

LAMPIRAN II
PERATURAN MENTERI PEKERJAAN
UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
NOMOR 04/PRT/M/2017
TENTANG
PENYELENGGARAAN SISTEM
PENGELOLAAN AIR LIMBAH
DOMESTIK

PERENCANAAN SPALD

BAB I
RENCANA INDUK

A. PERIODE PERENCANAAN

Rencana Induk penyelenggaraan SPALD harus direncanakan untuk periode perencanaan 20 (dua puluh) tahun, ditetapkan oleh Menteri, Gubernur, dan Bupati/Walikota sesuai dengan kewenangannya.

Periode perencanaan dalam penyusunan Rencana Induk dibagi menjadi 3 (tiga) tahap perencanaan, meliputi:

1. Perencanaan Jangka Panjang

Perencanaan penyelenggaraan SPALD jangka panjang merupakan rangkaian dari keseluruhan penyelenggaraan di sektor air limbah domestik untuk jangka waktu 20 (dua puluh) tahun.

2. Perencanaan Jangka Menengah

Perencanaan penyelenggaraan SPALD jangka menengah merupakan penjabaran dari perencanaan jangka panjang untuk jangka waktu 5 (lima) tahun.

3. Perencanaan Jangka Pendek

Perencanaan penyelenggaraan SPALD jangka pendek merupakan penjabaran dari perencanaan SPALD jangka menengah yang sifatnya mendesak untuk jangka waktu 1 (satu) tahun.

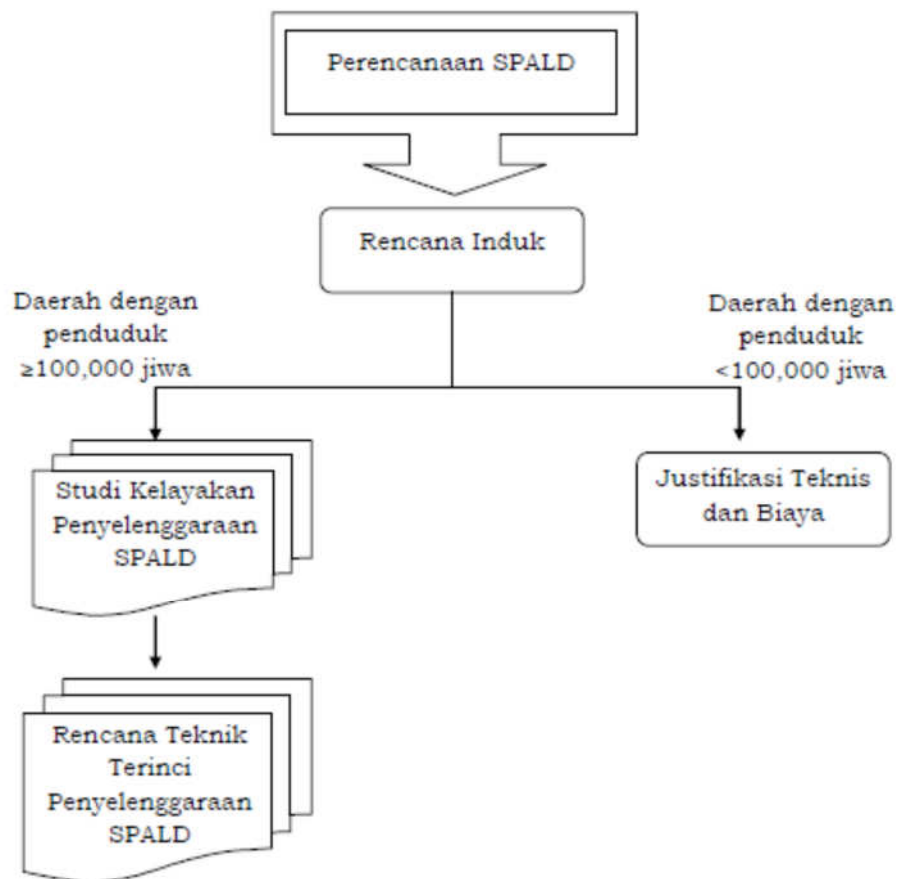
B. PENINJAUAN ULANG RENCANA INDUK

Peninjauan ulang Rencana Induk SPALD dapat dilakukan setiap 5 (lima) tahun. Apabila RPJPD dan/atau RTRW mengalami perubahan, maka Rencana Induk SPALD perlu ditinjau ulang.

C. KLASIFIKASI RENCANA INDUK

1. Rencana Induk SPALD Kabupaten/Kota

Rencana Induk SPALD Kabupaten/Kota mencakup penyelenggaraan SPALD-T dan/atau SPALD-S yang terdapat di dalam satu wilayah Kabupaten/Kota. Rencana Induk disusun berdasarkan kecamatan, pulau yang berpenghuni dan/atau pulau sebagai destinasi wisata.



Gambar 1 Rencana Induk SPALD Kabupaten/Kota

2. Rencana Induk SPALD Lintas Kabupaten/Kota

Rencana Induk SPALD lintas Kabupaten/Kota mencakup penyelenggaraan SPALD-T dan/atau SPALD-S yang terdapat di dalam lebih dari satu wilayah Kabupaten/Kota dalam satu provinsi. Rencana Induk disusun berdasarkan wilayah Kabupaten/Kota yang masuk dalam wilayah perencanaan regional.

3. Rencana Induk SPALD Lintas Provinsi

Rencana Induk SPALD lintas Provinsi mencakup penyelenggaraan SPALD-T dan/atau SPALD-S yang terdapat di dalam lebih dari

satu wilayah Kabupaten/Kota serta di dalam lebih dari satu Provinsi. Rencana Induk disusun berdasarkan wilayah Kabupaten/Kota dalam suatu Provinsi yang masuk dalam wilayah perencanaan regional.

4. Rencana Induk SPALD Kepentingan Strategis Nasional

Rencana Induk SPALD Kepentingan Strategis Nasional mencakup penyelenggaraan SPALD-T dan/atau SPALD-S pada daerah perbatasan, pulau-pulau terluar, dan Daerah tertentu untuk menjaga kepentingan dan kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia.

D. MAKSUD DAN TUJUAN PENYUSUNAN RENCANA INDUK

1. Maksud

Maksud penyusunan Rencana Induk agar Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah memiliki pedoman dalam penyelenggaraan SPALD berdasarkan perencanaan yang efektif, efisien, berkelanjutan, dan terpadu dengan sektor terkait lainnya.

2. Tujuan

Tujuan penyusunan Rencana Induk agar Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah memiliki Rencana Induk penyelenggaraan SPALD yang terarah, terpadu, sistematis, sesuai karakteristik lingkungan dan sosial ekonomi masyarakat, serta tanggap terhadap kebutuhan pemangku kepentingan (pemerintah, swasta, pelaku usaha, dan/atau masyarakat).

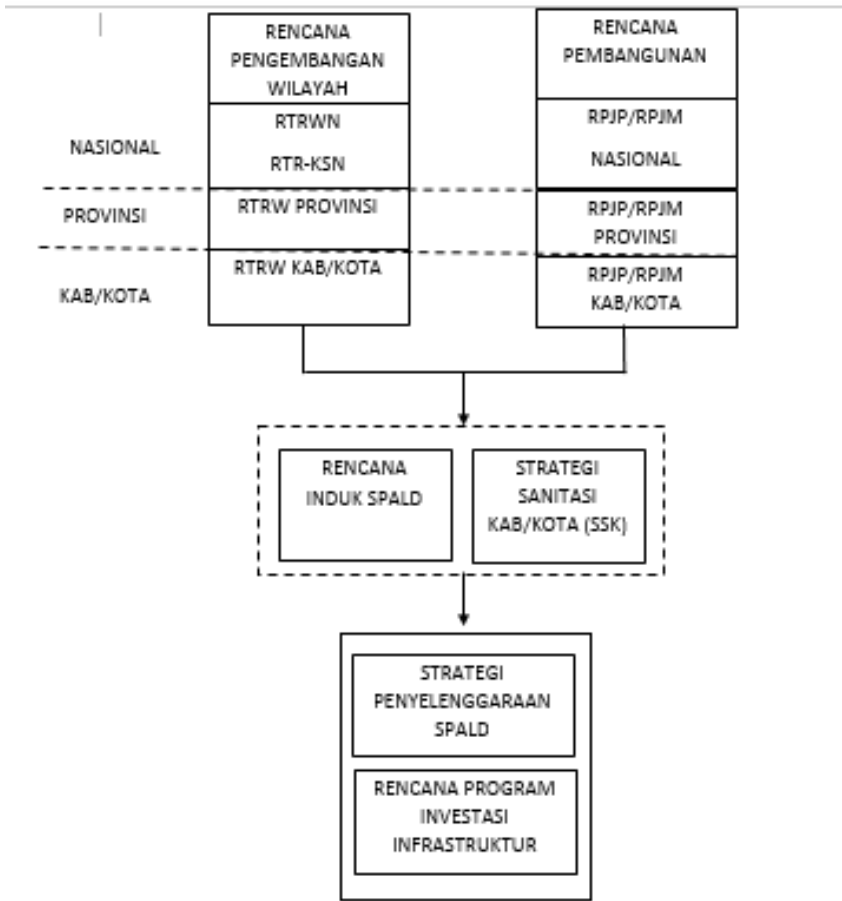
E. KEDUDUKAN RENCANA INDUK

Penyusunan Rencana Induk SPALD untuk daerah mengacu pada pengembangan wilayah (RTRW dan RDTR) dan rencana pembangunan daerah (RPJPD dan RPJMD) sesuai peraturan perundang-undangan.

Penyusunan Rencana Induk SPALD untuk kepentingan strategis nasional merujuk pada pengembangan wilayah nasional (RTRWN dan RTR-KSN) dan rencana pembangunan nasional (RPJPN dan RPJMN) sesuai peraturan perundang-undangan.

Kedudukan Rencana Induk SPALD berada dibawah kebijakan spasial di masing-masing daerah baik Provinsi maupun Kabupaten/Kota. Rencana Induk berfungsi sebagai petunjuk teknis dalam penyusunan

strategi penyelenggaraan SPALD per kawasan dan menjadi rujukan dalam penyusunan rencana program investasi infrastruktur. Kedudukan Rencana Induk penyelenggaraan SPALD secara sistematis ditampilkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Kedudukan Rencana Induk

F. MUATAN RENCANA INDUK

Rencana Induk Penyelenggaraan SPALD paling sedikit memuat:

1. Rencana Umum, yang meliputi:
 - a) gambaran umum daerah dan kawasan rencana; dan
 - b) kondisi wilayah baik fisik maupun non fisik.
2. Standar dan Kriteria Pelayanan
Standar pelayanan SPALD ditentukan berdasarkan jenis pelayanan, mutu pelayanan, dan penerima layanan yang akan diterapkan di wilayah perencanaan.
Kriteria pelayanan mencakup kriteria teknis yang digunakan dalam SPALD sesuai standar pelayanan yang akan diterapkan.
3. Rencana Penyelenggaraan SPALD-S dan SPALD-T
Rencana penyelenggaraan SPALD-S dan SPALD-T didasarkan pada:

- a) RTRW, RDTR, dan RTR-KSN
 - b) RPJP Nasional/Provinsi/Kabupaten/Kota;
 - c) RPJM Nasional/Provinsi/Kabupaten/Kota;
 - d) analisis kondisi wilayah dan kawasan perencanaan SPALD;
 - e) analisis kondisi penyelenggaraan SPALD saat ini, termasuk permasalahan dan potensi dalam penyelenggaraan SPALD;
 - f) analisis keterpaduan penyelenggaraan SPALD dengan prasarana dan sarana umum dan utilitas;
 - g) analisis isu strategis dalam penyelenggaraan SPALD jangka panjang 20 (dua puluh) tahun perencanaan;
 - h) penentuan kebijakan dan strategi penyelenggaraan SPALD-S dan SPALD-T jangka panjang, menengah, dan pendek untuk daerah dan kawasan perencanaan; dan
 - i) penentuan program dan kegiatan dalam penyelenggaraan SPALD-S dan SPALD-T jangka panjang, jangka menengah, dan jangka pendek.
4. Indikasi dan Sumber Pembiayaan
- Indikasi dan sumber pembiayaan berupa besaran biaya penyelenggaraan SPALD jangka panjang, jangka menengah, jangka pendek, dan sumber pembiayaan (APBN, APBD, pelaku usaha, dan/atau masyarakat).
5. Rencana Kelembagaan dan Sumber Daya Manusia (SDM).
- Rencana kelembagaan yang diperlukan dalam penyelenggaraan SPALD antara lain meliputi bentuk kelembagaan, struktur organisasi, dan tata kerja disertai kebutuhan SDM.
6. Rencana Legislasi (Peraturan Perundang-undangan)
- Rencana legislasi (peraturan perundang-undangan) berupa kebutuhan peraturan perundang-undangan, baik untuk daerah dan kawasan.
7. Rencana Pemberdayaan Masyarakat
- Rencana pemberdayaan masyarakat merupakan rencana untuk meningkatkan pemahaman, keterlibatan, komitmen dan sinergi masyarakat dalam menyelenggarakan SPALD.

G. TAHAPAN PENYUSUNAN RENCANA INDUK

Tahapan penyusunan Rencana Induk terdiri dari:

1. Persiapan Penyusunan Rencana Induk Air Limbah Domestik;

2. Pengumpulan dan Pengolahan Data Daerah Perencanaan;
3. Analisis Kondisi Penyelenggaraan SPALD;
4. Perumusan Kebijakan dan Strategi SPALD;
5. Konsultasi Publik Rencana Induk; dan
6. Legalisasi Rencana Induk.

Tahapan proses penyusunan Rencana Induk dapat dilihat pada Gambar 3.

Secara rinci tahapan penyusunan Rencana Induk sebagai berikut:

1. Persiapan Penyusunan Rencana Induk Air Limbah Domestik
Kegiatan persiapan penyusunan Rencana Induk Penyelenggaraan SPALD antara lain meliputi:
 - a) Penentuan jenis Rencana Induk Penyelenggaraan SPALD;
 - b) Pembentukan Tim Penyusun Rencana Induk Penyelenggaraan SPALD
Kegiatan pembentukan tim penyusun dimulai dari penyiapan rancangan surat keputusan kepala daerah tentang pembentukan tim penyusun Rencana Induk Penyelenggaraan SPALD daerah dan kawasan.
Struktur tim penyusun paling sedikit memuat:
 - 1) Penanggung Jawab;
 - 2) Ketua Tim;
 - 3) Sekretaris; dan
 - 4) Anggota.
 - c) Penyamaan persepsi dan orientasi mengenai Rencana Induk Penyelenggaraan SPALD
Penyamaan persepsi dan orientasi mengenai Rencana Induk bertujuan untuk memberikan pemahaman terhadap:
 - 1) peraturan perundang-undangan, standar teknis, dan kriteria teknis yang berkaitan dengan penyelenggaraan SPALD;
 - 2) metode dan teknis penyusunan Rencana Induk Penyelenggaraan SPALD; dan
 - 3) data dan informasi perencanaan penyelenggaraan SPALD yang dibutuhkan dalam menyusun Rencana Induk.

d) Penyusunan Agenda Kerja Tim

Rencana kegiatan tim penyusun Rencana Induk Penyelenggaraan SPALD dijabarkan kedalam agenda kerja yang dijadikan sebagai panduan, yang memuat jadwal persiapan hingga ditetapkannya rancangan Rencana Induk Penyelenggaraan SPALD.

2. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang dikumpulkan meliputi data kondisi daerah rencana, data kondisi SPALD saat ini.

a) Data Kondisi Daerah Rencana

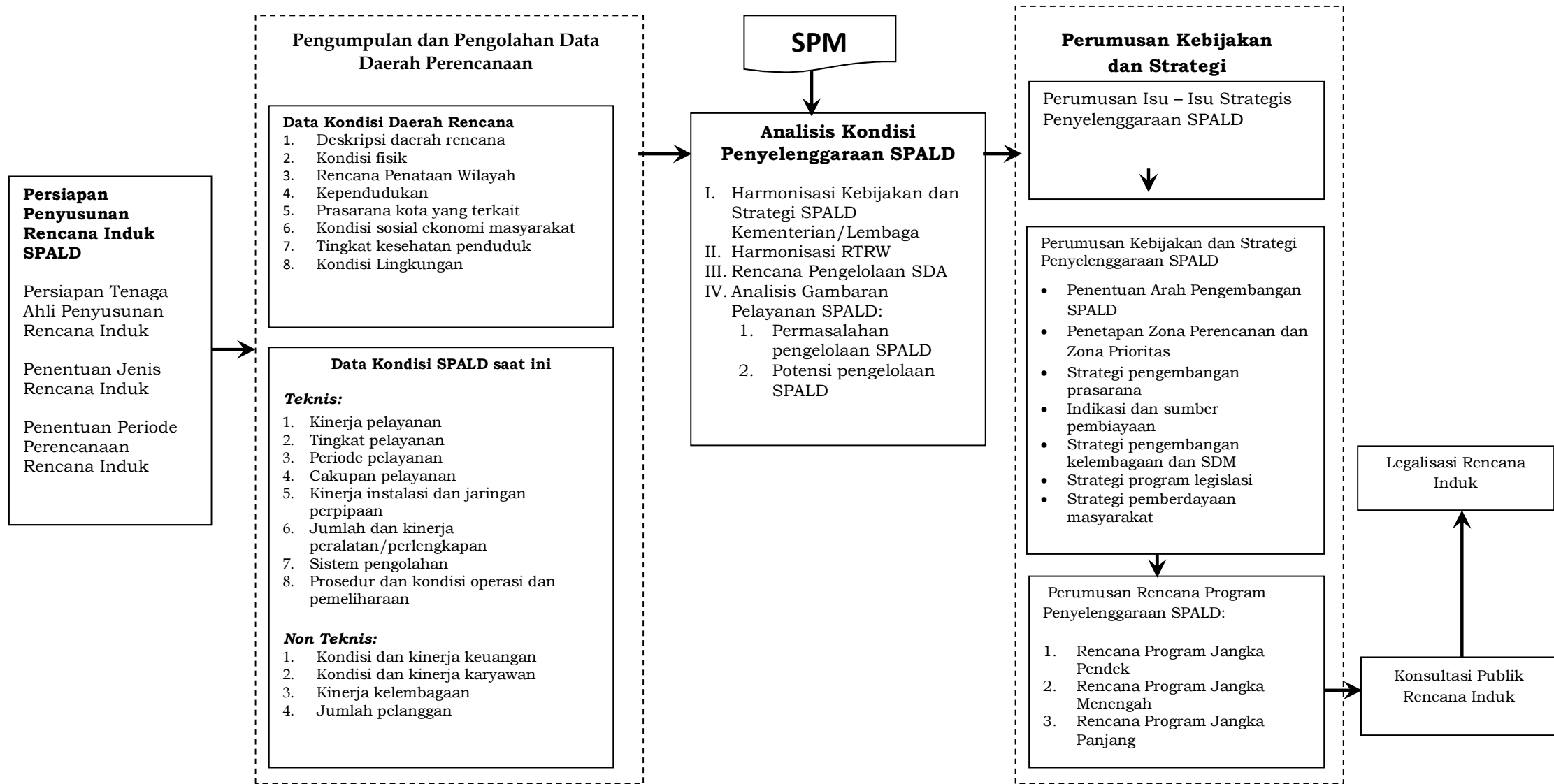
Berisi data sekunder dan primer yang dibutuhkan untuk menyusun Rencana Induk SPALD, sebagai berikut:

1) Deskripsi Daerah dan Kawasan Rencana

Deskripsi singkat daerah dan kawasan rencana meliputi letak daerah dan kawasan rencana secara geografis.

2) Topografi

Data topografi meliputi kontur tanah yang ditampilkan pada peta topografi dalam skala 1:100.000



Gambar 3 Tahapan Penyusunan Rencana Induk SPALD

3) Iklim

Data iklim meliputi penyinaran matahari, kelembaban, suhu udara, dan curah hujan dalam 10 (sepuluh) tahun terakhir.

4) Kualitas Sungai dan Rencana Pengelolaan Sumber Daya Air

Data yang dibutuhkan yaitu panjang sungai, daerah dan kawasan yang dilewati, debit sungai, data *Biological Oxygen Demand* (BOD), keadaan sekitar Daerah Aliran Sungai (DAS), dan rencana pengembangan pengelolaan sumber daya air. Data tersebut dilengkapi dengan peta yang menggambarkan sungai yang ada di daerah rencana.

5) Kualitas Air Tanah

Data kualitas air tanah yang dibutuhkan meliputi data permeabilitas tanah, data kualitas air tanah permukaan, data kualitas air tanah dalam dan data kedalaman muka air tanah.

6) Geologi

Data geologi meliputi data struktur tanah di daerah dan kawasan rencana disertai dengan peta geologi.

7) Prasarana, Sarana, dan Utilitas

Data prasarana, sarana dan utilitas antara lain meliputi data prasarana dan sarana air minum, persampahan, jaringan drainase, dan jaringan listrik.

8) Rencana Penataan Wilayah

Data yang dibutuhkan antara lain data penggunaan lahan untuk daerah dan kawasan rencana (dilengkapi dengan peta), dan RTRW yang dibuat oleh masing-masing daerah rencana. Data ini juga dilengkapi dengan prasarana dan sarana ekonomi, sosial, dan budaya, termasuk perkantoran pemerintahan.

9) Kependudukan

Data kependudukan antara lain meliputi jumlah penduduk, laju pertumbuhan penduduk, struktur umur, jenis kelamin, tingkat pendidikan, ketenagakerjaan, mata pencaharian, tingkat pendapatan dan lain-lain. Data

tersebut berdasarkan data kondisi saat ini dan data proyeksi 20 (dua puluh) tahun kedepan.

10) Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat

Data kondisi sosial ekonomi masyarakat meliputi:

- (a) data sumber mata pencaharian;
- (b) penilaian kemiskinan;
- (c) profil kesehatan penduduk, jenis penyakit, dan jumlah prasarana kesehatan;
- (d) kesadaran terhadap pengelolaan air limbah domestik; dan
- (e) kesediaan membayar untuk layanan sanitasi.

11) Data Kondisi SPALD Saat Ini

Data kondisi SPALD saat ini dikelompokkan dalam Data Teknis dan Data Non Teknis.

(a) Data Teknis

Data teknis yang diperlukan untuk SPALD-S antara lain meliputi:

- (1) data sumber air minum;
- (2) data area pelayanan SPALD-S;
- (3) data Kepala Keluarga (KK) yang menggunakan cubluk dan tangki septik;
- (4) data Sarana Pengangkutan Lumpur Tinja meliputi jumlah sarana, jenis sarana, volume, dan ritasi;
- (5) data IPLT meliputi jumlah dan luas IPLT, tahun pembangunan, proses pengolahan lumpur tinja, data efluen dari IPLT, kelengkapan prasarana dan sarana pendukung, disertai dengan denah lokasi dan diagram proses pengolahan.

