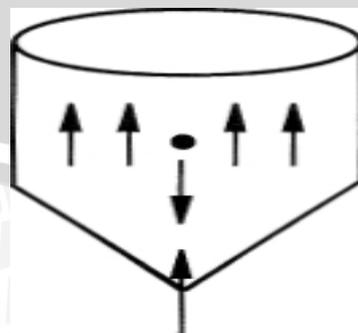
Q = Laju alur

A = Luas permukaan sedimentasi

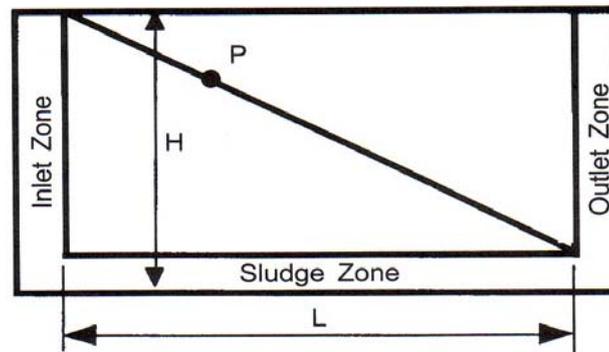
v_{so} = Kecepatan pengendapan

v_h = Kecepatan flux horizontal

Vertical flow



Horizontal flow



Gambar 2.1 Skema Untuk Menganalisis Aliran Vertikal dan Horizontal Pada Bak Pengendapan

Pada bak segi empat dengan kedalaman H, lebar B, dan panjang L diperoleh:

$$v_h = Q / H \times B \quad (2 - 2)$$

Jika waktu tinggal H / V_{so} tidak melebihi waktu tinggal partikel untuk bergerak secara vertikal maka:

$$H / v_{so} < L / V_h \quad (2 - 3)$$

Semua partikel dengan kecepatan sedimentasi $V_s > V_{so}$ akan tertahan. Perpaduan dari persamaan (2) dan (3) akan menghasilkan:

$$H / v_{so} < L \times B H / Q \quad (2 - 4)$$

Dan jika $L \times H = A$, maka:

$$v_{so} > Q / A \quad (2 - 5)$$

Dengan demikian, secara teoretis pengambilan padatan dengan cara sedimentasi tidak tergantung pada panjang bak sedimentasi, melainkan pada beban permukaan Q / A . Namun, pendekatan di atas hanya berlaku pada kondisi yang ideal. Dalam praktik perlu dipertimbangkan adanya turbulensi pada *inlet* dan *outlet*, *short circuiting*, perbedaan kecepatan karena adanya perbedaan densitas, dan penumpukan lumpur di dasar bak.

1. Tube Settler atau Lamella Separator

Seperti yang telah dijelaskan, *performance* bak pengendapan tidak tergantung pada kedalaman. Efisiensi ditentukan oleh beban permukaan. Dengan demikian, secara teoretis bak pengendapan dapat dipotong menjadi beberapa bagian kecil. Untuk memperbaiki *performance*, yakni dengan terbentuknya luas permukaan yang baru.



Dalam praktik, hal tersebut diwujudkan dalam *tube settler*, suatu alat pengendapan yang terdiri atas sekumpulan pipa atau lembaran plat yang dimasukkan dalam bagian atas bak sedimentasi. Permukaan-permukaan baru akan segera terbentuk dan *performance* bak tersebut akan langsung meningkat. Pada *tube settler*, beban hidraulik dapat mencapai sepuluh kali lipat jika dibandingkan dengan bak pengendapan konvensional. Lamella separator ini sering digunakan pada unit pengolahan fisika kimia dalam pengolahan lanjutan (*tertiary treatment*) maupun dalam unit pengendapan awal.

Meskipun sistem ini dapat menghemat pemakaian area dan menghasilkan *effluent* yang lebih baik, namun terdapat beberapa keterbatasan yang harus diperhatikan. Keterbatasan-keterbatasan tersebut antara lain *tube* atau pelat kemungkinan akan buntu akibat tumbuhnya kehidupan biologis serta masalah bau yang disebabkan oleh perkembangbiakan biologis dan kemungkinan penumpukan minyak dan lemak pada *tube*. Masalah-masalah tersebut dapat dikurangi dengan memperhatikan pemilihan spesifikasi *tube* (diameter, bentuk, dan material) dan perawatan yang baik.