Data teknis yang diperlukan untuk SPALD-T antara lain meliputi:

- (1) data sumber air minum, meliputi sumber, cakupan pelayanan SPAM;
- (2) data cakupan pelayanan SPALD-T
- (3) data Sambungan Rumah yang menggunakan SPALD-T; dan

- (4) data IPALD meliputi jumlah dan luas IPALD, tahun pembangunan, proses pengolahan air limbah domestik, data efluen dari IPALD, kelengkapan prasarana dan sarana pendukung, disertai dengan denah lokasi dan diagram proses pengolahan.

(b) Data Non Teknis

Data non teknis yang diperlukan untuk SPALD antara lain meliputi:

- (1) data kebiasaan BABS;
- (2) kondisi pengelolaan keuangan Unit pengelola SPALD, yang meliputi:
 - a. kondisi keuangan dalam penyelenggaraan SPALD;
 - b. kemampuan keuangan daerah dan/atau kawasan dalam menyelenggarakan SPALD; dan
 - c. investasi sektor swasta dalam menyelenggarakan SPALD;
- (3) kondisi kelembagaan yang mengelola SPALD, yang meliputi:
 - a. struktur lembaga pengelola SPALD; dan
 - b. Keterlibatan swasta dalam mengelola SPALD;
- (4) data pengaturan dalam mengelola SPALD.

3. Analisis Kondisi Penyelenggaraan SPALD

a) Harmonisasi Kebijakan dan Strategi SPALD Kementerian/Lembaga (K/L)

Dalam Penyusunan Rencana Induk SPALD, dilaksanakan harmonisasi Kebijakan dan Strategi SPALD Kementerian/Lembaga (K/L), yang mencakup:

- 1) tujuan, sasaran, dan jangka waktu Kebijakan dan Strategi SPALD Kementerian/Lembaga (K/L); dan
- 2) program prioritas Kebijakan dan Strategi SPALD Kementerian/Lembaga (K/L) dan target kinerja serta lokasi program prioritas.

b) Harmonisasi RTRW

Pelaksanaan harmonisasi RTRW dalam menyusun rencana penyelenggaraan SPALD mencakup:

- 1) tujuan dan sasaran RTRW;
- 2) struktur tata ruang saat ini;
- 3) rencana pola ruang;
- 4) pola ruang saat ini; dan
- 5) indikasi program pemanfaatan ruang jangka menengah.

Harmonisasi RTRW ditujukan untuk memperoleh informasi bagi analisis gambaran umum kondisi daerah. Dengan melakukan harmonisasi RTRW, dapat diidentifikasi (secara geografis) arah pengembangan wilayah, arah kebijakan dan tahapan pengembangan wilayah per 5 (lima) tahun dalam 20 (dua puluh) tahun kedepan.

Harmonisasi RTRW ini bertujuan untuk:

- 1) menelaah pengaruh rencana struktur tata ruang terhadap penyelenggaraan SPALD;
- 2) menelaah pengaruh rencana Pola Ruang terhadap penyelenggaraan SPALD; dan
- 3) menelaah lokasi IPALD dan IPLT yang telah ditetapkan pada RTRW, serta kesesuaian lokasi tersebut dengan kriteria pemilihan lokasi IPALD dan IPLT, antara lain:
 - (a) jarak IPAL dan/atau IPLT dengan permukiman;
 - (b) topografi dan kemiringan lahan;
 - (c) jenis tanah;
 - (d) tata guna lahan;
 - (e) badan air penerima;
 - (f) banjir;
 - (g) legalitas lahan; dan
 - (h) batas administrasi wilayah.

c) Analisis Gambaran Kondisi SPALD

Sebelum menentukan arah dan strategi penyelenggaraan SPALD, harus disepakati mengenai potensi dan permasalahan penyelenggaraan SPALD pada daerah dan kawasan perencanaan.

Analisis kondisi penyelenggaraan SPALD diharapkan mampu mengidentifikasi antara lain:

- 1) kondisi dan perkembangan perilaku masyarakat dalam membuang air limbah domestik;
- 2) kondisi kesehatan masyarakat terkait penyelenggaraan SPALD di daerah dan kawasan perencanaan;
- 3) kondisi pencemaran air limbah domestik saat ini dan yang akan datang tanpa adanya penyelenggaraan SPALD;
- 4) capaian kinerja penyelenggaraan SPALD jangka pendek sebelumnya;
- 5) permasalahan yang terjadi dalam penyelenggaraan SPALD pada aspek teknis, kelembagaan, keuangan, peran serta masyarakat dan peraturan;
- 6) potensi yang dapat dikembangkan pada aspek teknis dalam penyelenggaraan SPALD;
- 7) potensi yang dapat dikembangkan pada aspek keuangan Pemerintah Daerah dalam penyelenggaraan SPALD;
- 8) potensi yang dapat dikembangkan pada aspek kelembagaan Pemerintah Daerah dalam penyelenggaraan SPALD; dan
- 9) potensi yang dapat dikembangkan pada aspek peran serta masyarakat dalam penyelenggaraan SPALD.

4. Perumusan dan Penetapan Kebijakan dan Strategi

Dalam perumusan dan penetapan kebijakan dan strategi penyelenggaraan SPALD dilaksanakan melalui tahapan sebagai berikut:

a) Perumusan Isu Strategis

Perumusan isu strategis berdasarkan:

- 1) hasil harmonisasi kebijakan dan strategi SPALD yang ditetapkan oleh Kementerian/Lembaga;
- 2) hasil harmonisasi RTRW dan/atau RDTR;
- 3) hasil analisis gambaran pelayanan SPALD antara lain meliputi:
 - (a) perilaku masyarakat dalam pengelolaan air limbah domestik;
 - (b) permasalahan dan potensi dalam penyelenggaraan SPALD;

- (c) permasalahan dan potensi pembiayaan dalam penyelenggaraan SPALD; dan
 - (d) penentuan kawasan rawan sanitasi khusus air limbah domestik;
- 4) isu strategis pada cakupan global.

b) Penentuan Arah Kebijakan dan Strategi SPALD

Tahapan berikutnya dilakukan penentuan arah kebijakan dan strategi penyelenggaraan SPALD. Kebijakan dan strategi yang disusun tidak bertentangan dengan kebijakan dan strategi yang telah ditetapkan oleh Pemerintah Pusat. Dalam menentukan arah kebijakan dan strategi SPALD dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut:

1) Analisis Arah Kebijakan Penyelenggaraan SPALD

Analisis arah kebijakan dan strategi SPALD dilaksanakan dengan mempertimbangkan hasil perumusan isu strategis penyelenggaraan SPALD daerah dan/atau kawasan.

Analisis arah kebijakan penyelenggaraan SPALD ditentukan dengan melaksanakan analisis metode pemilihan arah kebijakan prasarana dan sarana air limbah domestik, yang dapat dianalisis antara lain dengan metode *Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats* (SWOT), metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) atau dengan metode lain sesuai perkembangan ilmu pengetahuan.

2) Penentuan Arah Kebijakan Penyelenggaraan SPALD

Dalam menentukan arah kebijakan dan strategi SPALD menetapkan kebijakan dan strategi sebagai berikut:

- (a) kebijakan dan strategi pengembangan prasarana dan sarana SPALD paling sedikit meliputi:
 - (1) optimalisasi SPALD-S yang sudah berjalan;
 - (2) kombinasi SPALD-S dan SPALD-T sesuai dengan kondisi daerah dan/atau kawasan perencanaan; dan/atau
 - (3) peningkatan prasarana dan sarana SPALD dengan teknologi maju.

- (b) kebijakan dan strategi pengembangan kelembagaan dan SDM;
- (c) kebijakan dan strategi dalam pembiayaan penyelenggaraan SPALD;
- (d) kebijakan dan strategi peran serta masyarakat dalam penyelenggaraan SPALD; dan
- (e) kebijakan dan strategi pengaturan dalam penyelenggaraan SPALD.

5. Rencana Program dan Tahapan Pelaksanaan Program

Rencana program penyelenggaraan SPALD ditentukan berdasarkan kebijakan dan strategi penyelenggaraan SPALD yang telah ditentukan berdasarkan metode analisis yang digunakan yang terdiri atas:

a) Rencana Umum

Proyeksi populasi dan pengembangan daerah dan/atau kawasan perencanaan, meliputi:

- 1) Penentuan daerah perencanaan SPALD yang ditentukan berdasarkan:
 - (a) Rencana pengembangan daerah dan/atau kawasan, yang merupakan hasil harmonisasi RTRW dan/atau RDTR meliputi:
 - (1) kawasan perkotaan saat ini;
 - (2) kawasan pariwisata saat ini;
 - (3) kawasan strategis nasional saat ini;
 - (4) rencana struktur tata ruang jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang; dan
 - (5) proyeksi populasi dan kepadatan penduduk jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang.
 - (b) Penentuan Zona Perencanaan penyelenggaraan SPALD untuk 20 (dua puluh) tahun mendatang yang mempertimbangkan:
 - (1) keseragaman tingkat kepadatan penduduk;
 - (2) keseragaman bentuk topografi dan kemiringan lahan;
 - (3) keseragaman tingkat kepadatan bangunan;

- (4) keseragaman tingkat permasalahan pencemaran air tanah dan permukaan;
 - (5) kesamaan badan air penerima; dan
 - (6) pertimbangan batas administrasi.
 - (c) Penentuan Zona Prioritas penyelenggaraan SPALD untuk 5 (lima) tahun mendatang dalam penyelenggaraan SPALD dengan mempertimbangkan:
 - (1) kepadatan penduduk;
 - (2) beban pencemaran/angka *Biological Oxygen Demand* (BOD);
 - (3) angka kondisi sanitasi; dan
 - (4) angka kesakitan dari penyakit bawaan air.
- b) Standar dan Kriteria Teknis Penyelenggaraan SPALD
- Standar dan kriteria teknis penyelenggaraan SPALD berupa:
- (1) Standar teknis penyelenggaraan SPALD

Standar teknis penyelenggaraan SPALD paling sedikit meliputi:

 - (a) cakupan rencana pelayanan SPALD-S minimal 60% (enam puluh persen);
 - (b) daerah dengan kepadatan penduduk >150 jiwa/Ha diharapkan memiliki sebuah sistem jaringan dan minimal memiliki IPAL skala permukiman;
 - (c) daerah dan/atau kawasan dengan jumlah penduduk minimal 50.000 (lima puluh ribu) jiwa dan telah memiliki tangki septik, diharapkan memiliki sebuah IPLT; dan
 - (d) pengolahan air limbah domestik diharapkan dapat menghasilkan effluen air limbah domestik yang tidak melampaui
 - (2) Kriteria penyelenggaraan SPALD

Kriteria penyelenggaraan SPALD meliputi:

 - (a) karakteristik air limbah domestik pada Zona Perencanaan yaitu timbulan dan beban organik air limbah domestik;
 - (b) proyeksi timbulan dan beban organik air limbah domestik pada Zona Perencanaan;

- (c) jenis SPALD pada Zona Perencanaan;
 - (d) kriteria teknis dalam penyelenggaraan SPALD-S; dan
 - (e) kriteria teknis dalam penyelenggaraan SPALD-T.
- c) Rencana Program Penyelenggaraan SPALD;
Program penyelenggaraan SPALD mencakup persentase target dan biaya penyelenggaraan SPALD jangka panjang yang terdiri atas:
 - 1) program pengembangan prasarana dan sarana SPALD-S;
 - 2) program pengembangan prasarana dan sarana SPALD-T;
 - 3) program pengembangan kelembagaan dan SDM, yang diarahkan dalam rangka mewujudkan penyelenggaraan SPALD secara proporsional antara regulator dan operator (kelembagaan operator penyelenggaraan SPALD diarahkan pada peran serta masyarakat atau pelaku usaha); dan
 - 4) program pengembangan peran serta masyarakat dalam penyelenggaraan SPALD.
- d) Tahapan Pelaksanaan Program
Program penyelenggaraan SPALD yang telah disusun, kemudian dirinci berdasarkan jangka waktu perencanaan (jangka panjang, jangka menengah dan jangka pendek).
 - (1) Rencana Jangka Panjang
Rencana jangka panjang merupakan perencanaan penyelenggaraan SPALD sampai 20 (dua puluh) tahun mendatang, yang disusun berdasarkan kebijakan dan strategi penyelenggaraan SPALD yang telah ditentukan.
 - (2) Rencana Jangka Menengah
Rencana jangka menengah merupakan perencanaan penyelenggaraan SPALD sampai 5 (lima) tahun mendatang, rencana pembangunan prasarana dan sarana air limbah domestik sesuai dengan permasalahan yang ada dan strategi yang akan dilaksanakan untuk penyelenggaraan SPALD pada daerah dan kawasan perencanaan.

(3) Rencana Jangka Pendek /Tahap Mendesak

Rencana jangka panjang merupakan perencanaan penyelenggaraan SPALD sampai 1 - 2 tahun kedepan rencana pembangunan prasarana dan sarana air limbah domestik yang diprioritaskan pada pemenuhan kebutuhan dasar sanitasi sebagai dasar pengelolaan air limbah domestik.

6. Indikasi Pembiayaan Penyelenggaraan SPALD

Indikasi pembiayaan penyelenggaraan SPALD berasal dari APBN, APBD Provinsi, APBD Kabupaten/Kota, pelaku usaha, dan masyarakat. Pembiayaan tersebut dirinci berdasarkan program yang ditetapkan.

7. Konsultasi Publik Rencana Induk

Rencana Induk SPALD harus disosialisasikan untuk mendapatkan masukan dan tanggapan dari *stakeholder* sebelum ditetapkan. Dalam pelaksanaan sosialisasi tersebut, dihadiri antara lain:

- a) instansi yang menangani pengendalian pencemaran air, air limbah domestik, dan infrastruktur;
- b) pelaku usaha;
- c) tokoh masyarakat;
- d) Perguruan Tinggi; dan
- e) Lembaga Swadaya Masyarakat dan Kelompok masyarakat.

8. Legalisasi Rencana Induk (Peraturan Kepala Daerah)

Tahapan terakhir dalam penyusunan rencana induk yaitu Rencana Induk yang telah dikonsultasi publik ditetapkan oleh Gubernur/Bupati/Walikota dalam bentuk Peraturan Gubernur/Bupati/Walikota.

BAB II

STUDI KELAYAKAN

A. PENGERTIAN STUDI KELAYAKAN

Studi kelayakan pengembangan SPALD adalah suatu studi untuk mengetahui tingkat kelayakan usulan pembangunan SPALD di suatu wilayah pelayanan ditinjau dari aspek kelayakan teknis, keuangan dan ekonomi.

Studi kelayakan pengembangan SPALD wajib disusun berdasarkan:

1. Rencana Induk pengembangan SPALD yang telah ditetapkan;
2. rencana program pengembangan SPALD pada Zona Prioritas; dan
3. kegiatan pengembangan SPALD pada Zona Prioritas.

Sementara bagi Kabupaten/Kota yang belum terdapat Rencana Induk SPALD, studi kelayakannya disusun berdasarkan Buku Putih Sanitasi (BPS) dan Strategi Sanitasi Kabupaten/Kota (SSK).

B. MAKSUD DAN TUJUAN PENYUSUNAN STUDI KELAYAKAN

Maksud penyusunan studi kelayakan pengembangan SPALD yaitu agar Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah memiliki acuan teknis dalam melaksanakan perencanaan pengembangan SPALD berdasarkan hasil pengkajian teknis, keuangan, ekonomi dan lingkungan terhadap kegiatan pengembangan SPALD.

Tujuan penyusunan studi kelayakan Pengembangan SPALD yaitu:

1. pelayanan air limbah domestik yang kontinu;
2. perlindungan permukiman dari pencemaran air limbah domestik;
3. pengolahan air limbah domestik untuk memenuhi baku mutu efluen air limbah domestik;
4. teridentifikasinya lembaga dan SDM dalam menyelenggarakan SPALD;
5. pelayanan air limbah domestik yang terjangkau oleh masyarakat atau pengguna layanan;
6. teridentifikasinya risiko lingkungan dan rencana tindak mitigasi terhadap risiko lingkungan dari kegiatan pengembangan SPALD; dan
7. teridentifikasinya biaya dan sumber biaya dalam menyelenggarakan SPALD.

C. KLASIFIKASI STUDI KELAYAKAN

Studi kelayakan pengembangan SPALD dapat berupa :

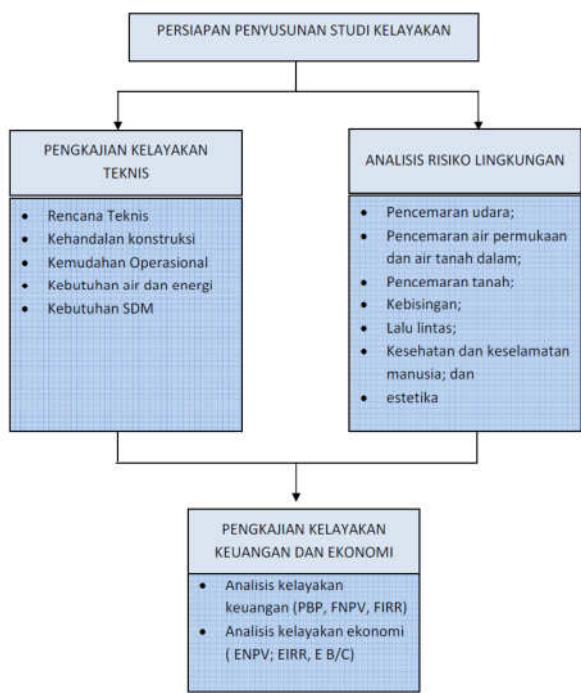
1. Studi Kelayakan

Studi kelayakan merupakan kajian kelayakan teknis, keuangan, dan ekonomi serta analisis risiko lingkungan terhadap suatu kegiatan pengembangan sebagian atau seluruh komponen SPALD, dengan cakupan layanan penduduk lebih dari 100.000 (seratus ribu) jiwa

2. Justifikasi Teknis dan Biaya

Justifikasi teknis dan biaya adalah kajian kelayakan teknis dan keuangan terhadap suatu kegiatan pengembangan sebagian atau seluruh komponen SPALD, dengan cakupan layanan kurang dari 100.000 (seratus ribu) jiwa.

D. TAHAPAN PENYUSUNAN STUDI KELAYAKAN



Gambar 4 Tahapan Penyusunan Studi Kelayakan SPALD

Tahapan Penyusunan Studi Kelayakan SPALD terdiri atas:

Tahap 1. Persiapan penyusunan Studi Kelayakan SPALD

- 1) Pembentukan tim penyusun studi kelayakan SPALD.
- 2) Penyamaan persepsi dan orientasi dalam penyusunan studi kelayakan SPALD.

Tahap 2. Pengkajian kelayakan teknis

Kajian kelayakan teknis SPALD merupakan analisis kegiatan pengembangan komponen SPALD terhadap kriteria kajian teknis yaitu:

- 1) rencana teknik operasional;
- 2) kebutuhan lahan;
- 3) kebutuhan air dan energi;
- 4) kemudahan dan kehandalan konstruksi;
- 5) kemudahan pengoperasian dan pemeliharaan;
- 6) kemudahan suku cadang;
- 7) umur teknis; dan
- 8) kebutuhan sumber daya manusia.

Kajian teknis dapat dilaksanakan terhadap beberapa alternatif pengembangan SPALD, yang disajikan secara jelas dan akan dipilih alternatif yang terbaik oleh tim teknis. Alternatif pilihan merupakan alternatif terbaik ditinjau berdasarkan kriteria kajian. Perkiraan nilai proyek/investasi berdasarkan alternatif yang dipilih, dengan tingkat akurasi 90-95%.

Tahapan pengkajian kelayakan teknis:

- 1) Identifikasi rencana kegiatan pengembangan SPALD dalam tahapan dan Zona Prioritas yang tercantum pada Rencana Induk SPALD.

Rencana program dan kegiatan pengembangan SPALD yang akan dikaji ditujukan pada daerah yang ditentukan sebagai tahapan dan Zona Prioritas.

- 2) Pengumpulan data daerah pengembangan SPALD pada Zona Prioritas

Gambaran daerah pengembangan SPALD meliputi:

- (a) deskripsi Zona Prioritas;
- (b) topografi;
- (c) iklim;
- (d) kualitas sungai dan rencana pengelolaan SDA;
- (e) kualitas air tanah;
- (f) geologi;
- (g) prasarana, sarana dan utilitas;
- (h) rencana penataan wilayah; dan
- (i) kependudukan.

- 3) Perkiraan timbunan air limbah domestik
Perkiraan timbunan air limbah domestik ditentukan berdasarkan:
 - (a) proyeksi penduduk dan perkiraan pengembangan kawasan sesuai dengan besaran rencana pengembangan; dan
 - (b) pemakaian air sesuai dengan kebutuhan domestik dan kawasan.
- 4) Karakteristik timbunan air limbah domestik
Karakteristik timbunan air limbah domestik ditentukan berdasarkan survei karakteristik timbunan air limbah domestik.
- 5) Kondisi sosial dan ekonomi
Kondisi yang perlu diperhatikan pada Zona Prioritas meliputi:
 - (a) daerah dan/atau kawasan yang memiliki potensi ekonomi tinggi, dihitung berdasarkan Pendapatan Domestik Rerata Bruto (PDRB);
 - (b) daerah dan/atau kawasan dengan tingkat kesehatan yang buruk, dihitung berdasarkan SPM;
 - (c) kawasan rawan sanitasi, khususnya air limbah domestik, berdasarkan studi antara lain EHRA;
 - (d) kawasan dengan kepadatan penduduk tinggi, >150.000 jiwa/Km²; dan/atau
 - (e) kuantitas dan kualitas SDM dalam mengelola komponen SPALD, berdasarkan persentase keikutsertaan dalam bimtek pengelolaan air limbah domestik.
- 6) Pelaksanaan kajian kelayakan teknis rencana kegiatan pengembangan SPALD pada tiap komponen SPALD yang akan dikembangkan terhadap kriteria kajian teknis.

Tahap 3. Analisis risiko lingkungan

Analisis risiko lingkungan meliputi analisis dampak negatif pada lingkungan, baik pada saat pelaksanaan konstruksi dan/atau pengoperasian. Analisis risiko lingkungan dilakukan terhadap aspek lingkungan pada area yang diperkirakan akan terkena dampak langsung atau tidak

langsung dari kegiatan pengembangan komponen SPALD, serta meninjau dampak lanjutan terhadap dampak negatif yang dapat timbul.

Analisis risiko lingkungan dianalisis berdasarkan:

- 1) pencemaran udara;
- 2) pencemaran air permukaan dan air tanah dalam;
- 3) pencemaran tanah;
- 4) kebisingan;
- 5) lalu lintas;
- 6) kesehatan dan keselamatan manusia; dan
- 7) estetika.

Hasil analisis risiko lingkungan digunakan untuk menyusun rencana tindak mitigasi dalam setiap tahap pelaksanaan konstruksi dan pengoperasian SPALD.

Tahap 4. Pengkajian kelayakan keuangan dan ekonomi

- 1) Umum

Pengkajian kelayakan keuangan dilaksanakan untuk mendapatkan gambaran proyeksi keuntungan keuangan terbaik bagi penyelenggara dalam jangka waktu tertentu. Sedangkan pengkajian kelayakan ekonomi disusun dengan cara analisis ekonomi untuk mendapatkan gambaran manfaat yang diterima oleh masyarakat untuk mewujudkan peningkatan kesehatan, produktivitas masyarakat, dan perlindungan lingkungan.

Dalam menyusun pengkajian keuangan dan ekonomi SPALD, hal yang harus diperhatikan diawali dengan penentuan tahun proyeksi. Jumlah atau lama tahun proyeksi kelayakan keuangan dan ekonomi ditetapkan sejak tahun pertama investasi pelaksanaan kegiatan pengembangan SPALD dimulai sampai tahun berakhirnya manfaat dari investasi. Tahun proyeksi berdasarkan lingkup kegiatan sebagai berikut:

- (a) jumlah tahun proyeksi kelayakan keuangan dan ekonomi kegiatan SPALD-S (IPLT) minimal 20 tahun; dan
- (b) jumlah tahun proyeksi kelayakan keuangan dan ekonomi kegiatan SPALD-T minimal 20 tahun.

Pelaksanaan kajian kelayakan keuangan dan ekonomi kegiatan pengembangan SPALD harus memperkirakan seluruh biaya yang timbul dan manfaat yang timbul dari kegiatan investasi dan pengoperasian serta memperkirakan selisih atau membandingkan antara biaya dan manfaat selama tahun proyeksi. Analisis biaya dan manfaat pada kegiatan pengembangan SPALD perlu mempertimbangkan hal-hal seperti:

- (a) manfaat secara keuangan dan ekonomi baik langsung maupun tidak langsung, yang terukur maupun tidak terukur pada institusi pengelola maupun masyarakat;
 - (b) peningkatan derajat kesehatan dan produktivitas masyarakat; dan
 - (c) faktor ekonomi lingkungan.
- 2) Komponen biaya dan manfaat

Biaya yang dibutuhkan dalam penyelenggaraan SPALD dapat dibagi menjadi dua komponen yaitu biaya investasi serta biaya pengoperasian dan pemeliharaan.

(a) Biaya Investasi

Biaya investasi merupakan biaya yang digunakan untuk perencanaan, pengadaan dan konstruksi SPALD

Dalam menentukan biaya investasi pengembangan SPALD perlu mempertimbangkan hal sebagai berikut:

- (1) Investasi prasarana dan sarana pengembangan SPALD (SPALD-S dan SPALD-T);
- (2) perhitungan kelayakan keuangan dan ekonomi kegiatan pengembangan SPALD harus memperhitungkan perbedaan karakteristik biaya yang timbul antara lain:
 - a. perluasan/penambahan prasarana yang sudah ada; dan/atau
 - b. pembangunan prasarana pada daerah atau kawasan baru

- (3) perkiraan biaya investasi dan pengembalian modal
- a. Seluruh biaya investasi yang diperlukan dalam kegiatan pengembangan SPALD harus memperkirakan investasi awal dan investasi lanjutan yang diperlukan sesuai tahapan pengembangan SPALD termasuk investasi penggantian (*replacement*) aset yang sudah usang.
 - b. Pengembalian modal investasi harus memperkirakan perhitungan depresiasi (penyusutan) terhadap prasarana dan sarana terbangun. Perhitungan depresiasi masing-masing prasarana dan sarana dihitung berdasarkan standar usia/umur manfaat prasarana dan sarana.
 - c. Apabila biaya investasi prasarana dan sarana SPALD bersumber dari dana pinjaman(sebagian atau sebagian besar), makabunga pinjaman harus diperhitungkan dalam komponen pengembalian modal.

Komponen biaya investasi SPALD dapat dicermati pada tabel berikut ini:

Tabel 1 Komponen biaya investasi kegiatan pengembangan SPALD

<p>Komponen Biaya Investasi SPALD Setempat untuk pembangunan IPLT:</p> <ol style="list-style-type: none">Komponen biaya <i>engineering</i>, terdiri dari:<ol style="list-style-type: none">biaya-biaya survei dan investigasi;studi kelayakan;rencana teknik terinci;analisis risiko lingkungan;<i>public campaign</i>;<i>penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP)</i>; danbiaya supervisi dan sebagainya.Komponen biaya pembebasan lahan untuk IPLT, terdiri dari:<ol style="list-style-type: none">pembebasan lahan untuk IPLT;pembebasan lahan untuk jalan akses IPLTKomponen biaya konstruksi untuk IPLT<ol style="list-style-type: none">biaya perataan tanah IPLT dan buffer zone.biaya pekerjaan sipil IPLT dan buffer zone.biaya pekerjaan M/E IPLT.biaya pekerjaan landscape.biaya pekerjaan jalan akses;biaya pekerjaan jalan operasional <p>Komponen biaya pengadaan truk tinja:</p> <ol style="list-style-type: none">kapasitas truk tinjajumlah kebutuhan truk tinjaharga satuan truk tinja	<p>Komponen Biaya Investai SPALD Terpusat</p> <ol style="list-style-type: none">Komponen biaya <i>engineering</i>, terdiri dari:<ol style="list-style-type: none">biaya-biaya survei dan investigasi;studi kelayakan;rencana teknik terinci;analisis risiko lingkungan;<i>public campaign</i>;<i>penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP)</i>; danbiaya supervisi dan sebagainya.Komponen biaya pembebasan lahan, terdiri dari:<ol style="list-style-type: none">pembebasan lahan untuk IPAL;pembebasan lahan untuk jalan akses IPAL; danpembebasan lahan untuk pipa induk (<i>Main Trunk</i>).<p>Biaya pembebasan lahan tersebut meliputi biaya ganti rugi tanah dan bangunan</p>Komponen biaya konstruksi <p>Komponen biaya konstruksi SPALD-T yang meliputi:</p> <ol style="list-style-type: none">biaya konstruks jaringan perpipaan meliputi:<ol style="list-style-type: none">pipa persilpipa retikulasipipa indukbangunan pelengkap pada sistem jaringanperbaikan prasarana eksisting yang terkena dampak pembangunan perpipaanBiaya konstruksi IPAL, meliputi:<ol style="list-style-type: none">biaya pekerjaan tanah IPAL dan buffer zone;biaya pekerjaan civil IPAL dan buffer zone;biaya pekerjaan M/E IPAL;biaya pekerjaan landscape; danbiaya pekerjaan jalan operasional.
---	---

(b) Biaya pengoperasian dan pemeliharaan SPALD

Biaya pengoperasian dan pemeliharaan merupakan biaya yang timbul untuk mengoperasikan prasarana terbangun agar mampu memberi manfaat pelayanan sesuai kapasitasnya secara berkelanjutan dan berdaya guna sesuai umur rencananya. Biaya pengoperasian dan pemeliharaan SPALD dihitung dalam satuan Rupiah/tahun.

Biaya pengoperasian dan pemeliharaan SPALD perlu mempertimbangkan hal berikut:

- (1) seluruh biaya pengoperasian dan pemeliharaan yang diperlukan untuk mengoperasikan sarana dan prasarana terbangun sesuai SOP harus diperkirakan dalam satuan Rupiah/tahun serta diproyeksikan selama tahun proyeksi dengan

- memperhitungkan peningkatan biaya pengoperasian; dan
- (2) seluruh biaya umum dan administrasi yang diperlukan untuk membiayai pengoperasian lembaga pengelola harus diperkirakan dalam Rupiah/tahun serta diproyeksikan selama tahun proyeksi dengan memperhitungkan perkiraan tingkat inflasi dan pengembangan kapasitas lembaga pengelola.

Komponen biaya pengoperasian dan pemeliharaan SPALD dapat dicermati pada tabel berikut ini:

Tabel 2 Komponen biaya pengoperasian dan pemeliharaan SPALD

Komponen Biaya Pengoperasian dan Pemeliharaan SPALD-S	Komponen Biaya Pengoperasian dan Pemeliharaan SPALD-T
<div>1. Komponen Biaya Pengoperasian dan Pemeliharaan IPLT.</div> <div>a. Biaya Pengoperasian IPLT</div> <div>1) Biaya gaji operator dan perlengkapan kerja operator;</div> <div>2) Biaya material habis pakai (listrik, BBM, dan sebagainya); dan</div> <div>3) Biaya peralatan pengoperasian.</div> <div>b. Biaya Pemeliharaan</div> <div>1) Pemeliharaan rutin instalasi;</div> <div>2) Pemeliharaan berkala instalasi; dan</div> <div>3) Pemeliharaan bangunan penunjang.</div> <div>2. Komponen Biaya Pengoperasian dan Pemeliharaan Sedot dan Angkut</div> <div>a. Biaya Pengoperasian</div> <div>1) Biaya gaji tenaga operator dan perlengkapan kerja operator;</div> <div>2) Biaya material habis pakai (BBM, dan sebagainya); dan</div> <div>3) Biaya peralatan pengoperasian.</div> <div>b. Biaya Pemeliharaan</div> <div>1) Pemeliharaan rutin truk tinja (ganti olie, dan sebagainya); dan</div> <div>2) Pemeliharaan berkala (ganti ban, <i>kopling</i>).</div> <div>3. Komponen Biaya Umum dan Administrasi</div> <div>Komponen biaya umum dan administrasi meliputi:</div> <div>a. Biaya gaji staf dan manajemen;</div> <div>b. Biaya material habis pakai (ATK, telpon, listrik, dan sebagainya); dan</div> <div>c. Biaya peralatan kantor (komputer, printer, kendaraan pengoperasian, dan sebagainya).</div> <div>4. Komponen Biaya Penyusutan</div> <div>Komponen biaya penyusutan meliputi:</div> <div>a. Biaya penyusutan truk tinja;</div> <div>b. Biaya penyusutan IPLT; dan</div> <div>c. Biaya penyusutan kantor umum dan administrasi.</div>	<div>1. Komponen biaya pengoperasian dan pemeliharaan Pipa Pengumpulan</div> <div>a. Biaya pengoperasian</div> <div>1) Biaya gaji; dan</div> <div>2) Biaya peralatan.</div> <div>b. Biaya pemeliharaan</div> <div>1) Biaya pemeliharaan rutin pipa pengumpulan; dan</div> <div>2) Biaya pemeliharaan berkala pipa pengumpulan.</div> <div>2. Komponen Biaya pengoperasian dan pemeliharaan IPAL</div> <div>a. Biaya Pengoperasian</div> <div>1) Biaya gaji;</div> <div>2) Biaya material; dan</div> <div>3) Biaya peralatan.</div> <div>b. Biaya Pemeliharaan</div> <div>1) Pemeliharaan rutin IPAL; dan</div> <div>2) Pemeliharaan berkala IPAL.</div> <div>3. Komponen Biaya Umum dan Administrasi, meliputi</div> <div>a. Biaya gaji staf dan manajemen;</div> <div>b. Biaya material habis pakai (ATK,telkomunikasi, listrik); dan</div> <div>c. Biaya peralatan kantor (komputer, printer, kendaraan pengoperasianonal, dan sebagainya).</div> <div>4. Komponen Biaya Penyusutan</div> <div>a. Biaya Penyusutan Pipa Pengumpulan</div> <div>1) Penyusutan pipa persil;</div> <div>2) Penyusutan pipa retikulasi; dan</div> <div>3) Penyusutan pipa induk.</div> <div>b. Biaya Penyusutan IPAL</div> <div>1) Penyusutan bangunan instalasi;</div> <div>2) Penyusutan M/E; dan</div> <div>3) Penyusutan bangunan penunjang.</div> <div>c. Biaya Penyusutan Kantor Administrasi</div> <div>1) Penyusutan bangunan kantor;</div> <div>2) Penyusutan peralatan kantor; dan</div> <div>3) Penyusutan lain-lain.</div>

(c) Komponen Manfaat Keuangan dan Ekonomi

(1) Manfaat Keuangan

- a. Seluruh potensi retribusi/tarif yang akan diterima oleh lembaga pengelola sebagai akibat dari pelayanan air limbah domestik harus diperkirakan berdasarkan perkiraan jumlah pelanggan yang dilayani dan perkiraan retribusi/tarif rata-rata setiap tahun.
- b. Proyeksi kenaikan jumlah pelanggan air limbah domestik harus dihitung berdasarkan skenario peningkatan jumlah pelanggan hingga tercapainya kapasitas optimum (*Full Capacity*) sesuai dengan rencana teknis proyek.
- c. Proyeksi kenaikan tarif air limbah domestik memperhitungkan proyeksi kenaikan biaya pengoperasian.
- d. Struktur Retribusi/Tarif Air Limbah Domestik

Mengingat pelanggan air limbah domestik berasal dari berbagai tingkat dan golongan masyarakat yang berbeda kemampuan keuangan/daya belinya, maka perkiraan pendapatan Retribusi/Tarif air limbah domestik harus memperhitungkan:

1. perkiraan Retribusi/Tarif per golongan pelanggan dan per jenis pelayanan; dan
2. perkiraan jumlah pelanggan per golongan pelanggan dan per jenis pelayanan.

Perkiraan Tarif/Retribusi per golongan pelanggan harus direncanakan sebagai Tarif/Retribusi terdiferensiasi untuk penerapan subsidi silang kepada pelanggan yang berpenghasilan rendah.

Perkiraan struktur Retribusi/Tarif dan Retribusi/Tarif per golongan pelanggan, harus memperhitungkan komponen perkiraan tarif pelayanan air limbah domestik sebagai berikut:

- a. biaya pengoperasian dan pemeliharaan;
- b. biaya depresiasi atau amortisasi;
- c. biaya pinjaman (pokok dan bunga) untuk kegiatan yang menggunakan dana pinjaman;
- d. biaya umum dan administrasi; dan
- e. biaya pengembalian modal.

(2) Manfaat Ekonomi

Manfaat ekonomi merupakan seluruh manfaat ekonomi yang timbul dari keberadaan kegiatan pengembangan SPALD yang harus memperkirakan:

- a. manfaat ekonomi kegiatan pengembangan SPALD yang dapat diukur dengan nilai uang (*tangible*) baik berupa manfaat langsung (*direct*) maupun manfaat tidak langsung (*indirect*) harus dikonversikan dengan standar konversi dan dapat dipertanggungjawabkan berdasarkan kaidah ekonomi yang diperhitungkan dalam satuan Rupiah/tahun; dan
- b. manfaat ekonomi kegiatan pengembangan SPALD yang tidak dapat diukur dengan nilai uang (*intangible*) harus dijelaskan dengan menggunakan data statistik yang relevan dan dapat dipertanggungjawabkan dalam satuan Rupiah/tahun.

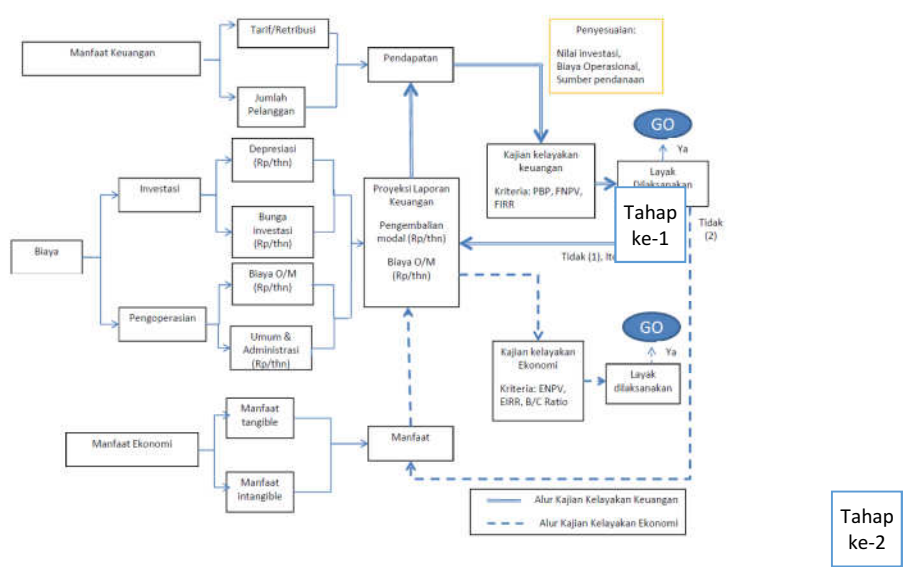
Komponen manfaat ekonomi SPALD dapat dicermati pada tabel berikut ini:

Tabel 3 Komponen manfaat ekonomi SPALD

Komponen manfaat yang dapat diukur dengan nilai uang, meliputi:	Komponen manfaat yang tidak dapat diukur dengan uang meliputi:
1. Manfaat Langsung a. Pemanfaatan lumpur tinja sebagai pupuk b. Pemanfaatan gas bio sebagai sumber energi	1. Pengurangan tingkat pencemaran 2. Meningkatnya kesehatan masyarakat 3. Terjaganya kelestarian sumber daya air 4. Penurunan derajat konflik yang disebabkan oleh pencemaran air limbah
2. Manfaat Tidak Langsung a. Peningkatan nilai harga tanah dan bangunan b. Peningkatan kualitas air untuk umum c. Peningkatan sanitasi umum d. Peningkatan lingkungan hidup e. Peningkatan pendapatan dari sektor pariwisata	

3) Langkah pelaksanaan kajian kelayakan keuangan dan ekonomi

Langkah pelaksanaan kajian kelayakan keuangan dan ekonomi pada kegiatan pengembangan SPALD disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Alir Kajian Kelayakan Keuangan dan Ekonomi

Langkah pelaksanaan pengkajian kelayakan keuangan dan ekonomi:

Langkah 1. Melaksanakan pengkajian kelayakan keuangan

Sasaran dari analisis keuangan ini untuk mengetahui apakah kegiatan yang akan dilaksanakan dari segi keuangan dinilai layak. Penilaian kelayakan didasarkan atas hasil perhitungan parameter kelayakan. Investasi disebut layak apabila hasil perhitungan parameter kelayakan tersebut minimal sama dengan batasan kelayakan yang ditetapkan. Selain itu diperhitungkan juga nilai DSCR agar perusahaan diproyeksikan mempunyai dana yang cukup untuk membiayai pengoperasian seluruh fasilitas yang ada, dan dapat membayar kembali seluruh pinjaman beserta bunganya apabila menggunakan dana pinjaman.

1. Mengumpulkan data pengkajian kelayakan keuangan yang meliputi:
 - a) tingkat inflasi;
 - b) jangka waktu proyek;
 - c) biaya investasi;
 - d) biaya pengoperasian dan pemeliharaan;
 - e) biaya umum dan administrasi;
 - f) kondisi dan persyaratan pinjaman (apabila menggunakan pinjaman)
 - g) biaya penyusutan; dan
 - h) retibusi atau tarif.

2. Menyusun laporan keuangan kajian kelayakan keuangan dengan membandingkan pendapatan yang bersumber dari retribusi atau tarif dengan biaya yang ditimbulkan, baik berupa biaya pengoperasian maupun biaya pengembalian modal.
3. Menganalisis proyeksi laporan keuangan terhadap kriteria kelayakan keuangan

Kelayakan keuangan dianalisis berdasarkan:

- a) Periode pengembalian pembayaran (*Pay Back Period*)
Formulasi perhitungan kelayakan metode *Pay Back Period* sebagai berikut:

$$\text{Payback period} = \frac{\text{Total investment}}{\text{Cash inflow (net profit)}}$$

keterangan :

Payback period = jangka waktu
pengembalian

Total investment = total investasi atau
total proyek

Cash inflow = aliran kas proyek
(nilai bersih)

- b) Nilai keuangan kini bersih (*Financial Net Present Value/FNPV*)
Formulasi perhitungan *Financial Net Present Value (FNPV)* sebagai berikut:

$$FNPV = \sum_{t=0}^n \frac{I}{(1+r)^t} + \frac{CF}{(1+r)^t}$$

keterangan:

NPV = Nilai sekarang dari investasi (*Net Present Value*)

I = Modal awal (*investment*)

CF = *Cash flow* tiap tahunnya

r = tingkat bunga (*interest rate*) %

n = tahun ke-n

- c) Laju pengembalian keuangan internal (*Financial Internal Rate of Return/ FIRR*)

Formulasi perhitungan kelayakan dengan metode *Financial Internal Rate of Return (FIRR)* sebagai berikut:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{I}{(1+FIRR)^t} + \frac{CF}{(1+FIRR)^t}$$

keterangan:

FIRR = Tingkat Bunga Kegiatan (*Financial Internal Rate of Return*)

I = Modal awal (*investment*)

CF = *Cash Flow* tiap tahunnya

n = tahun ke-n

Langkah 2. Membandingkan hasil perhitungan dengan batas kelayakan keuangan yang ditentukan sebelumnya. Penilaian kelayakan membandingkan antara manfaat secara keuangan dengan biaya (modal dan operasional) yang dikeluarkan. Hasil perhitungan disebut positif terhadap batas kelayakan keuangan apabila :

1. *Pay back period* maksimal sama dengan jumlah tahun yang ditentukan;
2. NPV positif; dan/atau

3. FIRR minimal sama dengan nilai yang ditetapkan.

Kegiatan pengembangan komponen SPALD dinyatakan layak secara keuangan artinya kegiatan dapat memberikan hasil lebih dari pengembalian modal secara komersial.

Apabila hasil perhitungan negatif terhadap batas kelayakan keuangan maka:

1. dilakukan penyesuaian terlebih dahulu terhadap nilai investasi, biaya operasional, sumber pendanaan, Retribusi/Tarif; atau
2. Apabila hasilnya tetap berada dibawah penilaian kelayakan keuangan maka penilaian kelayakan dilanjutkan dengan penilaian kelayakan secara ekonomi.

Langkah 3. Melaksanakan kajian kelayakan ekonomi
Mengumpulkan data untuk pengkajian kelayakan ekonomi yang meliputi penyusun laporan keuangan kajian kelayakan ekonomi dengan menganalisis proyeksi laporan ekonomi terhadap kriteria kelayakan ekonomi.