2. Discrete Settling

Proses pengendapan yang terjadi yaitu pengendapan partikel-partikel tanpa mengalami perubahan bentuk, ukuran ataupun berat dari partikel. Kecepatan pengendapan dari partikel dapat didekati dengan persamaan stoke :

$$v_s = \frac{\rho_s - \rho_t}{18\nu} g \cdot D^2 \quad (2-6)$$

dengan :

v_s = Kecepatan partikel mengendap (m/dt)

ρ_s = Spesifik gravity partikel

ρ_t = Spesifik gravity zat cair

ν = Viskositas kinematik (m^2/dt)

D = Diameter partikel (m)

g = Percepatan partikel

3. Flocculent Settling

Proses pengendapan pada dasarnya sama halnya *discrete settling*, namun perhitungan secara matematis sulit dilakukan. Hal ini terutama mengingat sukarnya menetapkan diameter partikel yang ukurannya bervariasi, karena selama partikel bergerak ia juga menarik partikel yang lain untuk bergabung sehingga kecepatan pengendapannya berbeda-beda. Pada kebanyakan partikel suspensi yang berasal dari limbah industri maupun limbah domestik lainnya mempunyai sifat flokulen ini. Untuk menentukan besar rata-rata kecepatan pengendapan dan besar presentase pengurangan partikel suspensi dapat dilakukan dengan suatu percobaan pengendapan pada aliran diam atau column test.

4. Zone Settling

Proses ini adalah proses pengendapan partikel yang mana gerakan partikel mengendap terjadi secara serentak dan bersamaan. Contoh dari proses pengendapan ini adalah pengendapan dengan pemakaian bahan kimia sebagai koagulan.

2.5.2.2. Pengolahan Secara Kimia

Proses pengolahan cara kimia adalah menggunakan bahan kimia untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar dalam limbah. Proses pengolahan kimia yang digunakan untuk pengolahan air limbah adalah pengendapan kimiawi. Penggunaan bahan kimia untuk proses lainnya seperti untuk menghilangkan atau menetralkan zat-zat tertentu dari limbah yang tertentu pula perlu juga dilakukan uji coba di laboratorium. Hal ini juga untuk mengetahui unsur baru yang terbentuk akibat reaksi yang terjadi Sehingga perlu adanya penggunaan limbah dan unsur baru tersebut.

Pengendapan dengan bahan kimia dapat dipergunakan untuk meningkatkan pembuangan bahan tersuspensi ataupun bila pengendapan secara fisik tidak berfungsi secara optimal. Bahan-bahan pengendap atau koagulan yang umum dipakai adalah Urea [NH_2CONH_2], Lime (kapur) : [CaO], dan Alum (tawas) : [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$].

Pengendapan kimiawi akan berhasil baik bila bahan-bahan kimia dan airnya tercampur dengan tepat. Pengendapan kimiawi terutama bermanfaat

sebagai usaha darurat untuk meningkatkan kapasitas dan bak pengendap biasa yang kelebihan beban. Kelemahan dari pengendapan kimiawi adalah bertambahnya biaya untuk pembelian bahan.

2.5.2.3. Pengolahan Secara Biologis

Proses pengolahan air limbah dengan cara biologis ialah memanfaatkan mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik dalam air limbah menjadi senyawa yang sederhana. Metode-metode biologis untuk pengolahan air limbah merupakan unsur-unsur pokok bagi hampir semua jaringan pengolahan sekunder. Pengolahan limbah dengan cara biologis mempunyai tiga cara dalam proses terjadinya pengolahan yaitu sebagai berikut (Ginting, 1992: 123) :

- a. Proses secara aerob, adalah pengolahan pada kondisi ada oksigen tempat bakteri yang akan menguraikan limbah.
- b. Proses anaerob adalah pengolahan pada kondisi tanpa adanya oksigen sehingga terdapat bakteri anaerob yang akan mengubah buangan bahan buangan menjadi metan dan karbondioksida.
- c. Serta proses fakultatif, yaitu pengolahan air limbah dimana bakteri yang ada memiliki adaptasi tinggi yaitu bakteri dapat berfungsi sebagai bakteri aerob ataupun anaerob.