Kelayakan ekonomi dianalisis berdasarkan:

1. Nilai ekonomi kini bersih (*Economic Net Present Value/ENPV*)

Formulasi perhitungan *Economic Net Present Value* (ENPV) sebagai berikut:

$$ENPV = \sum_{t=0}^n \frac{I}{(1+r)} + \frac{CF}{(1+r)^t}$$

keterangan:

- ENPV = Nilai sekarang dari investasi
- I = Modal awal (*investment*)
- CF = Cash flow tiap tahunnya
- r = tingkat bunga (%)
- n = tahun ke-n

2. Laju pengembalian ekonomi internal
(*Economic Internal Rate of Return/EIRR*)

Formulasi *Economic Internal Rate of Return* (EIRR) sebagai berikut:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{I}{(1+EIRR)} + \frac{CF}{(1+EIRR)^t}$$

keterangan:

- EIRR = Tingkat Bunga Kegiatan (*Economic Internal Rate of Return*)
- I = Modal awal (*investment*)
- CF = *Cash Flow* tiap tahunnya
- n = tahun ke-n

3. *Economic Benefit Cost Ratio*

Formulasi *Economic Benefit Cost Ratio* sebagai berikut:

$$\frac{B}{C} Ratio = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{Benefit_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Cost_t}{(1+i)^t}}$$

$$\frac{B}{C} Ratio = \frac{PV_{CASH INFLOWS}}{PV_{CASH OUTFLOWS}}$$

keterangan:

- PV Cash inflows* =Nilai sekarang dari manfaat
- PV Cash outflows* =Nilai sekarang dari biaya

Langkah 4. Membandingkan hasil perhitungan dengan batas kelayakan ekonomi yang ditentukan sebelumnya. Penilaian kelayakan membandingkan antara manfaat yang diterima dengan biaya yang dikeluarkan.

Hasil perhitungan positif terhadap batas kelayakan ekonomi apabila:

1. NPV Positif;
2. EIRR minimal sama dengan nilai yang ditetapkan;
3. *Benefit Cost Ratio* > 1.

Maka proyek ini dinyatakan layak secara ekonomi. Proyek layak secara ekonomi artinya proyek ini dapat memberikan manfaat ekonomi yang baik pada masyarakat.

Langkah 5. Apabila hasil perhitungan kajian ekonomi tidak sesuai dengan parameter kelayakan ekonomi yang telah ditentukan, maka:

1. dilakukan penyesuaian terlebih dahulu terhadap biaya investasi, biaya pengoperasian, sumber pendanaan, Tarif/Retribusi; dan
2. iterasi dilakukan secara berulang hingga mendapatkan hasil yang positif dengan demikian maka dapat dipertimbangkan untuk kelanjutan rencana investasi ini.

BAB III

PERENCANAAN TEKNIK TERINCI

A. UMUM

Perencanaan teknik terinci SPALD merupakan rencana rinci pembangunan SPALD pada daerah atau kawasan dalam Sub-sistem Pengolahan Lumpur Tinja pada SPALD-S dan seluruh komponen SPALD-T yang dituangkan dalam dokumen Perencanaan Teknik Terinci.

Perencanaan teknik SPALD disusun berdasarkan:

1. rencana induk SPALD yang telah ditetapkan;
2. hasil studi kelayakan SPALD;
3. kepastian sumber pembiayaan;
4. kepastian lahan; dan
5. hasil konsultasi teknis dengan instansi teknis terkait.

Lingkup perencanaan teknik SPALD:

1. perhitungan timbulan air limbah domestik dan lumpur tinja;
2. analisis kualitas air limbah domestik dan lumpur tinja;
3. baku mutu air limbah domestik;
4. nota desain, spesifikasi teknis dan gambar teknis pada komponen SPALD yang direncanakan;
5. perkiraan biaya pengembangan dan pengelolaan komponen SPALD;
6. dokumen pelaksanaan kegiatan dan rencana detail kegiatan termasuk didalamnya tahapan dan jadwal pelaksanaan perencanaan; dan
7. penyusunan SOP komponen SPALD.

B. DOKUMEN PERENCANAAN TEKNIK TERINCI

Dokumen Perencanaan Teknik Terinci terdiri dari dokumen laporan utama dan dokumen lampiran.

Dokumen laporan utama memuat:

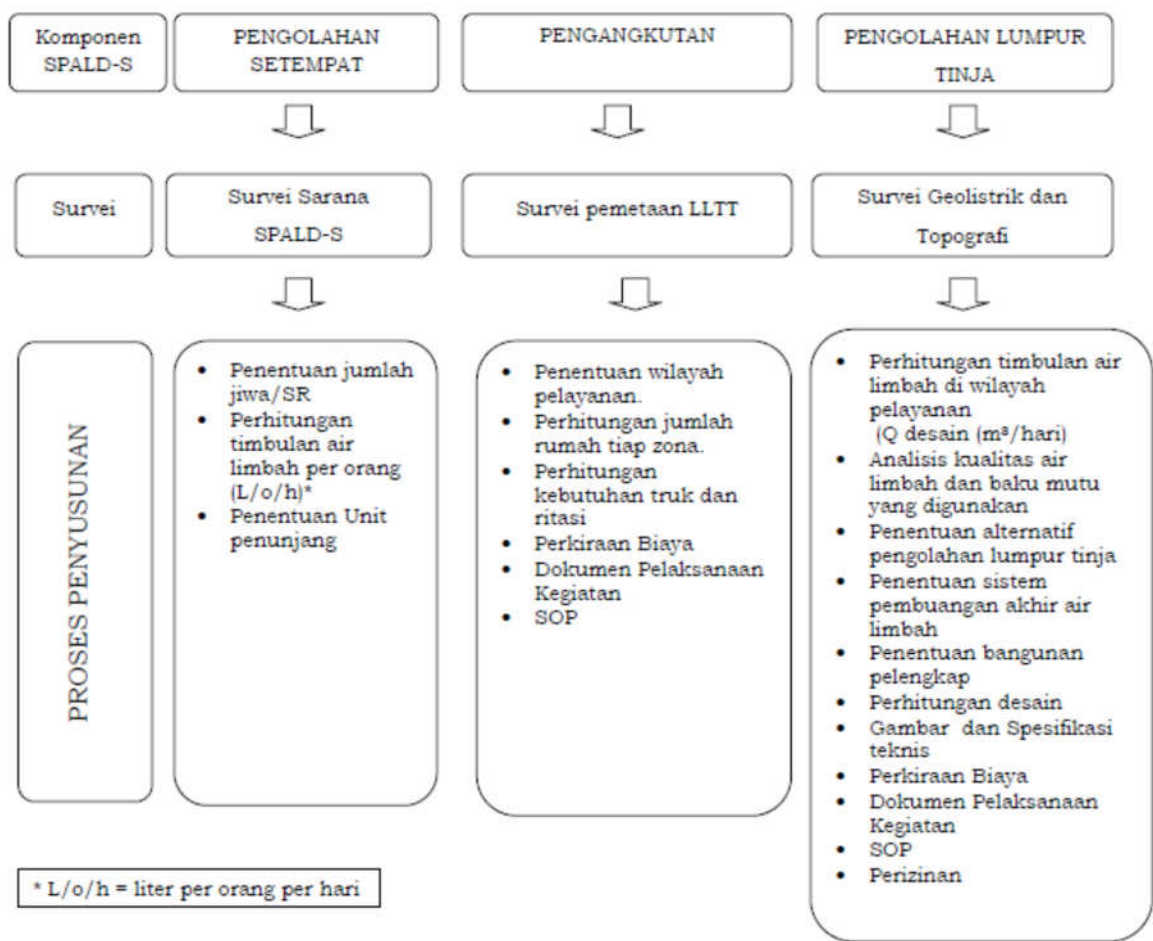
1. Perencanaan pola penanganan SPALD

Perencanaan pola penanganan SPALD memuat penjelasan pola penanganan SPALD-S dan SPALD-T yang akan direncanakan, serta penjelasan komponen SPALD yang akan dibahas lebih rinci pada perencanaan teknik terinci.

2. Perencanaan komponen SPALD

Perencanaan komponen SPALD terdiri dari perencanaan komponen SPALD-S dan SPALD-T.

a) Perencanaan Komponen SPALD-S



1) Perencanaan Teknik Terinci Sub-sistem Pengolahan Setempat

Perencanaan teknik terinci Sub-sistem Pengolahan Setempat dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut:

(a) Penentuan Jumlah Jiwa dan Rumah

Penentuan jumlah jiwa dan rumah berdasarkan hasil pengumpulan data penduduk dan jumlah rumah di daerah atau kawasan pelayanan SPALD-S.

(b) Perhitungan Timbulan Air Limbah Domestik

Perhitungan timbulan air limbah domestik berdasarkan penggunaan air minum (PDAM) atau sumur air tanah. Data penggunaan air minum dapat diperoleh dari PDAM dan hasil survei.

(c) Perencanaan Unit Pengolahan Setempat

Perencanaan unit pengolahan setempat ditentukan berdasarkan skala pengolahan dan konsep pengolahan. Perencanaan unit pengolahan setempat berdasarkan skala pengolahan terbagi atas skala individual dan komunal. Perencanaan unit pengolahan setempat berdasarkan konsep pengolahan terbagi atas pengolahan setempat tercampur (*black water* dan *grey water*) dan pengolahan setempat terpisah (pemisahan *black water* dan *grey water*). Unit pengolahan setempat terdiri dari cubluk kembar, tangki septik dan MCK.

(1) Perencanaan Cubluk Kembar

Cubluk merupakan unit pengolahan setempat dari SPALD-S yang paling sederhana. Terdiri atas lubang yang digali secara manual dengan dilengkapi dinding rembes air yang dibuat dari pasangan batu bata berongga, sistem ini berfungsi sebagai tempat pengendapan tinja dan juga media peresapan dari cairan yang masuk. Sistem cubluk dilengkapi dengan kloset leher angsa agar dapat mencegah bau menyebar dan berkembang biaknya lalat dan serangga lainnya di dalam perpipaan atau ruang cubluk itu.

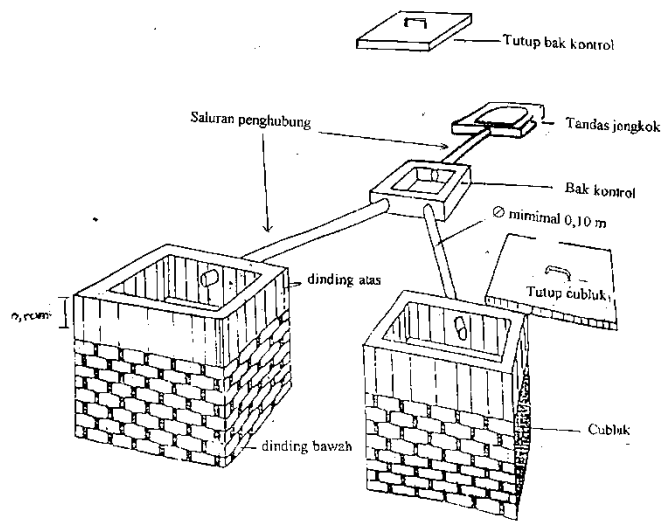
Persyaratan teknis perencanaan cubluk kembar dilaksanakan dengan persyaratan teknis dan kriteria desai berikut ini.

Tabel 4 Persyaratan teknis perencanaan cubluk kembar

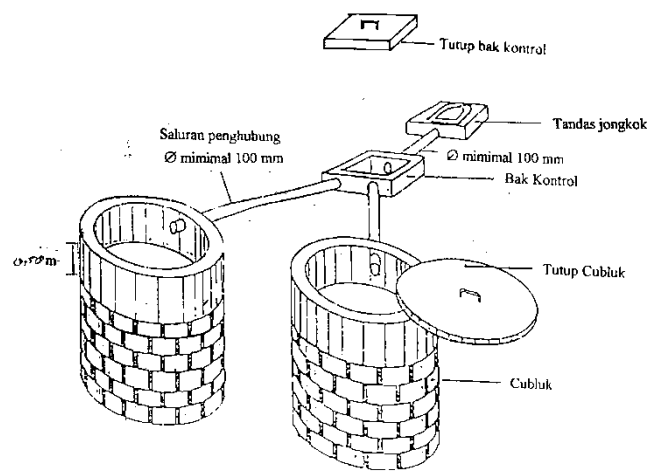
No	Kategori perencanaan	Ketentuan
1.	Kepadatan penduduk	<25 jiwa/hektar
2.	Jarak minimum dengan sumber air	10 m
3.	Ketinggian muka air tanah	>2 meter

4.	Umur penggunaan	5 - 10 tahun
5.	Bentuk cubluk	Bujur sangkar atau silinder

Contoh gambar teknis cubluk kembar



Gambar 6 Gambar teknis cubluk kembar
bentuk bujur sangkar



Gambar 7 Gambar teknis cubluk kembar
bentuk silinder

- Kriteria Teknis Perencanaan Cubluk Kembar
- a. Ketentuan kloset dengan leher angsa yang harus dipenuhi sebagai berikut:
 - 1. kloset dengan leher angsa harus dipasang sedemikian rupa, sehingga

perapat air dapat berfungsi menahan bau yang timbul dari cubluk;

2. kloset diletakkan dekat cubluk dengan cara menyalurkan tinja melalui pipa tahan korosi;
 3. jarak maksimum letak kloset terhadap cubluk adalah 8 meter dan hindari penggunaan belokan 90°; dan
 4. diameter pipa penyalur minimal 100 mm dengan kemiringan sekurang-kurangnya 2,5%.
- b. Penampang cubluk dapat berbentuk bulat atau bujur sangkar.
 - c. Jarak antara 2 lubang sumuran cubluk kembar minimal sama dengan kedalaman cubluknya.
 - d. Jarak terhadap muka air, jarak vertikal antara dasar cubluk kembar dengan muka air tanah di bawahnya minimum 2 m.
 - e. Cubluk dilengkapi dengan ventilasi yang terbuat dari pipa berukuran 2 – 3 inchi dengan tinggi minimal setinggi bangunan kloset. Bagian atas ventilasi diberikan sambungan T agar mencegah air hujan masuk ke dalam ventilasi.
 - f. Komposisi antara jumlah pemakai cubluk dan jarak antar cubluk dijelaskan dalam Tabel 5.

Tabel 5 Komposisi jumlah pemakai cubluk kembar dengan kedalaman cubluk dan jarak antara cubluk

No.	Jumlah Pemakai	Kedalaman Cubluk	Jarak Minimal Antara 2 Lubang Cubluk
	(jiwa)	(m)	(m)
1.	5	1,50	1,50
2.	10	1,50	1,50
3.	15	1,65	1,65
4.	20	1,65	1,65

Sumber: Pt-S-09-2000-C

Tata cara perhitungan dimensi cubluk kembar

a. Volume cubluk dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$V = 1,33 K \times P \times N$

Keterangan:

- V = volume cubluk (m³)
- K = Kapasitas perencanaan cubluk (m³/orang/tahun)
K untuk cubluk kering = 0.66 m³/orang
K untuk cubluk basah = 0.04 m³/orang/tahun
- P = jumlah orang yang menggunakan kakus
- N = jumlah tahun digunakan cubluk sebelum dikuras

b. Acuan dimensi cubluk kembar bulat berdasarkan jumlah pemakai, yaitu:

Jumlah Pemakai (Jiwa)	Periode Pengurasan (Tahun)	Ukuran Efektif		Tebal Tutup Cubluk (mm)	Keterangan
		Diameter (m)	Kedalaman (m)		
5	2	1,0	1,5	50	Daya resap tanah 900 L/m ² /hari Untuk lubang penguras minimum Ø 1 m terbagi menjadi 2 bagian Tinggi dinding kedap 0,5 m.
10	2	1,0	1,5	50	
15	2	1,25	1,65	50	
20	2	1,40	1,65	50	

Sumber: Pt-S-09-2000-C

c. Acuan dimensi cubluk kembar bujur sangkar berdasarkan jumlah pemakai, yaitu:

Jumlah Pemakai (Jiwa)	Periode Pengurasan (Tahun)	Ukuran Efektif Cubluk/Unit		Keterangan
		Sisi (m)	Kedalaman (m)	
5	2	0,9	1,5	Daya resap tanah 900 L/m ² /hari Tinggi dinding kedap 0,5 m.
10	2	0,9	1,5	
15	2	1,0	1,65	
20	2	1,25	1,65	

Sumber: Pt-S-09-2000-C

(2) Perencanaan Tangki Septik

Perencanaan prasarana Tangki Septik dilaksanakan berdasarkan prinsip kerja, persyaratan teknis dan kriteria desain sesuai dengan standar yang ditetapkan peraturan perundang-undangan.

(3) Perencanaan MCK

MCK terdiri dari:

- a. bangunan atas, berupa kamar mandi, ruang cuci dan kakus;
- b. bangunan bawah berupa tangki septik sesuai dengan SNI;
- c. prasarana dan sarana pendukung, berupa:
 - 1. saluran drainase;
 - 2. bangunan reservoir;
 - 3. sistem perpipaan dan pompa; dan
 - 4. sarana air bersih.

2) Perencanaan Teknik Terinci Sub-sistem Pengangkutan

Perencanaan teknik terinci Sub-sistem Pengangkutan dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut:

(a) Penentuan daerah atau kawasan pelayanan

Penentuan daerah atau kawasan pelayanan dilakukan dengan pemetaan target layanan untuk melihat potensi daerah atau kawasan layanan yang menjadi calon pelanggan penyedotan tangki septik.

Kriteria daerah atau kawasan layanan yang berpotensi menjadi area pelayanan penyedotan tinja ditentukan berdasarkan kondisi sanitasi dan karakteristik daerah dan kawasan.

Kriteria daerah atau kawasan pelayanan penyedotan lumpur tinja berdasarkan kondisi sanitasi antara lain:

- (1) data frekuensi penyedotan lumpur tinja, sesuai catatan buku administrasi;
- (2) wilayah dengan risiko sanitasi tinggi, khusus untuk air limbah domestik;
- (3) wilayah dengan muka air tanah tinggi dan rawan banjir;

Karakteristik daerah atau kawasan pelayanan penyedotan lumpur tinja berdasarkan:

- (1) kawasan perkantoran;
- (2) kawasan sekolah, fasilitas umum;
- (3) kawasan niaga dan komersil;
- (4) permukiman teratur; dan
- (5) permukiman padat dan tidak teratur.

- (b) Identifikasi jumlah tangki septik pada Zona Prioritas
- Identifikasi jumlah tangki dilakukan berdasarkan sensus. Sensus tangki septik bertujuan untuk mendata kepemilikan tangki septik dan kondisi tangki septik yang telah ada.

Sensus tangki septik meliputi:

- (1) identitas responden;
- (2) kondisi sosial ekonomi responden;
- (3) penggunaan air bersih;
- (4) kondisi unit pengolahan setempat dan kegiatan pengurusan;
- (5) kepemilikan jamban dan pembuangan air limbah domestik;
- (6) persepsi responden;
- (7) kondisi kesehatan responden; dan
- (8) kemauan dan kemampuan untuk membayar pengurusan tangki septik.

- (c) Penentuan sarana pengangkutan lumpur tinja sesuai daerah atau kawasan pelayanan

Sarana pengangkutan lumpur tinja berupa truk pengangkut lumpur tinja dan motor roda tiga pengangkut lumpur tinja. Penentuan sarana pengangkutan lumpur tinja ditentukan berdasarkan:

- (1) timbulan lumpur tinja yang akan ditangani dalam satuan liter per hari;
- (2) kondisi topografi daerah yang akan dilayani;
- (3) jenis, lebar serta kondisi kualitas jalan yang akan dilalui;
- (4) jarak dengan IPLT;
- (5) dana yang tersedia untuk menyediakan sarana pengangkutan lumpur tinja.

Tabel 6 Spesifikasi teknis truk pengangkut lumpur tinja

No	Unit/Volume	Spesifikasi
01	Truk	Truk memiliki 6 ban
		Beban kendaraan memenuhi syarat untuk jalan kelas II (Arteri Primer)
02	Kelengkapan Penunjang	
	Tangki	<div>Material Baja, fiber, atau bahan lain</div> <div>Coating Kedap air dan tahan terhadap bahan kimia</div> <div>Dimensi Panjang 950 mm, lebar 900 mm, tinggi 80 mm</div> <div>Volume efektif 3 meter kubik</div> <div>Kelengkapan<ul style="list-style-type: none">• pipa ventilasi, lubang pemeriksa, bagian inlet dengan check valve• bagian outlet dengan check valve• indicator volume transparan yang dapat dibaca dari luar.</div>
	Pompa	<div>- Pompa vakum yang disarankan bertipe compressor dan vacuum pump, terbuat dari bahan yang cocok untuk masing-masing bagiannya. Vakum pompa lebih kecil dari 750 mm Hg, putaran pompa <500 – 1000 rpm, pompa harus cukup pelumas dan dilengkapi dengan petunjuk level minyak pelumas untuk keamanan operasi.</div> <div>- Sumber power pompa: tenaga penggerak bias diambil dengan tenaga penggerak truk dengan menggunakan roda gigi yang cocok untuk pemindahan tenaga atau dengan tersendiri yang dibawa truk.</div> <div>- Selang penghisap minimal 50 meter dan selang pembuang minimal 10 meter, harus dilengkapi dengan sistem penyambung. Selang pembuang tinja dibuat dari pengawas dan mudah digulung</div>

Tabel 7 Spesifikasi teknis motor roda tiga pengangkut lumpur tinja

No	Unit/Volume	Spesifikasi
01	Motor Roda Tiga	Motor memiliki roda tiga
		Minimal kapasitas silinder 200 cc
02	Kelengkapan Penunjang	
	Tangki	Material Baja, fiber, atau bahan lain Coating Kedap air dan tahan terhadap bahan kimia Volume efektif = minimal 600 liter, disesuaikan dengan volume kebutuhan dan beban maksimum motor roda tiga Kelengkapan <ul style="list-style-type: none">• pipa ventilasi, lubang pemeriksa, bagian inlet dengan check valve• bagian outlet dengan check valve
	Pompa	Jenis pompa vakum atau sentrifugal dengan tekanan maksimum 2,5 bar. Kelengkapan : Selang

Kebutuhan jumlah unit pengangkutan dapat dihitung berdasarkan:

(1) Kapasitas desain IPLT

Perhitungan jumlah truk tinja berdasarkan kapasitas desain IPLT dan waktu operasional dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$Ritasi\ sarana\ pengangkutan\ (rit/unit/hari) = \frac{jam\ operasi\ truk\ (jam/hari)}{Durasi\ waktu\ pengurusan\ (jam/rit/unit)}$$

- Keterangan :
- Ritasi sarana pengangkutan : Jumlah ritasi yang dibutuhkan untuk pengurusan tangki septik PP (ritasi/unit/hari)
 - Jam operasi : Waktu kerja dalam satu hari (jam/hari)
 - Durasi pengurusan : Waktu yang dibutuhkan untuk sekali pengurusan tangki septik, mulai dari berangkat hingga kembali ke kantor (jam/rit/ unit)

$$Jumlah\ Sarana\ Pengangkut\ (unit) = \frac{Kapasitas\ IPLT\ (m^3/hari)}{Volume\ tangki(m^3) \times Ritasi\ (rit/unit/hari)}$$

- Keterangan :
- Jumlah sarana pengangkutan : Jumlah sarana pengangkutan yang dibutuhkan (unit)
 - Kapasitas IPLT : Kapasitas terpasang IPLT (m³/hari)
 - Volume tangki : Volume tangki sarana pengangkutan lumpur tinja (m³)

(2) Jumlah rumah/tangki septik yang dilayani

Perhitungan jumlah sarana pengangkutan berdasarkan jumlah rumah atau tangki septik yang dilayani, dibutuhkan asumsi volume setiap tangki septik, atau data volume tangki septik berdasarkan hasil sensus tangki septik.