Selain itu juga terdapat beberapa pengolahan yang umum dipakai yaitu kolam stabilisasi dan bak aerasi.

2.6. Evaluasi Efektivitas Pengurangan Parameter Limbah

2.6.1. Efektivitas Pengurangan BOD₅

Perhitungan efektivitas pengurangan BOD₅ pada IPAL ini adalah sebagai berikut :

$$\eta_{BOD_5} = \frac{BOD_{inlet} - BOD_{outlet}}{BOD_{inlet}} \cdot 100\% \quad (2 - 7)$$

2.6.2. Efektivitas Pengurangan COD

Perhitungan efektivitas pengurangan COD pada IPAL ini adalah sebagai berikut :

$$\eta_{COD} = \frac{COD_{inlet} - COD_{outlet}}{COD_{inlet}} \cdot 100\% \quad (2-8)$$

2.6.3. Efektivitas Pengurangan Total Suspended Solid (TSS)

Perhitungan efektivitas pengurangan COD pada IPAL ini adalah sebagai berikut :

$$\eta_{TSS} = \frac{TSS_{inlet} - TSS_{outlet}}{TSS_{inlet}} \cdot 100\% \quad (2-9)$$

2.6.4. Efektivitas Pengurangan NH_3

Perhitungan efektivitas pengurangan NH_3 pada IPAL ini adalah sebagai berikut :

$$\eta_{NH_3} = \frac{NH_{3inlet} - NH_{3outlet}}{NH_{3inlet}} \cdot 100\% \quad (2-10)$$

2.6.5. Efektivitas Pengurangan P- PO_4

$$\eta_{P-PO_4} = \frac{P-PO_{4inlet} - P-PO_{4outlet}}{P-PO_{4inlet}} \cdot 100\% \quad (2-11)$$

2.7. Evaluasi dan Perhitungan Terhadap Sarana Pengolahan Air Limbah.

Tinjauan dalam evaluasi perhitungan bangunan pengolahan air limbah yang ada meliputi segi hidrolis dan biologis.

2.7.1. Evaluasi Saluran Pembawa

Untuk perhitungan saluran pembawa meliputi kapasitas saluran, kecepatan aliran dalam saluran, bahan konstruksi saluran, kemiringan dasar saluran serta bangunan air yang mempengaruhi saluran.

2.7.1.1. Kapasitas Saluran

Kapasitas saluran dihitung dengan menggunakan rumus kontinuitas dan rumus Manning karena aliran dalam saluran bukan merupakan aliran tekan sehingga rumus aliran seragam tetap berlaku. Dan perhitungan kapasitas saluran tidak memperhitungkan adanya endapan sedimen dan kotoran atau sampah. Adapun rumus Kontinuitas (Chow, 1992 : 117) dan Manning (Chow, 1992 : 89) adalah sebagai berikut :

Kontinuitas :

$$Q = A \cdot v \quad (2-12)$$

Manning :

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2-13)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (2-14)$$

dengan,

Q : debit (m³/dt)

v : kecepatan aliran dalam saluran (m/dt)

A : luas penampang basah (m²)

R : jari-jari hidrolis (m)

n : koefisien kekasaran manning

S : kemiringan dasar saluran

Tabel 2.5 Koefisien Kekasaran Manning

Tipe Saluran	n
Saluran tertutup terisi sebagian :	
1. Gorong-gorong dari beton lurus dan kikisan.	0,010 – 0,013
2. Gorong-gorong dengan lengkungan, sambungan dari beton dan sedikit kikisan.	0,011 – 0,014
3. Saluran pembuang dengan bak kontrol, mulut pemasukan, dan lain-lain, lurus dari beton.	0,013 – 0,017
4. Pasangan bata dilapisi dengan semen.	0,012 – 0,017
5. Pecahan batu disemen.	0,018 – 0,030
Saluran terbuka :	
1. Pasangan bata disemen.	0,012 – 0,018
2. Beton dipoles.	0,015 – 0,020
3. Pasangan batu pecah disemen.	0,017 – 0,030
4. Pasangan batu kosong.	0,023 – 0,035

Sumber: Ven Te Chow, 1992 : 99

2.7.1.2. Kecepatan Minimum Yang Diijinkan

Kotoran padat harus hanyut, untuk menghindari pengendapan dari kotoran padat dan tumbuhnya tanaman akuatik, maka kecepatan minimum adalah = 5 cm/dt (Suhardjono, 1984 : 79). Sedangkan kecepatan maksimum adalah kecepatan rata-rata terbesar yang tidak boleh mengakibatkan penggerusan terhadap saluran.