Perhitungan jumlah sarana pengangkutan dilaksanakan dengan persamaan berikut ini:

$$\text{Kapasitas pengolahan lumpur tinja} = \frac{\text{jumlah tangki septik} \times \text{volume tangki septik}}{\text{periode penyedotan} \times \text{juml.hari kerja per tahun}}$$

Keterangan:

Kapasitas pengolahan lumpur tinja	=	Volume total tangki septik yang disedot dalam satu hari (m ³ /hari)
Jumlah tangki septik	=	Jumlah tangki septik yang dilayani (unit)
Volume tangki septik	=	Asumsi volume 1 unit tangki septik (m ³)
Periode penyedotan	=	Jangka waktu pelaksanaan penyedotan terjadwal, misal setiap 3 tahun sekali (tahun)
Jumlah Hari kerja per tahun	=	Jumlah hari kerja operasional LLTT per tahun (hari/tahun)

$$\text{Jumlah sarana pengangkutan (unit)} = \frac{\text{Volume Tangki Septik yang disedot perhari}}{\text{Volume 1 unit tangki truk tinja} \times \text{Ritasi harian}}$$

Keterangan :

Jumlah sarana pengangkut tinja	=	Jumlah sarana pengangkutan yang dibutuhkan (unit)
Volume 1 unit tangki sarana pengangkut tinja	=	Volume tangki truk tinja yang dimiliki (m ³ /unit/rit)
Ritasi harian	=	Jumlah ritasi truk tinja per hari (rit/hari)

3) Perencanaan Teknik Terinci Sub-sistem Pengolahan Lumpur Tinja

Sub-sistem Pengolahan Lumpur Tinja berupa IPLT bertujuan untuk mengolah senyawa organik agar memenuhi persyaratan untuk dibuang ke lingkungan atau dimanfaatkan untuk keperluan tertentu. IPLT dilengkapi dengan prasarana utama serta prasarana dan sarana pendukung.

Prasarana utama pada IPLT meliputi:

- (a) unit pengumpul, untuk mengumpulkan lumpur tinja dari truk tangki penyedot lumpur tinja sebelum masuk ke sistem pengolahan;
- (b) unit penyaringan, untuk memisahkan atau menyaring benda kasar didalam lumpur tinja, yang dapat dilakukan dengan menggunakan *bar screen* manual atau mekanik;
- (c) unit pemisahan partikel diskrit, untuk memisahkan partikel diskrit agar tidak mengganggu proses selanjutnya;
- (d) unit pemekatan, untuk memisahkan padatan dengan cairan yang dikandung lumpur tinja,

sehingga konsentrasi padatannya akan meningkat atau menjadi lebih kental, dengan alternatif teknologi yakni tangki *imhoff* dan *clarifier*;

- (e) unit stabilisasi, untuk menurunkan kandungan organik dari lumpur tinja, baik secara anaerobik maupun aerobik, dengan alternatif teknologi yakni:
 - (1) sistem kolam, Anaerobik – fakultatif – Aerobik;
 - (2) *Anaerobik Sludge Digester*; dan
 - (3) *Oxidation Ditch*;
- (f) unit pengeringan lumpur, untuk menurunkan kandungan air dari lumpur hasil olahan, baik dengan mengandalkan proses penguapan atau proses mekanis, dengan alternatif teknologi yakni *sludge drying bed*, *filter press*, dan *belt filter press*.

Prasarana dan sarana pendukung pada IPLT terdiri dari:

- (a) *platform (dumping station)* yang merupakan tempat truk penyedot tinja untuk mencurahkan (*unloading*) lumpur tinja ke dalam tangki *imhoff* ataupun bak ekualisasi (pengumpul);
- (b) kantor yang diperuntukkan bagi tenaga kerja;
- (c) gudang untuk tempat penyimpanan peralatan, suku cadang unit di IPLT, dan perlengkapan lainnya;
- (d) laboratorium untuk pemantauan kinerja IPLT;
- (e) infrastruktur jalan berupa jalan masuk dan keluar, jalan operasional, jalan inspeksi;
- (f) sumur pantau untuk memantau kualitas air tanah di sekitar IPLT;
- (g) fasilitas air bersih untuk mendukung kegiatan pengoperasian IPLT;
- (h) alat pemeliharaan dan keamanan;
- (i) pagar pembatas untuk mencegah gangguan serta mengamankan aset yang ada di dalam lingkungan IPLT; dan
- (j) sumber listrik.

Tahapan perencanaan IPLT sebagai berikut:

(a) Perhitungan timbulan lumpur tinja di wilayah pelayanan;

(b) Penentuan daerah pelayanan IPLT

Daerah atau kawasan pelayanan ditentukan berdasarkan Zona Prioritas pelayanan SPALD-S yang telah ditentukan pada rencana induk.

(c) Penentuan kapasitas IPLT

Kapasitas IPLT ditentukan dengan menghitung jumlah sarana sanitasi setempat yang berada di daerah pelayanan. Apabila data jumlah sanitasi setempat sulit didapat atau diinventarisasi, maka dapat menggunakan pendekatan minimal 60% penduduk pada Zona Prioritas. Kapasitas (debit) IPLT dihitung dengan menggunakan formulasi berikut:

$$V \left(\frac{m^3}{hari} \right) = \frac{(\% \text{ pelayanan} \times P \times Q)}{1000}$$

Keterangan:

V : Debit total yang akan masuk ke IPLT (m³)

P : Jumlah penduduk yang dilayani pada akhir periode desain (orang)

Q : Debit timbulan lumpur tinja (L/orang/hari)

% : Persentase pelayanan dengan menggunakan pendekatan minimal 60%

Catatan:

Debit timbulan lumpur tinja dapat menggunakan pendekatan (0.25 L/orang/hari - 0.5 L/orang/hari)

Laju timbulan ini merupakan laju timbulan lumpur basan (lumpur dan air dari tangki septik)

(d) Penentuan alternatif unit pengolahan lumpur tinja

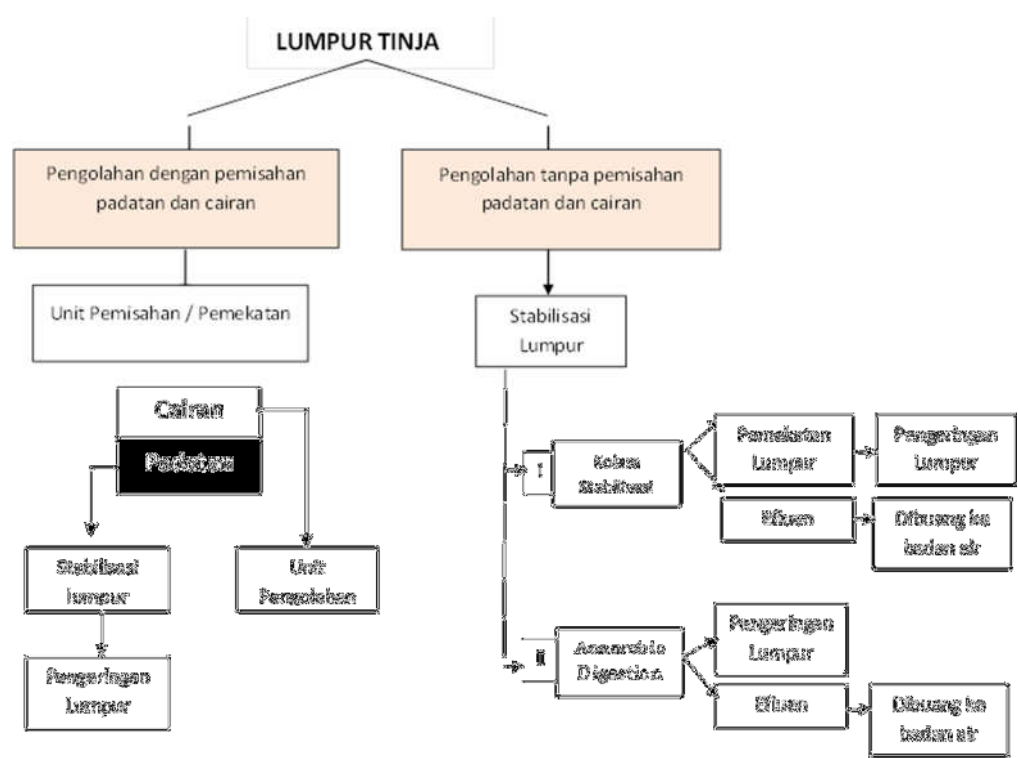
Pengolahan lumpur tinja dapat menggunakan dua metode, yang ditentukan berdasarkan karakteristik lumpur tinja yang akan diolah, yaitu:

(1) Pengolahan IPLT dengan pemisahan padatan dan cairan. Penerapan metode ini dilakukan jika karakteristik lumpur tinja yang masuk ke

IPLT berupa lumpur tinja yang sudah diolah dan tinja yang belum diolah. Untuk mengurangi beban pengolahan biologi, lumpur hasil pengolahan pada unit pemekatan, diolah lebih lanjut pada unit stabilisasi untuk mengurangi konsentrasi pencemar sebelum dibuang ke badan air penerima.

- (2) Pengolahan IPLT tanpa pemisahan padatan dan cairan terlebih dahulu. Metode ini dapat digunakan jika karakteristik lumpur tinja yang masuk IPLT berupa lumpur tinja yang telah mengalami pengolahan di unit pengolahan setempat, sehingga memiliki beban organik yang lebih rendah.

Alternatif metode pengolahan lumpur tinja dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Pembagian metode pengolahan lumpur tinja pada IPLT

Alternatif metode pengolahan lumpur tinja dapat dipilih berdasarkan beberapa faktor pertimbangan, antara lain:

- (1) efektif, murah dan sederhana dalam hal konstruksi maupun operasi dan pemeliharaannya;
 - (2) kapasitas dan efisiensi pengolahan yang sebaik mungkin; dan
 - (3) ketersediaan lahan untuk lokasi IPLT.
- (e) Perhitungan desain unit pengolahan lumpur tinja
- (1) Unit Penyaringan

Perencanaan unit penyaringan dilaksanakan berdasarkan kriteria desain unit penyaringan dan kriteria desain batang pada unit penyaringan sebagai berikut:

Tabel 8 Kriteria desain unit penyaringan

Parameter	Simbol	Besaran		Satuan
		Pembersihan Cara Manual	Pembersihan dengan Alat Mekanik	
Kecepatan aliran lewat bukaan	V	0,3 – 0,6	0,6 – 1	m/detik
Ukuran penampang batang				
Lebar	W	4 – 8	8 – 10	mm
Tebal	L	25 – 50	50 - 75	mm
Jarak bukaan	b	25 – 75	10 – 50	mm
Kemiringan thd. Horizontal	α	45 – 60	75 – 85	derajat
Kehilangan tekanan lewat bukaan	HL _{bukaan}	150	150	mm
Kehilangan tekanan Max.(cloging)	HL _{max}	800	800	mm

Tabel 9 Kriteria desain batang pada unit penyaringan

Tipe Batang	β	Sumber
Persegi panjang	2,42	<i>Syed R. Qasim, hal 161</i>
Rectangular dengan semi rectangular pada sisi muka	1,83	
Circular	1,79	
Rectangular dengan semi rectangular pada sisi muka dan belakang	1,67	
Tear shape	0,67	

(2) Unit Ekualisasi

Pelaksanaan perencanaan unit ekualisasi dilaksanakan berdasarkan kriteria desain sebagai berikut:

Tabel 10 Kriteria desain unit ekualisasi

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan	Sumber
Waktu detensi	td	<2	Jam	Metcalf & Eddy, 1991
Kecepatan Aliran	V	0,3-3	m/det	Qasim, 1985
Slope bak	S	1:1	-	Qasim, 1985
Kedalaman	H	1-3*	meter	-

Keterangan : *bila lebih dari 3 meter maka tangki ekualisasi membutuhkan pengaduk seperti aerator atau pengaduk hidrolis.

(3) Unit Pemisahan Partikel Diskrit

Pelaksanaan perencanaan unit pemisahan partikel diskrit dilaksanakan berdasarkan kriteria desain berikut ini:

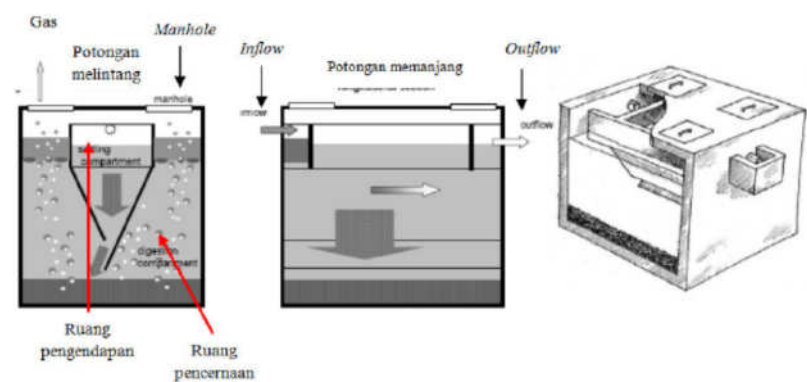
Tabel 11 Kriteria desain unit pemisahan partikel diskrit

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan	Sumber
Waktu detensi	td	45-90	detik	Metcalf & Eddy, 1991
Kecepatan Horizontal	v _h	0,24-0,4	m/detik	Edward JM
Kecepatan pengendapan : Diameter 0,2 mm Diameter 0,15	v _s	3,2-4,2 2-3	ft/menit ft/menit	Metcalf & Eddy, 1991
Specific gravity	g _s	1,5-2,7		Qasim
Specific gravity material organik		1,02		Qasim
Overflow rate debit maksimum	OR	0,021-0,023	m ³ /m ² /detik	Qasim
Jumlah grit yang disisihkan		5-200	m ³ /10 ⁶ /m ⁶	Qasim
Headloss melalui grit	h _L	30-40	%	Qasim
Jumlah bak minimal	-	2	Unit	-

(4) Unit Pemekatan

a. Tangki Imhoff

Tangki imhoff berfungsi untuk memisahkan zat padat yang dapat mengendap dengan cairan yang terdapat dalam lumpur tinja. Tangki dibagi menjadi dua kompartemen (ruangan) yang diberi sekat. Kompartemen bagian tengah atas berfungsi sebagai ruang pengendap/sedimentasi (*settling compartment*) dan kompartemen bagian bawah berfungsi sebagai ruang pengolahan (*digestion compartment*).



Gambar 9 Ilustrasi pengolahan lumpur tinja pada tangki imhoff

Pelaksanaan perencanaan tangki imhoff dilaksanakan berdasarkan kriteria desain tangki imhoff yang tertera pada tabel berikut ini

Tabel 12 Kriteria desain tangki imhoff

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Waktu detensi ruang sedimentasi	td	2-4	jam
Waktu detensi ruang pencerna		1-2	bulan
Efisiensi penurunan TSS	η	45-60	%
Kedalaman kolam	H	6-9	meter
Rasio panjang dan lebar	p : l	(2-4) : 1	-
Kapasitas ruang pencerna		2,5	m ³ /kapita
Laju endapan lumpur tinja pada ruang sedimentasi		0,5	L/orang/hari
Laju endapan lumpur pada ruang pencerna		0,06	L/orang/hari
Diameter pipa lumpur		15	cm
Beban permukaan (surface loading) ruang sedimentasi		30	m ³ /(m ² .hari)
Kecepatan aliran horizontal ruang sedimentasi		<1	cm/detik
Ventilasi gas dibuat minimal 20% dari luas permukaan tangki imhoff atau lebar bukaan masing-masing (45-60) cm pada kedua sisi tangki			

Prasarana dan sarana yang diperlukan untuk tangki imhoff yaitu:

1. ruang sedimentasi;
2. ruang pencerna;
3. pipa dan ruang penampung gas;
4. pipa atau saluran inlet dan outlet;

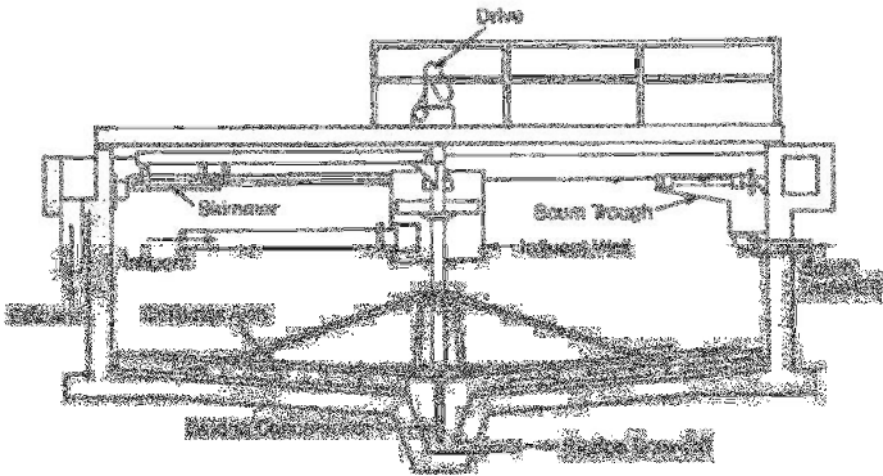
b. Clarifier

Fungsi unit *clarifier* untuk proses pemisahan, pengendapan material hasil proses pengolahan oleh bakteri dari hasil proses biologi yaitu partikel yang mengelompok oleh gaya saling tarik menarik menjadi gumpalan lebih besar, lebih berat sehingga mudah mengendap. Pelaksanaan perencanaan *clarifier* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain *clarifier* yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 14 Kriteria desain *clarifier*

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Waktu detensi ruang sedimentasi	td	2 (puncak) 4,5-6 (rata-rata)	jam
Konsentrasinya BOD	BOD	10.000	mg/L
Solid loading	SS	25-50	Kg SS/m ² .hari
Surface loading (Q/A)		20-35	m ³ /m ² .hari
Kedalaman bak pengendap dari weir minimal	h	3	m
Beban pelimpah		100-254	m ³ /m.hari

Contoh desain *clarifier* tertera pada gambar berikut.



Gambar 11 Contoh desain bangunan *Secondary Clarifier*

- c. Kolam Pemisahan Lumpur (*Solid Separation Chamber* - SSC) dan Bak Pengering (*Drying Area* - DA)

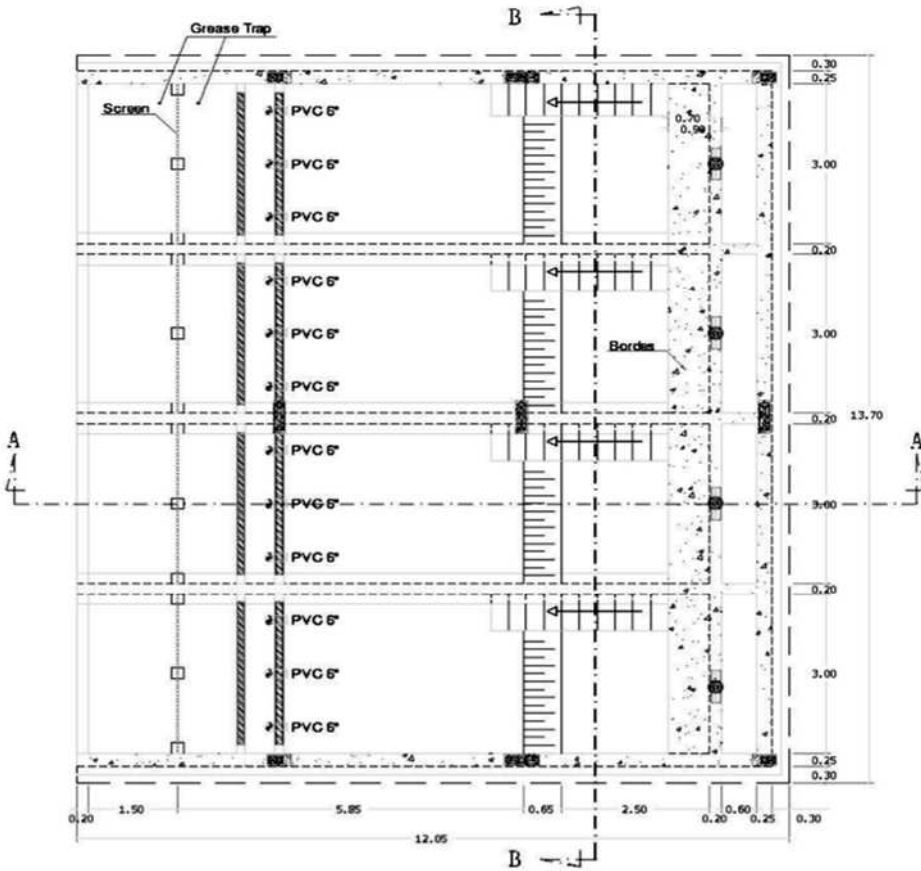
SSC dan DA merupakan alternatif unit pemekatan. Prinsip kerjanya sangat sederhana karena hanya mengandalkan proses fisik untuk pemisahan padatan dari lumpur tinja. Setelah pemisahan, dilakukan penyinaran memanfaatkan sinar matahari sebagai desinfeksi serta angin untuk pengurangan kelembaban atau pengeringan.

Solid Separation Chamber berfungsi untuk memisahkan padatan dan cairan dari air limbah domestik. Lumpur tinja yang dihamparkan secara merata di atas media SSC akan mengalami pemisahan antara padatan di bagian bawah dan cairan di bagian atas. Sebagian cairan dapat terpisah dari lumpur tinja melalui proses infiltrasi pada media SSC, selanjutnya cairan yang telah terpisah diolah lebih lanjut pada unit stabilisasi yang terdapat dalam IPLT.

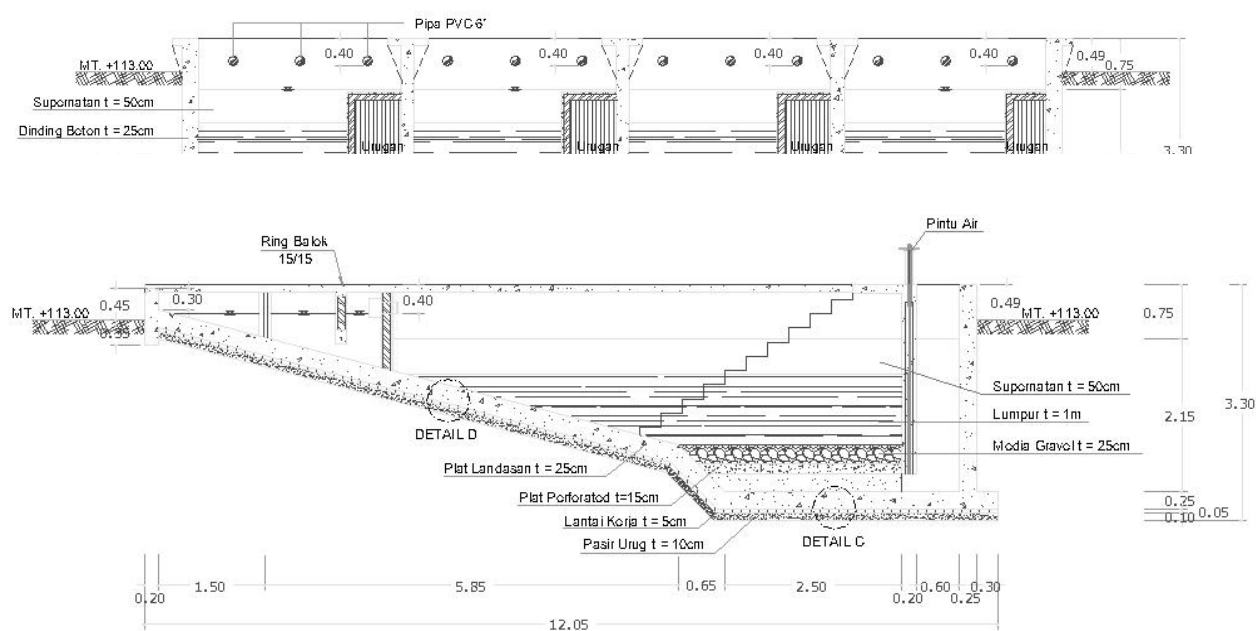
Sementara padatan yang telah mengalami penirisan dikeringkan lebih lanjut di unit pengeringan lumpur. Perencanaan *Solid Separation Chamber* dapat dilaksanakan dengan menggunakan kriteria desain berikut:

Tabel 15 Kriteria Desain Kolam Pemisahan Lumpur
(Solid Separation Chamber)

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Waktu pengeringan <i>cake</i>	t	5 - 12	hari
Waktu pengambilan <i>cake</i> matang	T	1	hari
Ketebalan <i>cake</i>	hc	10 - 30	cm
Tebal lapisan kerikil	hk	20 - 30	cm
Tebal lapisan pasir	hp	20 - 30	cm
Kadar air	P	20	%
Kadar <i>solid</i>	Pi	80	%



Gambar 12 Contoh Denah SSC



Gambar 13 Contoh Potongan SSC

Drying Area merupakan proses pengeringan padatan lumpur yang sudah setengah kering dan sekaligus proses desinfeksi mikroorganisme terkandung dalam lumpur melalui sinar matahari (ultra violet). Proses pengeringan ini pada dasarnya dihitung berdasarkan koefisien laju kematian mikroorganisme, yang apabila dihitung berada pada kisaran. Perencanaan dan gambar unit *Drying Area* dapat dilihat dibawah ini.

Parameter	Besaran	Satuan
Waktu pengeringan <i>cake</i>	7 – 15	hari
Waktu pengambilan <i>cake</i> matang	1	hari
ketebalan <i>cake</i>	10 – 30	cm
tebal lapisan pasir	15 – 30	cm
Kadar air	20	%

Sistem kolam yakni sistem pengolahan yang berupa kolam yang dibangun sesuai kriteria desain, untuk pengolahan air limbah domestik tanpa adanya penggunaan energi listrik atau peralatan mekanik.

1. Kolam anaerobik berfungsi untuk menguraikan kandungan zat organik (BOD) dengan cara anaerobik atau tanpa oksigen.



Gambar 15 Ilustrasi pengolahan pada kolam anaerobik

Perencanaan kolam anaerobik dilaksanakan berdasarkan tata cara desain berikut:

Pelaksanaan perencanaan kolam anaerobik ditentukan berdasarkan laju beban BOD volumetrik (*volumetric BOD loading rate*) (λ_v , g/m³.hari)

Kriteria desain *volumetric BOD loading rate* dan persentase penyisihan BOD pada kolam anaerobik tertera pada tabel berikut:

Tabel 16 Kriteria Desain Volumetric BOD Loading Rate dan persentase penyisihan BOD berdasarkan temperatur

Temperatur (°C)	Laju beban BOD volumetrik	Penyisihan BOD (%)
<10	100	40
10 – 20	20T – 100	2T + 20
20 – 25	10T +100	2T + 20
>25	350	70

T : temperatur, merupakan rerata temperatur udara pada bulan terdingin.

Setelah ditentukan *volumetric BOD loading rate*, volume kolam anaerobik dapat ditentukan berdasarkan formulasi berikut ini:

$$\lambda_v = \frac{L_i Q}{V_a}$$

Keterangan:

- λ_v = Volumetrik BOD loading rate (g/m³/hari)
- L_i = Konsentrasi BOD Influen (mg/l)
- Q = Debit lumpur tinja (m³/hari)
- V_a = Volume kolam anaerobik (m³)

Rerata waktu retensi hidrolis pada kolam anaerobik ditentukan berdasarkan rumus berikut

$$\theta_a = V_a / Q$$

Keterangan:

- θ_a = Waktu retensi kolam anaerobik (hari)
- V_a = Volume kolam anaerobik (m³)

Tabel 17 Kriteria desain waktu retensi dan rasio dimensi kolam anaerobik

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
1. Waktu detensi berdasarkan temperatur			
Temperatur	θ_a		
15 – 20 °C		2 - 3	hari
20 – 25 °C		1 - 2	hari
25 – 30 °C		1 - 2	Hari
2. Kedalaman	D_a	2 -5	m
		Umumnya 3 m	
3. Rasio panjang dan lebar	P :L	(2 - 4) :1	
4. Rasio talud		1: 3	

Luas kolam anaerobik (A_a) dapat dihitung dengan formulasi:

$$A_a = \frac{Q\theta_a}{D_a} = \frac{L_iQ}{\lambda_vD_a}$$

Keterangan:

A_a = Area kolam anaerobik (Ha)

λ_v = Volumetrik BOD loading rate (g/m³/hari)

L_i = Konsentrasi bebab BOD influen (mg/l)

Q = Debit lumpur tinja (m³/hari)

2. Kolam fakultatif berfungsi untuk menguraikan dan menurunkan konsentrasi bahan organik yang ada di dalam limbah yang telah diolah pada kolam anaerobik.



Gambar 16 Ilustrasi pengolahan pada kolam fakultatif

Pelaksanaan perencanaan kolam fakultatif ditentukan berdasarkan laju beban BOD permukaan (*surface BOD loading rate*) (λ_s , kg/Ha.hari).

Surface BOD Loading Rate ditentukan berdasarkan formulasi berikut:

$$\lambda_s = 350 (1.107 - 0.002T)^{(T-20)}$$

Setelah ditentukan *surface BOD loading rate*, luas area pada kolam fakultatif dapat dihitung berdasarkan formulasi berikut:

$$\lambda_s = \frac{10 L_i Q}{A_f}$$

Keterangan:

A_f = Area kolam fakultatif (Ha)

λ_s = *Surface BOD loading rate*
(kg/Ha/hari)

L_i = Konsentrasi bebab BOD influen
(mg/l)

Q = Debit air limbah (m³/hari)

T = Temperatur (°C)

Kolam fakultatif mampu mengolah air limbah domestik dengan *surface BOD loading rate* maksimum 350 kg/ha/day pada temperatur 25°C.

Penentuan *surface BOD loading rate* ini menjadi sangat penting karena akan menentukan kecepatan pembentukan lumpur di dalam kolam yang selanjutnya akan mempengaruhi stratifikasi kolam menjadi zona aerobik dan anaerobik.

Setelah luas area kolam fakultatif ditentukan, maka selanjutnya dapat ditentukan waktu retensi (θ_r , hari)

$$\theta_f = \frac{2A_f D_f}{(2Q_i - 0.001 e A_f)}$$

Keterangan:

θ_f = Waktu retensi kolam anaerobik

Q_i = Debit masuk
(m³/hari)

A_f = Luas area kolam fakultatif

D_f = Kedalam kolam fakultatif

e = Laju evaporasi (mm/hari)

Penyisihan BOD pada kolam fakultatif dapat diperkirakan dengan menggunakan formulasi berikut:

$$L_e = \frac{L_i}{1 + k_1 \theta_f}$$

Keterangan:

L_i = BOD pada influen (mg/L)

L_e = BOD pada efluen (mg/L)

k_1 = Konstanta penyisihan BOD
(hari⁻¹)

θ_f = Waktu detensi kolam fakultatif
(hari)

Perencanaan kolam fakultatif berdasarkan kriteria desain yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 18 Kriteria desain kolam fakultatif

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Waktu retensi minimum			
T < 20°C	θ_f	5	hari
T > 20°C		4	hari
Efisiensi penurunan BOD	η	70 – 90	%
Kedalaman kolam	D	1.5 - 2.5	Meter
Rasio panjang dan lebar	P: L	(2-4) : 1	-
Periode pengurasan		5 – 10	Tahun

Perhitungan debit yang keluar dari Kolam Fakultatif menuju Kolam Maturasi dapat dihitung dengan formulasi berikut:

$$Q_e = Q_i - 0.001 e A_f$$

Keterangan:

Q_e = Debit efluen (m3/ hari)

Q_i = Debit influen (m3/hari)

e = Laju evaporasi (mm/tahun)

A_f = Luas area kolam fakultatif

3. Perencanaan kolam maturasi

Kolam maturasi berfungsi untuk menurunkan fekal koliform yang berada di dalam air limbah melalui perubahan kondisi yang berlangsung dengan cepat serta pH yang tinggi.

Perhitungan perencanaan penurunan bakteri fekal koliform dilaksanakan dengan menggunakan formulasi berikut ini:

$$N_e = \frac{N_i}{[1 + (k_B \theta)]}$$

Keterangan:

N_i = jumlah faecal coliform / 100 ml pada influen

- N_e = jumlah faecal coliform / 100 ml pada effluen
- K_B = konstanta first-order rate penyisihan fekal koliform (hari⁻¹)
- θ = Waktu retensi kolam

Nilai K_B dapat dihitung dengan formulasi berikut:

$$K_B = 2.6 (1.19)^{T-20}$$

Untuk penyisihan bakteri fekal koliform yang menggunakan rangkaian kolam anaerobik, fakultatif, dan maturasi dapat menggunakan formulasi berikut:

$$N_e = \frac{N_i}{[(1 + k_B \theta_a)(1 + k_B \theta_f)(1 + k_B \theta_m)^n]}$$

dengan notasi a, f, dan m merupakan kolam anaerobik, fakultatif dan maturasi. Pada rumus ini diasumsikan ukuran dimensi kolam maturasi seragam, namun bila tidak memungkinkan secara topografi maka pada rumus untuk bagian kolam maturasi disesuaikan dengan waktu retensi air limbah pada setiap kolam, dan disesuaikan dengan menggunakan formulasi berikut ini:

$$(1 + k_B \theta_{m1})(1 + k_B \theta_{m2}) \dots \dots \dots (1 + k_B \theta_{mn})$$

Perencanaan kolam maturasi berdasarkan kriteria desain yang tertera pada tabel berikut ini:

Tabel 19 Kriteria desain kolam maturasi

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Waktu detensi	td	5-15	hari
Efisiensi penurunan BOD	η	>60	%
Kedalaman kolam	H	1-2	meter
Rasio panjang dan lebar	p : l	(2-4) : 1	-
Beban BOD volumetrik		(40-60)	gr BOD/m ³ .hari

Waktu retensi pada kolam maturasi memiliki beberapa batasan yang terdiri atas:

- $\theta_m < \theta_f$
- $\theta_m > \theta_m^{min}$
- $\lambda_{s(m1)} < 0.75 \lambda_{s(f)}$

waktu retensi minimum (θ_m^{min}) = 3 hari
Perhitungan waktu retensi untuk kolam maturasi pertama dapat dihitung dengan formulasi berikut:

$$\theta_{m1} = \frac{10 L_{e(fac)} D_m}{0.75 \lambda_{s(fac)}}$$

Keterangan:

- $L_{e(fac)}$ = beban BOD tanpa filtrasi (mg/l) dari kolam fakultatif
- D_m = Kedalaman kolam maturasi (m)
- $\lambda_{s(fac)}$ = *Surface BOD loading rate* kolam fakultatif (kg/ha/hari)

Perhitungan waktu retensi untuk kolam maturasi dapat dihitung dengan menggunakan formulasi berikut ini:

$$\theta_m = \left\{ \frac{N_i}{N_e [(1 + k_B \theta_a)(1 + k_B \theta_f)(1 + k_B \theta_{m1})^{1/n}] } - 1 \right\} \times \frac{1}{k_{B(T)}}$$

Formulasi diatas diiterasi dengan menggunakan n = 1, kemudian n = 2,

dan seterusnya, sehingga didapatkan

$$\theta_f > \theta_m > \theta_m^{min}$$

Selanjutnya setelah ditentukan Waktu retensi dapat ditentukan Luas Area Kolam Maturasi yang dibutuhkan dengan formulasi berikut:

$$A_{m1} = \frac{2Q_i\theta_m}{(2D_m - 0.001 e \theta_m)}$$

Keterangan:

θ_m = Waktu retensi kolam maturasi (hari)

Q_i = Debit masuk (m^3 /hari)

A_m = Luas area kolam maturasi (m^2)

D_m = Kedalam kolam maturasi

e = Laju evaporasi (mm/hari)

Penyisihan BOD pada kolam maturasi dapat diperkirakan dengan menggunakan formulasi berikut:

$$L_e = \frac{L_i}{1 + k_1\theta_m}$$

Keterangan:

L_i = BOD pada influen (mg/L)

L_e = BOD pada efluen (mg/L)

k_1 = Konstanta penyisihan BOD ($hari^{-1}$)

θ_m = Waktu retensi kolam fakultatif (hari)

Perhitungan debit yang dikeluarkan dari Kolam Maturasi menuju kolam Maturasi lainnya, atau ke badan air

permukaan penerima, dapat dihitung dengan formulasi berikut:

$$Q_e = Q_i - 0.001 e A_m$$

Keterangan:

Q_e = Debit efluen (m³/ hari)

Q_i = Debit influen (m³/hari)

e = Laju evaporasi (mm/tahun)

A_m = Luas area kolam maturasi (m²)

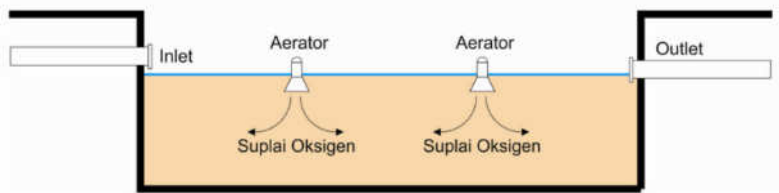
4. Perencanaan kolam aerasi

Kolam aerasi merupakan unit pengolahan berupa kolam terbuka yang dilengkapi dengan aerator terapung. Tidak membutuhkan sistem resirkulasi lumpur karena tidak ada lumpur yang perlu dikembalikan. Lumpur biologis dibiarkan mengendap di dasar kolam bak sedimentasi. Selanjutnya lumpur dari sedimentasi akan diolah ke unit pengering lumpur. Filtrat atau air hasil olahan dialirkan ke badan air penerima.

Untuk membantu suplai oksigen di unit aerasi maka diperlukan alat aerator apung. Alat aerator yang dipasang harus dapat memberikan suplai oksigen yang dibutuhkan ke seluruh unit aerasi. Penentuan kebutuhan tenaga dan jumlah aerator ditentukan melalui faktor berikut ini:

- a) kebutuhan oksigen;
- b) jangkauan (radius) pengadukan;
- c) jangkauan (radius) dispersi oksigen; dan

d) jangkauan kedalaman



Gambar 14 Ilustrasi pengolahan kolam aerasi

Pelaksanaan perencanaan kolam aerasi dilaksanakan berdasarkan kriteria desain kolam aerasi yang tertera pada tabel berikut ini.

Tabel 20 Kriteria desain kolam aerasi

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
BOD	BOD	5,0	Kg/m ³
SS	SS	20	Kg/m ³
VSS Loading (Volumetric loading)	VSS	0,5	Kg VSS/hari/m ³
Solid Retention time	SRT	21	hari
Hidrolis Retention time	HRT	21	hari
Ratio Panjang dan lebar	p:l	2:1	-
Kedalaman	h	1-6	meter

Perhitungan dimensi kolam aerasi dilaksanakan menggunakan formulasi berikut ini:

a) BOD *load* atau beban BOD merupakan banyaknya Kg BOD yang terdapat dalam limbah lumpur tinja dalam satu hari.

$$BOD\ load\left(\frac{kg}{hari}\right)=\frac{konsentrasi\ BOD\left(\frac{mg}{l}\right)\times debit\ lumpur\ tinja\left(\frac{m^3}{hari}\right)}{1000}$$

b) SS *load* atau beban SS merupakan banyaknya Kg SS yang terdapat dalam limbah lumpur tinja dalam satu hari.

$$SS\ load\left(\frac{kg}{hari}\right)=\frac{konsentrasi\ SS\left(\frac{mg}{l}\right)\times debit\ lumpur\ tinja\left(\frac{m^3}{hari}\right)}{1000}$$

c) BOD tereduksi

$$\text{BOD tereduksi} = \frac{\text{BOD load influent (Kg/hari)} - \text{BOD load effluent (Kg/hari)}}{\text{BOD load influent (Kg/hari)}} \times 100\%$$

d) SS tereduksi

$$\text{SS tereduksi} = \frac{\text{SS load influent (Kg/hari)} - (\text{SS load effluent (Kg/hari)})}{\text{SS load influent (Kg/hari)}} \times 100\%$$

e) Waktu tinggal

$$\text{Waktu tinggal (hari)} = \frac{\text{Volume tangki}}{\text{Debit (m}^3\text{/hari)}}$$

f) Overflow rate (OR)

$$\text{OR} = \frac{\text{Debit lumpur tinja (m}^3\text{/hari)}}{\text{Luas permukaan tangki (m}^2\text{)}}$$

g) Volume tangki/bak aerasi

$$\text{Vol} = \frac{\text{Beban SS (Kg/hari)}}{\text{VSSLoading (Volumetricloading) (kgVSS/hari/m}^3\text{)}}$$

b. *Anaerobic Sludge Digester*

Anaerobic Sludge Digester berfungsi untuk menguraikan senyawa organik yang terdapat di lumpur tinja menggunakan mikroba anaerobik berupa kolam tertutup yang dapat dilengkapi dengan pengadukan. Lumpur biologis selanjutnya diolah di unit pengolahan lumpur. Filtrat atau air hasil olahan diolah kembali melalui unit pengolahan cairan sebelum filtrat dibuang ke badan air penerima.

Pada unit *Anaerobic Sludge Digester* tanpa pengaduk, lumpur mikroba akan mengendap kebawah karena tidak ada pengadukan, sehingga bagian bawah dasar bak dirancang berbentuk kerucut agar mudah mengendap secara gravitasi.

Pada unit *Anaerobic Sludge Digester* dengan pengaduk, harus diikuti oleh unit pengolahan aerobik sebagai pelengkap.

Lumpur biologis yang terbentuk dipisahkan pada unit pemekatan/pemisahan padatan dan cairan.

Pelaksanaan perencanaan kolam *Anaerobic Sludge Digester* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 21 Kriteria desain *Anaerobic Sludge Digester*

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
BOD	BOD	5,0	Kg/m3
SS	SS	20	Kg/m3
VSS Loading (Volumetric loading)	SS	1 – 3,5	Kg VSS/hari/m3
Solid Retention time	SRT	10-25	hari
Hydraulic Retention time	HRT	10-25	hari
Ratio Panjang dan lebar	p:l	2:1	-
% removal SS	%SS	50-75	%
Kedalaman	h	>6	meter

Perhitungan dimensi *Anaerobic Sludge Digester* dilaksanakan menggunakan formula berikut ini:

1. BOD *load* atau beban BOD merupakan banyaknya Kilogram BOD yang terdapat dalam limbah lumpur tinja dalam satu hari.

$$BOD\ load\left(\frac{kg}{hari}\right)=\frac{konsentrasi\ BOD\left(\frac{mg}{l}\right)\times debit\ lumpur\ tinja\left(\frac{m^3}{hari}\right)}{1000}$$

2. SS load atau beban SS merupakan banyaknya Kg SS yang terdapat dalam limbah lumpur tinja dalam satu hari.

$$SS\ load\left(\frac{kg}{hari}\right)=\frac{konsentrasi\ SS\left(\frac{mg}{l}\right)\times debit\ lumpur\ tinja\left(\frac{m^3}{hari}\right)}{1000}$$

3. BOD tereduksi

$$BOD\ tereduksi=\frac{BOD\ load\ influent\ (Kg/hari)-BOD\ load\ effluent\ (Kg/hari)}{BOD\ load\ influent\ (Kg/hari)}\times 100\%$$

4. SS tereduksi

$$\text{SS tereduksi} = \frac{\text{SS load influent (Kg/hari)} - (\text{SS load effluent (Kg/hari)})}{\text{SS load influent (Kg/hari)}} \times 100\%$$

5. Waktu tinggal

$$\text{Waktu tinggal (hari)} = \frac{\text{Volume tangki}}{\text{Debit (m}^3/\text{hari)}}$$

6. Overflow rate (OR)

$$\text{OR} = \frac{\text{Debit lumpur tinja (m}^3/\text{hari)}}{\text{Luas permukaan tangki (m}^2\text{)}}$$

7. Volume tangki/bak aerasi

$$\text{Vol} = \frac{\text{Beban SS (Kg/hari)}}{\text{VSSLoading (Volumetricloading) (kgVSS/hari/m}^3\text{)}}$$

c. *Oxydation Ditch*

Unit pengolahan *Oxydation Ditch* merupakan unit yang menggunakan *extended aeration* yang semula dikembangkan berdasarkan saluran sirkular dengan kedalaman 1 – 1.5 m. Lumpur tinja yang masuk dialirkan berputar mengikuti saluran sirkular yang cukup panjang dengan tujuan terjadinya proses aerasi. Alat aerasi yang digunakan berupa alat mekanik rotor berbentuk tabung dengan sikat baja. Rotor diputar melalui poros (*axis*) horizontal dipermukaan air yang disebut *cage rotor*.