2.7.1.3. Kecepatan Aliran Yang Diijinkan Berdasarkan Jenis Material

Kecepatan maksimum adalah kecepatan rata-rata terbesar yang tidak boleh mengakibatkan penggerusan terhadap saluran. Bahan bangunan saluran

ditentukan oleh besarnya kecepatan rencana aliran air yang akan melewati saluran, sesuai dengan tabel berikut :

Tabel 2.6 Kecepatan Aliran Air yang Diiijinkan Berdasarkan Jenis Material

Jenis Bahan	Kecepatan Aliran yang Diiijinkan
Pasir hitam	0,45
Lempung kepasiran	0,50
Lanau aluvial	0,60
Kerikil halus	0,75
Lempung kokoh	0,75
Lempung padat	1,10
Kerikil kasar	1,20
Batu-batu besar	1,50
Pasangan batu	1,50
Beton	1,50
Beton bertulang	1,50

Sumber : SNI 03 – 3424 – 1994 : 7

2.7.1.4. Batas Kondisi Aliran (Ranga Raju, 1986 : 5)

$Re < 2000$ (aliran laminar)

$Re > 4000$ (aliran turbulen)

$2000 < Re < 4000$ (aliran transisi)

Persamaan bilangan reynold :

$$Re = \frac{vR}{\nu} \quad (2 - 15)$$

Dimana :

R = Jari-jari hidrolis

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

A = Luas penampang basah (m^2)

P = Keliling basah (m)

v = Kecepatan aliran dalam saluran (m/dt)

ν = Koefisien kekentalan kinematik (m^2/dt)

Tabel 2.7 Nilai Kekentalan Kinematik

T (°C)	ν (10^{-6})	T (°C)	ν (10^{-6})
0	1.780	26	0.879
2	1.667	28	0.841
4	1.564	30	0.806
6	1.471	32	0.772
8	1.387	34	0.741
10	1.310	36	0.712
12	1.240	38	0.685
14	1.175	40	0.659
16	1.115	42	0.634
18	1.061	44	0.611
20	1.009	46	0.590
22	0.963	48	0.570
24	0.920	50	0.550

Sumber : Yoedi Cd. AH, 2001 : 44

Perbandingan gaya-gaya gravitasi (per satuan volume) dikenal sebagai bilangan froude (Fr) :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gR}} \quad (2 - 16)$$

dimana :

R = Jari-jari hidrolis (m)

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

A = Luas penampang basah (m^2)

P = Keliling basah (m)

v = Kecepatan aliran dalam saluran (m/dt)

g = Kecepatan gravitasi ($9,81 m^2/dt$)

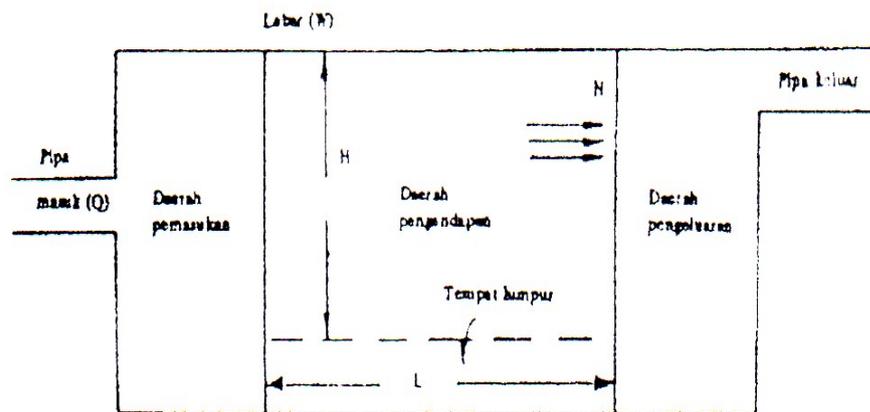
untuk Fr < 1,0 (aliran subkritis)

Fr > 1,0 (aliran superkritis)

Fr = 1,0 (aliran kritis)