Pelaksanaan perencanaan *Oxydation Ditch* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yang tertera pada tabel berikut ini:

Tabel 22 Kriteria desain *Oxydation Ditch*

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Rasio BOD dan BOD removal	-	85 - 90	%
Rasio removal SS	-	80 - 90	%
Rasio removal Nitrogen	-	70%	%
Letak aerator (pada kedalaman)	-	1,0 -1,3	meter
Rasio sludge generated (dari BOD atau SS removal)	-	75	%
Kecepatan rata-rata dalam saluran minimum	V _{min}	0,3	m/detik
Rasio F/M		0,03 -0,15	Kg BOD / hr / Kg VSS
Konsentrasi lumpur dalam bak aerasi		3000 -6000	mg/L

Kriteria desain lainnya yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. udara dari atmosfer menggunakan tekanan negatif dalam air untuk memutar screw;
2. dilakukan resirkulasi untuk menjaga konsentrasi MLSS dalam bak aerasi;
3. perencanaan rotor meliputi; diameter rotor, panjang rotor, jumlah & tenaga penggerak / motor;
4. kebutuhan oksigen
Kebutuhan Oksigen =
Kapasitas oksigen × beban BOD
5. panjang rotor yang diperlukan dapat dihitung dengan formulasi berikut ini:

$$\begin{aligned} & \text{Panjang rotor} \\ &= \frac{\text{Kebutuhan } O_2 \text{ dalam bak}}{\text{kapasitas oksigenasi rotor}} \end{aligned}$$

Spesifikasi teknis aerator yang digunakan pada *Oxydation Ditch* tertera pada tabel berikut ini:

Tabel 23 Spesifikasi teknis aerator pada *Oxydation Ditch*

Sistem Aerasi	Uraian	Transfer Efisiensi	Transfer Rate Kg O ₂ /Kw.jam
Sistem difuser			
1.Gelembung halus	Menggunakan Pipa atau sungkup keramik yang porous	10 – 30	1,2 – 2,0
2.Gelembung sedang	Menggunakan Pipa perforated	6 – 15	1,0 – 1,6
3.Gelembung besar	Menggunakan Pipa dengan orifice	4 - 8	0,6 – 1,2
Sistem mekanikal			
1. Radial flow 2060	Dengan diameter Impeller lebar		1,2 – 2,4
2. Axial flow 300-1200 rpm	Dengan diameter Propeller pendek		1,2 – 2,4
3. Tubular defuser	Udara & AL dihisap kedalam pipa untuk diaduk	7 – 10	1,2 – 1,6
4. Jet	Tekanan udara dan AL horizontal	10 – 25	1,2 – 2,4
5. Brush rotor	Drum dilapisi sikat baja dan diputar dengan as horizontal		1,2 – 2,4
6. Submed turbin			1,0 – 1,5

(6) Unit Pengeringan Lumpur

a. *Sludge Drying Bed* (SDB)

Sludge Drying Bed berfungsi untuk mengeringkan lumpur yang telah stabil. Lumpur yang telah dikeringkan di *Sludge Drying Bed* diharapkan sudah memiliki kandungan padatan yang tinggi (20 – 40% padatan).

Sludge Drying Bed terdiri dari:

1. Bak pengering, berupa bak dangkal berisi pasir sebagai media penyaring dan batu kerikil sebagai penyangga pasir; dan
2. Saluran air tersaring (filtrat) yang terdapat di bagian bawah dasar bak.

Perencanaan *Sludge Drying Bed* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yang tertera pada tabel berikut ini:

Tabel 24 Kriteria desain *Sludge Drying Bed*

No.	Parameter	Keterangan
1	Ukuran bak (m ²)	
	Lebar bak (m)	8
	Panjang bak (m)	30
2	Area yang dibutuhkan	
	SDB tanpa penutup atap	0.14 - 0.28 m ² / kapita
	SDB dengan penutup atap	0.10 - 0.20 m ² /kapita
3	Sludge loading rate	
	SDB tanpa penutup atap	100 - 300 Kg lumpur kering/m ² .tahun
	SDB dengan penutup atap	150 - 400 Kg lumpur kering/m ² .tahun
4	Sludge cake	20 - 40 % padatan
5	Kemiringan dasar	1 : 20
6	Kemiringan dasar pipa	1%

Dimensi unit SDB dapat dihitung dengan formulasi berikut ini:

$$A = K (0,01 R + 1,0)$$

Keterangan:

A = luas per kapita, ft²/kapita

K = faktor yang tergantung pada tipe pengolahan,
yaitu:

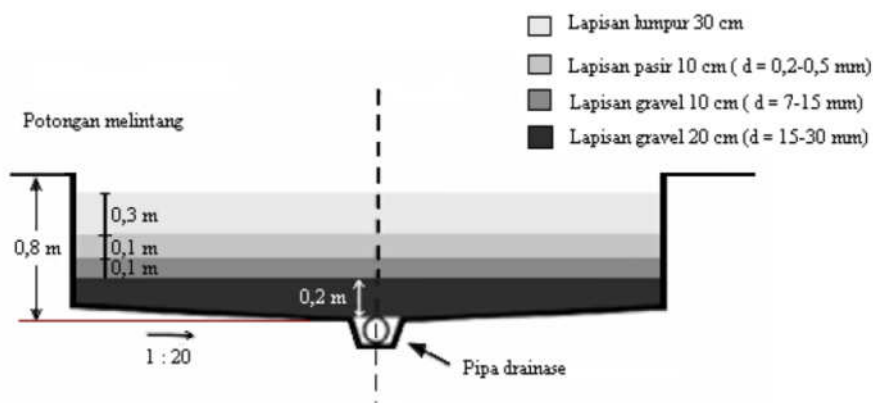
- K = 1,0 untuk anaerobik digestion
- K = 1.6 untuk aerobik digestion

R = hujan tahunan, (inch)

Dalam satu unit SDB terdiri dari beberapa lapisan, yaitu:

- lapisan lumpur, dengan ketebalan 20 – 30 cm;
- lapisan pasir, dengan ketebalan 15 – 25 cm;
- lapisan drain, letaknya di bawah kerikil untuk menampung resapan air dari lumpur.

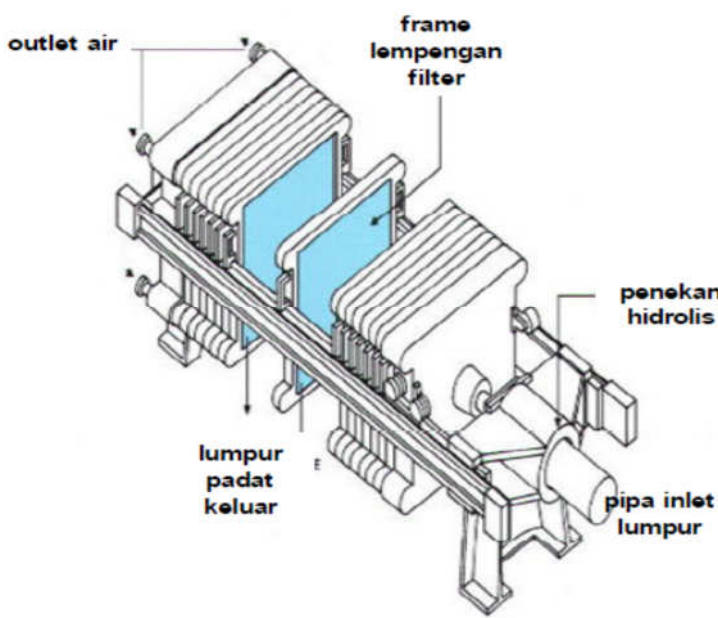
Contoh gambar ukuran lapisan-lapisan yang ada di SDB terdapat pada gambar berikut ini:



Gambar 15 Gambar desain *Sludge Drying Bed*

b. *Filter Press*

Filter Press berfungsi sebagai alat pengolahan lumpur, dengan memberikan tekanan pada lumpur di antara rangkaian lempengan filter (*filter plate*) agar air dan lumpur dapat dipisahkan. Tekanan unit *Filter Press* diberikan oleh sistem hidrolis yang bekerja pada kedua sisi lempengan.



Gambar 16 Contoh *Filter Press*

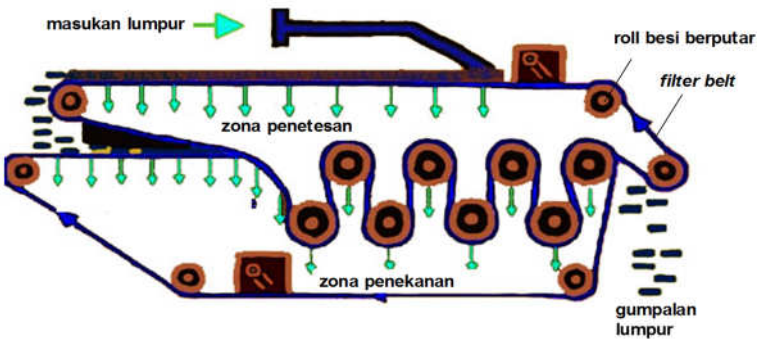
Perencanaan *Filter Press* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yang tertera pada tabel berikut ini.

Tabel 25 Kriteria desain *Filter Press*

No.	Parameter	Keterangan
1	<i>Complete Filtration Cycle Time</i>	1,5 - 2.5 jam
2	Tekanan filter	690 - 1700 kPa
3	Kadar solid setelah diolah dengan <i>filter press</i>	
	a. Lumpur bak sedimentasi I	45 - 50 %
	b. Lumpur bak sedimentasi I dan lumpur aktif segar	45 - 50 %
	c. Lumpur aktif segar	50%
	d. Lumpur dari digester dan lumpur aktif	45 - 50%

c. *Belt Filter Press*

Belt Filter Press memiliki fungsi sebagai alat pengolahan lumpur dimana penekanan lumpurnya dilakukan oleh sepasang lembar plastik elastis berpori (*filter belt*), sehingga air dapat dipaksa keluar dari dalam lumpur.



Gambar 17 *Belt Filter Press*

Pengoperasian *Belt Filter Press* dibagi menjadi 2 tahap, yaitu:

1. Tahap penirisan (*draining*), dengan mengalirkan dan menyebarkan lumpur secara merata di atas lembar elastis berpori halus. Pemisahan air dan lumpur dilakukan tanpa

tekanan, hanya mengandalkan penirisan secara gravitasi.

- 2. Tahap penekanan (*pressing*); dengan menekan lumpur di antara dua *belt* bertekanan secara bertingkat yang diberikan oleh beberapa besi penggulung (*roll*). Pada saat ditekan, air dipisahkan dari lumpur semaksimal mungkin.

Kadar solid dalam lumpur setelah diolah dengan *Belt Filter Press* sebagai berikut:

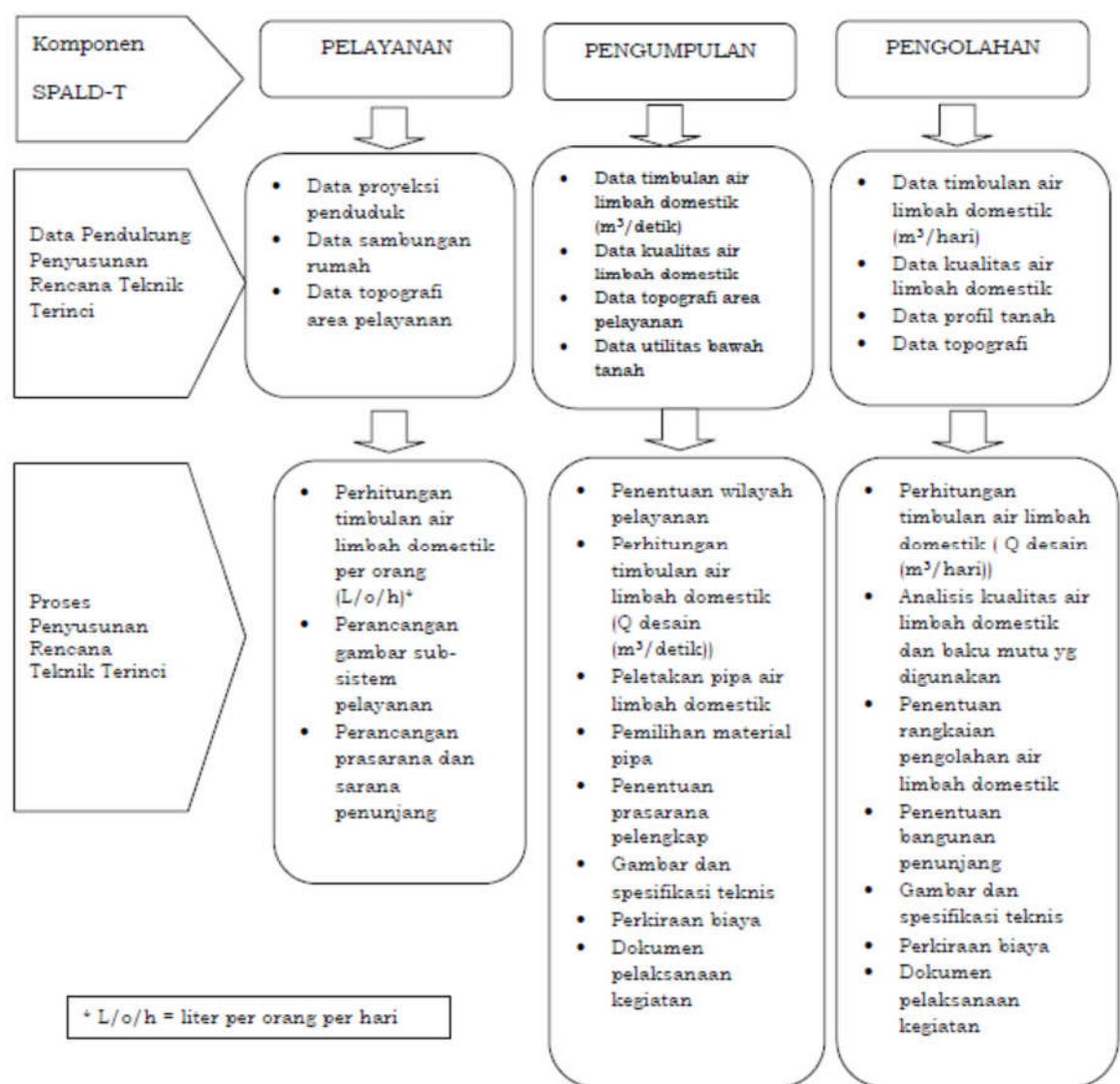
- 1. lumpur sedimentasi I 28%-44%;
- 2. lumpur sedimentasi I dan lumpur aktif 20%-35%;
- 3. lumpur sedimentasi I dan *trickling filter* 20%-40%;
- 4. lumpur dari digester (anaerob) 26%-36%; dan
- 5. lumpur dari digester dan lumpur aktif 12%-18%.

Pelaksanaan perencanaan *Belt Filter Press* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yang tertera pada tabel berikut.

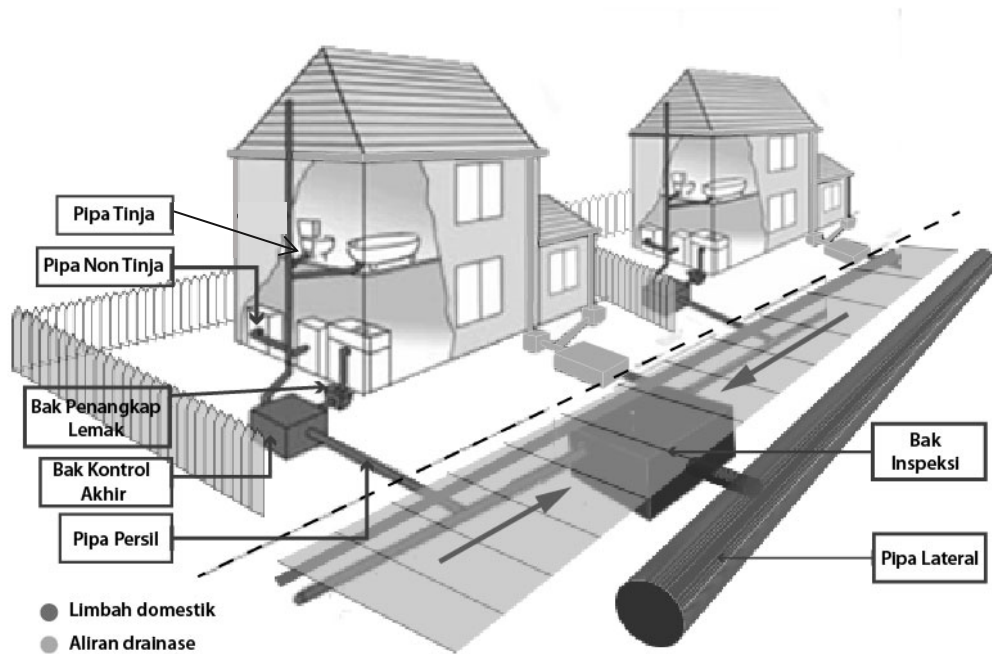
Tabel 26 Kriteria desain *Belt Filter Press*

Parameter	Besaran	Satuan
Lebar Belt	0,5 - 3,5	Metcalf&Eddy, 1991
<i>Sludge Loading</i>	90 - 680	Metcalf&Eddy, 1991
<i>Hydraulic Loading</i>	1,6 - 6,3	Metcalf&Eddy, 1991

b) Perencanaan Komponen SPALD-T



- 1) Perencanaan Teknik Terinci Sub-sistem Pelayanan
- Sub-sistem Pelayanan merupakan sambungan rumah yang terdiri dari pipa tinja, pipa non tinja, bak penangkap lemak, pipa persil, dan bak kontrol. Pengoperasian, pemeliharaan dan rehabilitasi Sub-sistem Pelayanan merupakan tanggung jawab pemilik rumah.



Gambar 18 Sub-sistem Pelayanan

Tahapan perencanaan Sub-sistem Pelayanan:

Tahap 1. Penentuan tata letak bangunan dan titik lokasi sumber air limbah domestik.

Tahap 2. Penentuan fungsi penggunaan bangunan dan bangunan gedung.

Tahap 3. Penentuan debit timbulan air limbah domestik pada setiap lokasi sumber air limbah domestik sesuai dengan fungsi penggunaan bangunan dan bangunan gedung.

Timbulan air limbah domestik dapat diperoleh berdasarkan data pemakaian air minum, dengan menggunakan dasar perencanaan timbulan air limbah domestik berkisar 60 – 80% pemakaian air minum.

Tahap 4. Penentuan rencana elevasi invert pipa lateral

Tahap 5. Penentuan rencana lokasi bak kontrol.

Tahap 6. Penentuan dimensi, kemiringan dan diameter pipa persil.

Tahap 7. Penyusunan gambar desain sub-sistem pelayanan dan total kebutuhan pemasangan pipa, yang mencakup:

a. Pipa tinja

Perencanaan pipa tinja dilaksanakan dengan memperhatikan kriteria desain sebagai berikut.

Tabel 87 Kriteria desain pipa tinja

No.	Kriteria	Keterangan
1	Diameter pipa	Minimal 100 mm
2	Bahan pipa	PVC, semen.
3	Kemiringan	Minimal 2%

b. Pipa non tinja

Perencanaan pipa non tinja dilaksanakan dengan memperhatikan kriteria desain sebagai berikut.

Tabel 28 Kriteria desain pipa non tinja

No.	Kriteria	Keterangan
1	Diameter pipa	Minimal 50 mm
2	Bahan pipa	PVC, semen.
3	Kemiringan	Minimal 2%

c. Bak penangkap lemak dan minyak dari dapur

Bak penangkap lemak berfungsi untuk mencegah penyumbatan akibat masuknya minyak dan lemak ke dalam pipa persil dan lateral dalam jumlah besar.

Bak penangkap lemak digunakan pada dapur, tempat cuci, atau pada sumber dengan pemakaian air rendah.

Bak penangkap lemak diletakkan sedekat mungkin dengan sumbernya.

d. Pipa persil

Perencanaan pipa persil dilaksanakan dengan memperhatikan kriteria desain sebagai berikut.

Tabel 29 Kriteria desain pipa persil

No.	Kriteria	Keterangan
1	Diameter pipa	Sama atau lebih besar dari pipa tinja. Biasanya 100 – 150 mm
2	Bahan pipa	PVC, semen.
3	Kemiringan	Minimal 2%
4	Kecepatan minimal (<i>self cleansing</i>)	0.6 m/detik

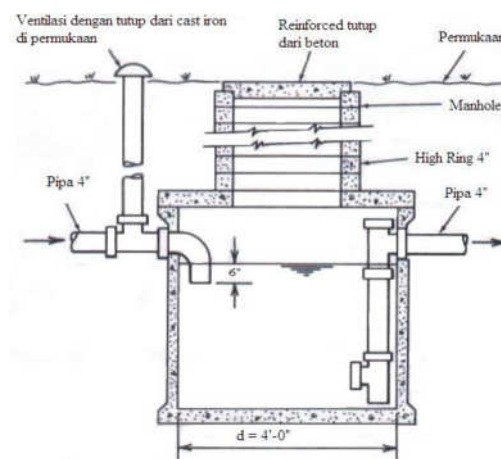
e. Bak kontrol

Bak kontrol merupakan prasarana pendukung sub-sistem pelayanan yang berfungsi sebagai prasarana untuk menahan sampah atau benda yang dapat menyumbat pipa pengumpulan air limbah. Perencanaan bak kontrol dilaksanakan dengan memperhatikan kriteria desain sebagai berikut.