2.7.2. Bak Pengendap Ideal

Pengendapan di sini dimaksudkan untuk rnendapatkan hasil endapan yang optimal melalui pengaturan besar kecilnya bak yang akan dibangun. Dengan demikian, air limbah yang ada akan meninggalkan bak tersebut setelah berhasil mengendapkan partikel kandungannya, dengan demikian bak tidak terlalu besar atau terlalu kecil. Untuk membangun bak yang dimaksud secara skematis dibagi menjadi 4 bagian antara lain (Sugiharto, 1987 : 103) :



Gambar 2.2 Bak Pengendap Ideal Segi Empat

1. Daerah pemasukan

Pada daerah ini diharapkan air limbah dapat disebarkan secara merata sejenis sehingga pada setiap titik konsentrasi campuran dan besarnya partikel adalah sama.

2. Daerah pengendapan

Pada daerah ini diharapkan partikel mengendap dengan kecepatan yang sama. Aliran yang ada di daerah ini dibuat secara horisontal bergerak dengan kecepatan aliran yang sama dan konstan pada setiap titik, sehingga memungkinkan partikel bergerak secara horisontal dengan arah ke bawah sebagai akibat adanya gaya gravitasi.

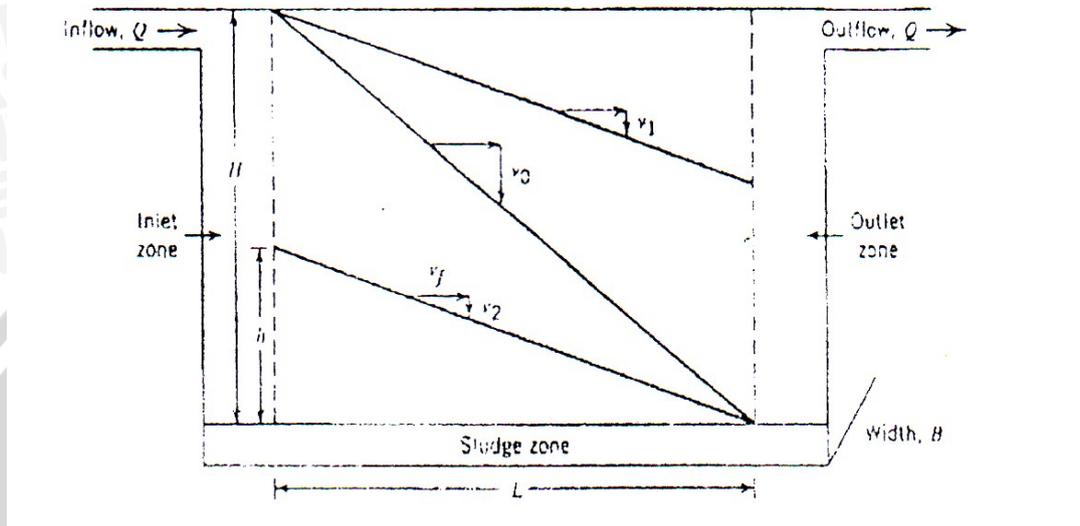
3. Daerah pengeluaran

Air yang telah dijernihkan dikumpulkan secara serempak melalui saluran yang ada di atas.

4. Daerah lumpur

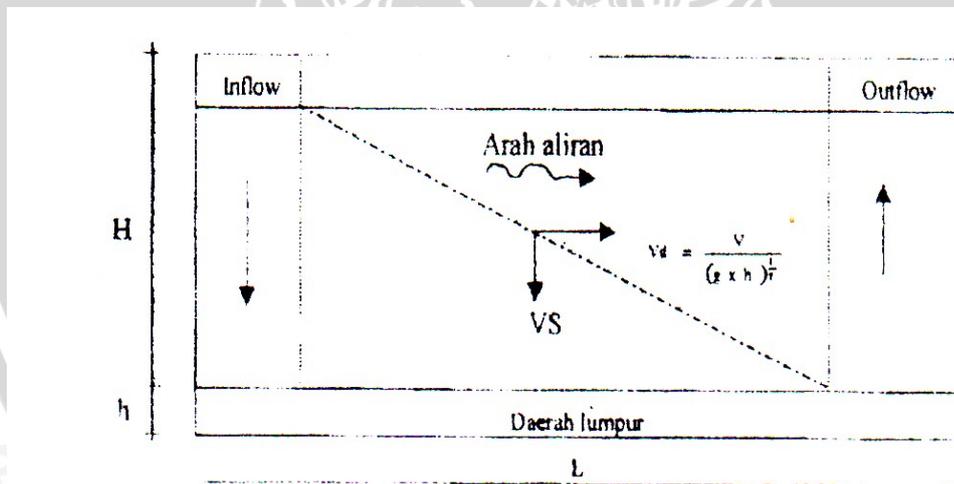
Endapan dikumpulkan pada daerah pengendapan di dasar tangki pengendapan dan diharapkan seluruh partikel mencapai daerah lumpur secara terus menerus. Agar semua endapan dapat mengendap pada areal pengendapan, maka kecepatan aliran air limbah harus diselesaikan dengan kecepatan endapan sesuai dengan kedalaman dari bak pengendap tersebut. Dengan demikian kecepatan endapan dan kecepatan aliran partikel minimal harus sama dalam mencapai dasar bak dan mencapai daerah pengeluaran, untuk itu dapat diikuti perhitungan berikut ini. Sebenarnya perhitungan-perhitungan pada perencanaan bak pengendap adalah untuk

merancang bagian pengendapan ini. Panjang lintasan mengendapnya partikel di dalam zona pengendap merupakan vektor dari kecepatan rata-rata mengendap partikel v_s , seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.3 Potongan memanjang aliran horisontal

Sumber: Anonim, 2000 : 27



Gambar 2.4. Penjelasan potongan memanjang aliran horisontal

Sumber: Anonim, 2000 : 27

Pada gambar 2.4 L dan H masing-masing adalah panjang dan kedalaman dari zona pengendapan, sedangkan B adalah lebar dari bak penengendapan serta Q adalah debit yang lewat. Dengan demikian kecepatan aliran horisontal v_d adalah (Punmia, 1979 : 257)

$$v_d = \frac{Q}{BH} \quad (2 - 17)$$

Waktu yang diperlukan aliran mengalir sepanjang zona pengendap adalah :

$$t_d = \frac{L}{V_d} = \frac{LBH}{Q} \quad (2 - 18)$$

Serta waktu yang ditempuh partikel untuk jatuh setinggi H adalah :

$$t_s = \frac{H}{V_s} \quad (2 - 19)$$

Untuk partikel yang mencapai dasar bak, sebelum air meninggalkan bak atau titik zona outlet, maka waktu partikel untuk mengendap seharusnya sebanding dengan waktu aliran mendatar, sehingga :

$$\frac{H}{V_s} = \frac{LBH}{Q} \quad (2 - 20)$$

$$v_s = \frac{Q}{LB} \quad (2 - 21)$$

Persamaan diatas menyatakan bahwa semua partikel yang mempunyai kecepatan mengendap V_s lebih besar daripada debit per satuan luas permukaan dari bak, maka akan mengendap seluruhnya di zona pengendapan.

Untuk mendapatkan hasil kerja kolam pengendapan yang baik, maka lubang masuknya direncanakan agar terjadi distribusi kecepatan yang seragam di dalam kolam. Hal ini dapat dilakukan dengan memasang penghalang tepat di hilir pemasukan.

Kolam pengendapan yang direncanakan dengan baik, dapat membuang 50% – 60% bahan padat dalam air limbah (Linsley, 1986 : 210). Adapun bentuk penampang bagian inlet dan outlet dari bak pengendap dapat dilihat pada gambar berikut :

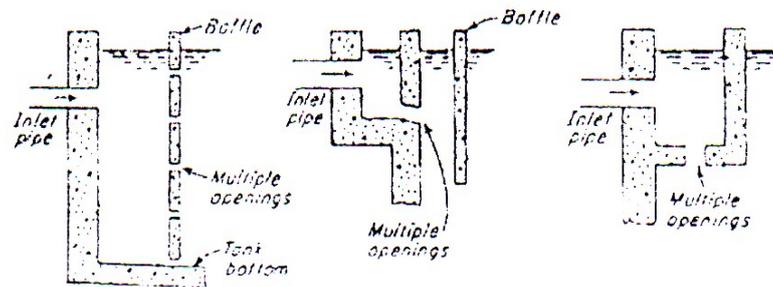
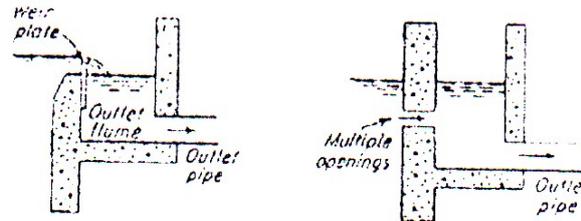
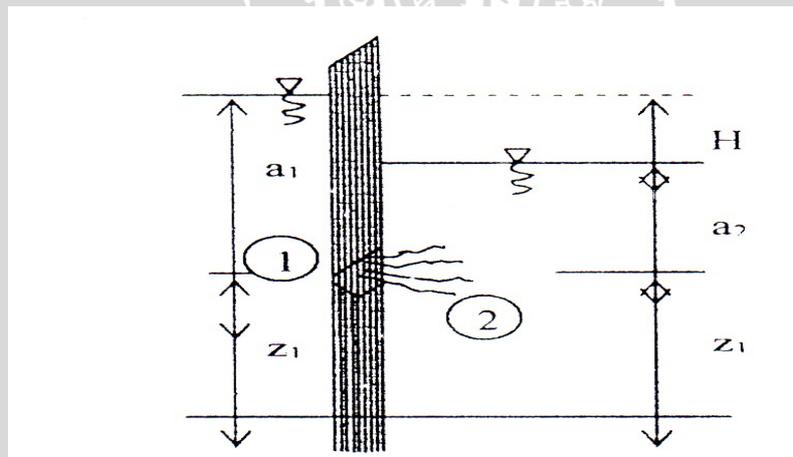


FIG. 9-4. Three types of inlets for settling tanks.



Gambar 2.5 Bentuk Penampang Bagian Inlet dan Outlet

Untuk pengaliran melalui lubang tergenang dihitung dengan persamaan (Yuwono, 1986 : 90) :



Gambar 2.6 Pengaliran dalam Lubang Tergenang

Persamaan Bernoulli titik 1 dan titik 2 :

$$Z_1 + a_1 + \frac{P}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + a_2 + \frac{P}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = (Z_1 + a_1) - (Z_2 + a_2) + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = H + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$v_2 = (2gH + V_1^2)^{0.5}$$

Dan setelah dikoreksi, maka dihasilkan rumus :

$$v_c = C_v \cdot \sqrt{2gh} \quad (2-22)$$

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \quad (2-23)$$

Dengan :

Q = Debit yang lewat lubang (m³/dt)

C_d = Koefisien debit = 0,62

A = Luas lubang pengaliran (m²)

h = Selisih tinggi muka air 1 dengan 2

C_v = Koefisien kecepatan = 0,9

v_c = Kecepatan aliran yang lewat lubang (m/dt)

Ketika partikel telah mencapai daerah lumpur dan mengendap, jangan sampai tergerus atau terangkat ke atas oleh kecepatan aliran air yang mengalir di atasnya. Kecepatan maksimum (V_m) untuk mencegah naiknya sedimen dan gerusan. Dalam pemakaian praktis untuk partikel yang halus, ringan dan flokulen dapat dinyatakan (Punmia, 1979 : 259) :

$$v_m = v_s \left(\frac{8}{f} \right)^{0.5} \quad (2-24)$$

Dengan :

v_s = Kecepatan partikel mengendapkan

f = Faktor gesekan Weisbach – Darcy = 0,025 – 0,08

2.7.3. Pengoperasian Pompa

Jumlah pompa dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$N = \frac{Q_s}{Q_{pompa} \cdot \frac{24}{t}} \quad (2-25)$$

Dimana :

N = Jumlah pompa (N+1)

Q_s = Debit sesuai dengan kebutuhan (m³/dt)

Q_{pompa} = Debit untuk kebutuhan puncak (m³/dt)

$$= \text{eff} \cdot Q_s \quad (2-26)$$

Q_k = Kapasitas pompa (m^3/dt)

t_p = Waktu yang diperlukan selama keb. Puncak (jam)

Sedangkan lama operasi pompa :

$$T = \frac{Q_s}{Q_{pompa}} \cdot t_p \quad (2-27)$$

Dimana,

T = Lama operasi pompa (jam)