Tabel 30 Kriteria desain bak kontrol

No.	Kriteria	Keterangan
1	Luas permukaan bak	50 x 50 cm (bagian dalam) Dengan tutup plat beton, yang dapat dibuka
2	Kedalaman bak	40 – 60 cm disesuaikan dengan kebutuhan kemiringan pipa persil yang masuk

Bak kontrol dilengkapi dengan penutup yang terbuat dari beton bertulang atau plat baja yang dapat dibuka, setiap sisinya dilengkapi dinding setinggi 10 cm lebih tinggi dari permukaan tanah, untuk mencegah masuknya limpasan air hujan. Bahan dinding bak kontrol terbuat dari batu bata atau sejenisnya. Contoh gambar prasaran bak kontrol dapat dilihat pada gambar teknik berikut:



Gambar 19 Gambar teknik Bak kontrol

f. Bak inspeksi

Bak inspeksi merupakan prasarana pendukung pada Sub-sistem Pelayanan yang berfungsi sebagai prasarana pengumpul air limbah yang berasal dari beberapa rumah untuk dialirkan menuju Sub-sistem Pengumpulan.

Perencanaan lubang inspeksi dilaksanakan dengan memperhatikan persyaratan teknis, kriteria desain, dan contoh gambar teknis bak inspeksi.

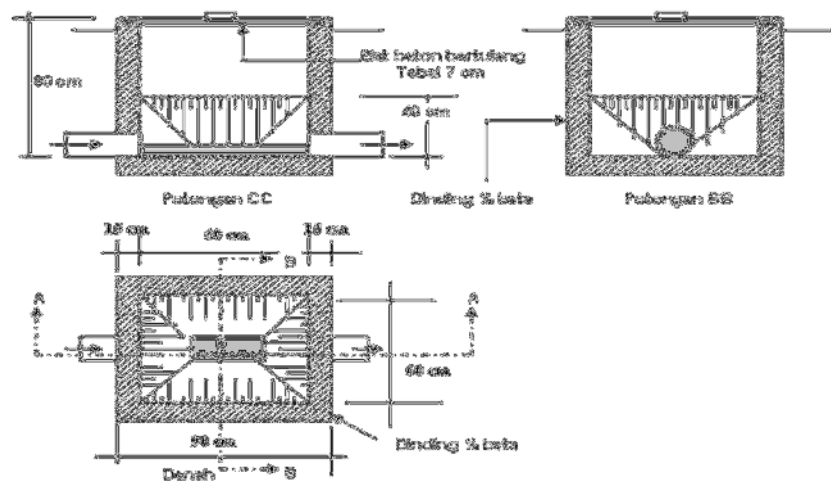
Persyaratan teknis perencanaan lubang inspeksi:

1. Jarak antara dua lubang inspeksi dan bak kontrol ≤ 40 m.

- 2. Apabila kedalaman lubang inspeksi ≥ 1 m, maka sisi dalamnya dilengkapi tangga.
- 3. Bahan bak inspeksi berupa:
 - a) dasar bak inspeksi terbuat dari beton tanpa tulangan;
 - b) dinding bak inspeksi terbuat dari pasangan batu;
 - c) tutup bak inspeksi terbuat dari beton bertulang atau plat baja yang bisa dibuka dan ditutup;
 - d) permukaan bak inspeksi dilengkapi dengan bingkai atau rangka dengan ketinggian 10 cm di atas permukaan tanah, untuk mencegah masuknya limpasan air hujan;
 - e) bak inspeksi yang memiliki kedalaman ≥ 1 m, perlu dilengkapi dengan tangga pada sisi dalam lubang dengan bahan *mild steel* dengan tebal 20 mm. tangga teratas berjarak 45 cm dibawah penutup, dan tangga terbawah berada 30 cm di atas *benching*.

Tabel 31 Kriteria desain bak inspeksi

Tipe IC	Kedalaman Pipa (m)	Dimensi IC (m ²)	
		Bujur sangkar	Persegi panjang
IC-1	$\leq 0,75$	0,4 x 0,4	0,4 x 0,6
IC-2	0,75-1,35	0,7 x 0,7	0,6 x 0,8
IC-3	1,35-2,5		0,8 x 1,2



Gambar 20 Contoh Bak Inspeksi

- 2) Perencanaan Teknik Terinci Sub-sistem Pengumpulan
- Pengumpulan air limbah domestik diutamakan dilakukan secara gravitasi, namun apabila kondisi topografi tidak memungkinkan dapat menggunakan sistem pemompaan.

Sub-sistem Pengumpulan air limbah domestik secara berkala dialirkan dengan pipa yang terpisah dari saluran drainase. Sub-sistem Pengumpulan air limbah domestik terdiri dari:

- (a) Pipa retikulasi, yang berupa:
- (1) Pipa lateral, sebagai saluran pengumpul air limbah domestik dari sambungan rumah ke pipa servis. Pipa lateral disambungkan ke pipa servis secara langsung melalui *manhole*; dan
 - (2) Pipa servis, sebagai saluran pengumpul air limbah domestik dari pipa lateral ke pipa induk. Pipa ini dipasang apabila kondisi lapangan tidak memungkinkan secara teknis untuk menyambungkan pipa lateral ke pipa induk.
- (b) Pipa induk
- Pipa induk berfungsi sebagai saluran pengumpul dari pipa retikulasi dan menyalurkan air limbah domestik ke Sub-sistem Pengolahan Terpusat.

(c) Prasarana dan sarana pelengkap

Prasarana dan sarana pelengkap berfungsi untuk mendukung penyaluran air limbah domestik dari sumber ke Sub-sistem Pengolahan Terpusat. Prasarana dan sarana pelengkap yang dimaksud antara lain *manhole*, bangunan penggelontor, terminal pembersihan (*clean out*), pipa perlintasan (*siphon*), dan stasiun pompa.

Perencanaan pipa pengumpulan air limbah domestik perlu memperhatikan persyaratan teknis berikut.

Tabel 32 Persyaratan teknis perencanaan pipa pengumpulan air limbah domestik

No	Kategori	Keterangan
1	Suplai air bersih	Tersedia suplai air bersih untuk keperluan gelontor
2	Diameter pipa	Minimal 100 mm, karena membawa padatan
3	Aliran dalam pipa	Aliran seragam
4	Kecepatan pengaliran minimal (<i>self cleansing</i>)	0.6 m/detik
5	Kecepatan pengaliran maksimal	3 m/detik

Tahapan perencanaan pipa pengumpulan air limbah domestik:

Tahap 1. Penentuan wilayah pelayanan

- a. Daerah pelayanan harus ditunjukkan dengan jelas dalam peta mencakup skala kelurahan.
- b. Daerah pelayanan dibagi menjadi beberapa blok pelayanan. Jalur pipa untuk setiap blok pelayanan dilengkapi dengan arah aliran air limbah domestik yang masuk ke *manhole* hulu di bagian jalur pipa yang menerimanya.

- c. Tingkat pelayanan dinyatakan dengan persentase jumlah penduduk kawasan tertentu dan/atau jumlah sambungan rumah yang dilayani oleh suatu jalur pipa.

Tahap 2. Pelaksanaan survei bawah tanah dan penyelidikan geologi teknik

Pelaksanaan survei bawah tanah dan penyelidikan geologi teknik dilaksanakan untuk memperoleh informasi kondisi penggalian saluran dan pemasangan pipa pengumpulan. Kegiatan ini dilaksanakan di beberapa lokasi, pada jalur pipa pengumpulan yang direncanakan, dengan kedalaman yang telah ditentukan.

- a. Pelaksanaan survei bawah tanah dilaksanakan untuk memperoleh informasi kondisi jalur pengumpulan air limbah.

Data survei bawah tanah terdiri dari:

1. Pendataan bangunan yang berada di jalur pipa pengumpulan; dan
 2. Utilitas bawah tanah, yang terdiri atas letak dan ukuran pipa air minum, gas, dan air limbah domestik, kabel listrik dan telepon, jalur kendaraan di jalan, dan struktur lain yang dapat mempengaruhi konstruksi bawah tanah. Struktur tersebut harus ditempatkan dengan mengacu pada suatu titik permanen di atas muka tanah. Untuk pipa air minum, gas, dan air limbah domestik, elevasi bagian atas pipa harus dicatat. Namun, data elevasi pipa ditetapkan pada dasar pipa, bukan bagian atas pipa.
- b. Penyelidikan geologi teknik dilaksanakan untuk menentukan desain pemasangan

pipa dan penentuan metode konstruksi pipa. Data penyelidikan geologi teknik terdiri dari:

1. kedalaman muka air tanah;
2. jenis lapisan tanah yang akan digali;
3. kualitas tanah; dan
4. daya dukung tanah.

Penyelidikan geologi teknik dibagi menjadi 2 (dua) pekerjaan utama yaitu pekerjaan lapangan dan pekerjaan laboratorium, dengan uraian sebagai berikut:

1. Pekerjaan Lapangan

Terdiri dari pekerjaan pengeboran dan pengambilan contoh tanah serta pengujian *Standard Penetration Test*(SPT) pada kedalaman lubang bor. Pengeboran dilakukan di beberapa lokasi dengan kedalaman bergantung pada kondisi lapangan dan rencana kedalaman pemasangan pipa air limbah domestik. SPT pada lubang bor dilakukan setiap interval kedalaman 2 meter dan pengambilan contoh untuk tanah tidak terganggu dilakukan sebanyak satu kali untuk setiap lubang bor. Sedangkan pengamatan visual untuk tanah terganggu dilakukan sepanjang kedalaman pengeboran. Dari setiap lubang bor juga akan diketahui tinggi muka air tanah.

2. Pekerjaan Laboratorium

Contoh tanah terganggu dan tidak terganggu yang diperoleh dari hasil pengeboran di lapangan, akan dibawa ke laboratorium untuk dilakukan beberapa pengujian yang meliputi:

- a) Kadar air (ω);
- b) Berat isi (γ);
- c) Berat Jenis (Gs);
- d) *Unconfined Compression Test*:
 - 1) Kohesi(c);
 - 2) Sudut geser (ϕ);
 - 3) Analisa saringan;
- e) Proctor Test:
 - 1) Optimum Moisture Content (ω . Opt);
 - 2) Dry Maximum Density (γ_d . Max).

Tahap 3. Pemetaan daerah atau kawasan pelayanan air limbah domestik

Pemetaan daerah pelayanan air limbah domestik terdiri dari beberapa kegiatan antara lain:

- a. Penentuan
Penentuan batas daerah atau kawasan pelayanan berdasarkan beberapa pertimbangan antara lain kondisi perkembangan ekonomi dan kondisi perkembangan politik dan sosiologi;
- b. pemetaan usulan Sub-sistem Pengumpulan air limbah domestik, yang berisikan informasi antara lain:
 - 1. elevasi dari lahan atau persil dan ruang bawah tanah;
 - 2. struktur tata bangunan yang telah terbangun, apabila tidak melalui bangunan dengan atap datar atau pabrik;
 - 3. rencana pemasangan pipa pengumpulan air limbah domestik;
 - 4. garis batas kepemilikan;

5. lebar jalan diantara garis kepemilikan dan diantara garis kelokan;
6. lebar dan tipe jalan untuk pejalan kaki dan yang diaspal;
7. jalur jalan kendaraan mobil dan jalan kereta api;
8. struktur bawah tanah yang telah ada, seperti saluran pengumpul air limbah domestik, pipa air minum, dan kabel telepon;
9. lokasi struktur yang dapat memberikan hambatan dalam desain saluran seperti jembatan, terowongan kereta api, penggalian yang dalam, dan gorong-gorong;
10. lokasi outlet saluran yang memungkinkan; dan
11. lokasi IPALD.

Tahap 4. Perencanaan terinci lokasi peletakan pipa air limbah domestik

Perencanaan terinci lokasi peletakan perpipaan air limbah domestik dilaksanakan dengan mempertimbangkan persyaratan teknis berikut:

- a. kemudahan dalam pengoperasian dan pemeliharaan;
- b. biaya konstruksi;
- c. kedalaman pipa:
 1. kedalaman perletakan pipa minimal diperlukan untuk perlindungan pipa dari beban di atasnya dan gangguan lain;
 2. kedalaman galian pipa:
 - a) persil >0.4 m (beban ringan), > 0.8 m (beban berat);
 - b) pipa service 0.75 m; dan
 - c) pipa lateral (1-1.2) m;

3. kedalaman maksimal pipa induk untuk *open trench* 7m atau dipilih kedalaman ekonomis atas pertimbangan biaya dan kemudahan atau resiko pelaksanaan galian dan pemasangan pipa.

Tahap 5. Perhitungan debit timbulan air limbah domestik per blok pelayanan

Perhitungan debit timbulan air limbah domestik berdasarkan pemakaian air minum yang menjadi air limbah domestik pada setiap blok pelayanan (60-80% pemakaian air bersih). Perhitungan debit timbulan air limbah domestik dilaksanakan dengan langkah berikut ini:

a. Penentuan debit desain

1. Debit air limbah permukiman

Debit air limbah domestik permukiman adalah debit air limbah domestik yang berasal dari rumah tangga yang akan dibuang ke saluran pengumpul. Debit air limbah domestik yang akan dibuang berkisar antara berkisar antara 60-80% dari debit air minum.

$$Q_{permukiman} = (60 - 80\%) \times Q_{air\ minum}$$

Keterangan:

$Q_{air\ minum}$ = pemakaian air minum (L/org/hr)

$Q_{permukiman}$ = debit air limbah domestik (L/org/hr)

Adanya kehilangan 20-40% dalam pemakaian ini karena air minum tidak hanya digunakan untuk keperluan primer seperti mandi, cuci, makan, tetapi juga untuk keperluan

lain seperti menyiram tanaman atau mencuci kendaraan.

Debit air limbah domestik yang timbul untuk penduduk pada area pelayanan dapat dihitung dengan formulasi berikut.

$$Q_{permukiman} = (60 - 80)\% \times Q_{air\ minum} \times P$$

Keterangan:

$Q_{air\ minum}$ = pemakaian air minum
(L/orang/hr)

$Q_{permukiman}$ = debit air limbah permukiman
(L/hr)

2. Debit Rata-Rata

Debit rata-rata air limbah domestik yaitu total rata-rata keseluruhan debit air limbah domestik yang dihasilkan dari kegiatan penduduk dalam 1000 jiwa penduduk.

$$Q_r = \frac{Q_{permukiman}}{\sum Penduduk / 1000\ jiwa}$$

3. Debit air limbah domestik kawasan

Debit air limbah domestik kawasan yaitu debit air limbah domestik yang berasal dari bangunan sosial seperti rumah sakit, sekolah, bangunan komersial, dan perkantoran.

$$Q_{kawasan} = (60 - 80)\% \times Q_{air\ minum\ kawasan}$$

Keterangan:

$Q_{air\ minum\ kawasan}$ = Kebutuhan air minum kawasan
(L/hr)

$Q_{kawasan}$ = Debit air limbah kawasan (L/hr)

Kebutuhan air minum untuk kawasan tertentu diperkirakan

menggunakan nilai pemakaian air per orang yang sesuai dengan penggunaan gedung yang direncanakan. Nilai tersebut tercantum pada Tabel 33.

Tabel 33 Kebutuhan air minum untuk kawasan tertentu

No.	Penggunaan gedung	Pemakaian air	Satuan
1	Rumah susun	100	Liter/penghuni/hari
2	Asrama	120	
3	Sekolah dasar	40	Liter/siswa/hari
4	SLTP	50	
5	SMU/SMK	80	
6	Ruko/Rukan	100	Liter/penghuni dan pegawai/hari
7	Kantor/Pabrik	50	Liter/pegawai/hari
8	Kantor/Pabrik	50	Liter/pegawai/hari
9	Toserba, toko pengecer	5	Liter/m ²
10	Restoran	15	Liter/kursi
11	Hotel berbintang	250	Liter/tempat tidur/hari
16	Stasiun, terminal	3	Liter/penumpang tiba dan pergi
17	Peribadatan	5	Liter/orang

b. Penentuan debit pada pipa pengumpul

1. Debit Pipa Persil

$$Q_{pr} = P \times Q_r$$

$$Q_{pm} = \frac{1}{5} \times P^{1.2} \times Q_r$$

$$Q_{pp} = 5 \times P^{0.5} \times Q_{md}$$

$$Q_{md} = F_{md} \times Q_r$$

Keterangan:

- Q_{pr} = Debit rata-rata pipa persil (L/detik)
- Q_{pm} = Debit minimum pipa persil (L/detik)
- Q_{pp} = Debit puncak pipa persil (L/detik)
- Q_r = Debit air limbah rata-rata per 1000 penduduk (L/detik/ 1000 jiwa)
- Q_{md} = Debit air limbah hari maksimum per 1000 penduduk (L/detik/1000 jiwa)
- P = Populasi dalam ribuan

2. Debit Pipa Lateral

$$Q_{LR} = P \times Q_r$$
$$Q_{LM} = \frac{1}{5} \times P^{1.2} \times Q_r$$
$$Q_{LP} = 0.5 \times n \times Q_{pp}$$

Keterangan:

- Q_{LR} = Debit rata-rata pipa lateral (L/detik)
- Q_{LM} = Debit minimum pipa lateral (L/detik)
- Q_{LP} = Debit puncak pipa lateral (L/detik)
- N = Jumlah sambungan rumah

3. Debit Pipa Servis

Menghitung debit air limbah maksimum di pipa servis

$$Q_{S maks} = \left[\frac{4 \times m \times x}{(2 \times m \times x) + x + 1} \right] \times Q_{LPR}$$
$$x = \frac{\text{jumlah populasi pelayanan pipa lateral}}{\text{populasi pelayanan rata – rata } \times \text{pipa servis}}$$

- m = Jumlah jalur pipa servis
- Q_{LPR} = Debit puncak pipa lateral (L/detik)

$Q_{S \text{ maks}}$ = Debit maksimum pipa servis (L/detik)

$Q_{S \text{ min}}$ = Debit minimum pipa servis (L/detik)

Q_{SP} = Debit puncak pipa servis (L/detik)

4. Debit Air Limbah Pipa Induk

Perhitungan debit air limbah pipa induk ditentukan berdasarkan debit puncak air limbah dalam satu hari

Debit puncak ini digunakan untuk menentukan dimensi saluran air limbah yang direncanakan agar dapat menyalurkan air limbah pada kondisi puncak. Rumus yang akan digunakan untuk menghitung Q_{peak} sebagai berikut.

$$Q_{\text{peak}} = Q_{MD} + Q_{\text{Infiltrasi Surface}} + Q_{\text{Infiltrasi Saluran}}$$

Keterangan:

Q_{peak} = Debit puncak (L/detik)

Q_{MD} = Debit hari maksimum (L/detik)

$Q_{\text{infiltrasi surface}}$ = Debit infiltrasi daerah pelayananan (L/detik)

$Q_{\text{infiltrasi saluran}}$ = Debit minimum pipa servis (L/detik)

Debit puncak ditentukan berdasarkan debit harian maksimum dan debit infiltrasi.

Debit harian maksimum (Q_{MD}) adalah debit air limbah domestik yang dihasilkan dari pemakaian air bersih untuk domestik dan non domestik yang paling maksimum dalam satu hari selama satu tahun.

Rumus yang digunakan untuk menghitung Q_{MD} :

$$Q_{MD} = 5 \times F_{MD} \times Q_R$$

Keterangan :

- Q_{MD} = Debit hari maksimum (L/detik)
 F_{MD} = Faktor hari maksimum (1,15 – 1,5)
 Q_R = Debit rata-rata (L/detik)

Debit infiltrasi merupakan debit air limbah domestik akibat adanya infiltrasi air permukaan dan air hujan. Infiltrasi ini tidak dapat dihindarkan akibat beberapa hal yakni kondisi tanah dan alirah iar tanah, adanya celah *manhole* dan bangunan pelengkap, serta pekerjaan sambungan pipa yang kurang sempurna.

Debit infiltrasi terbagi menjadi dua macam, yaitu:

a) Debit Infiltrasi *Surface*

Debit Infiltrasi *Surface* yaitu infiltrasi daerah pelayanan dengan koefisien infiltrasi (C_r) untuk Indonesia berkisar antara 0,1 – 0,3.

$$Q_{infiltrasi\ surface} = C_r \times Q_R$$

Keterangan:

- C_R = Koefisien infiltrasi (0.1 – 0.3)
 Q_R = Debit rata-rata (L/detik)

b) Debit Infiltrasi Saluran

Debit Infiltrasi Saluran yaitu infiltrasi yang terdapat disepanjang saluran air limbah domestik.

$$Q_{Infiltrasi\ Saluran} = \frac{L}{1000} \times Q_R$$

Keterangan :

$Q_{infiltrasi\ saluran}$	=	Debit infiltrasi (1-3)
		(L/detik/1000m)
L	=	Panjang saluran (m)
Q_R	=	Debit rata-rata (L/detik)

Pertimbangan besarnya Q_{inf} dalam beberapa literatur:

- 1) Berdasarkan American Society of Civil Engineering (ASCE) dan Water Pollution Control Federation (WFCF) (0,05 – 4,73) lt / dt / 1000 m panjang pipa.
- 2) Berdasarkan Prof. Ir. Mertonegoro (2 – 3) lt / dt / 1000 m panjang pipa.

Tahap 6. Perhitungan dimensi pipa air limbah domestik

Perhitungandimensi pipa air limbah domestik dilaksanakan berdasarkan debitpada tiap jalur pipa yang berasal dari berbagai sumber air limbah. Desain kapasitas pada setiap bagian pipa ditentukan berdasarkan perhitungan debit rata-rata, debit minimal, debit maksimal dan debit puncak dari permukiman, kawasan dan infilltrasi. Data debit ini digunakan lebih lanjut dalam lembar perhitungan desain hidraulika. Desain hidraulika dibuat dalam lembar perhitungan tersendiri, untuk memperoleh diameter pipa, kemiringan pipa, kecepatan aliran dalam pipa, elevasi invert saluran, dan kebutuhan bangunan pelengkap.

Penentuan diameter pipa dilaksanakan dengan langkah berikut:

- a. Perhitungan Kecepatan dan Kemiringan Pipa (bagian dari desain hidraulika)
Kemiringan pipa minimal diperlukan agar di dalam pengoperasiannya diperoleh kecepatan pengaliran minimal dengan daya pembilasan sendiri (*tractive force*) guna mengurangi gangguan endapan di dasar pipa, koefisien kekasaran *manning* untuk berbagai bahan pipa yang terdapat pada Tabel berikut.

Tabel 34 Koefisien Kekasaran Pipa

No	Jenis Saluran	Koefisien Kekasaran Manning (n)
1	Pipa Besi Tanpa Lapisan	0.012 – 0.015
	Dengan Lapisan Semen	0.012 – 0.013
	Pipa Berlapis Gelas	0.011 – 0.017
2	Pipa Asbestos Semen	0.010 – 0.015
3	Saluran Pasangan Batu Bata	0.012 – 0.017
4	Pipa Beton	0.012 – 0.016
5	Pipa Baja Spiral dan Pipa Kelingan	0.013 – 0.017
6	Pipa Plastik Halus (PVC)	0.002 – 0.012
7	Pipa Tanah Liat (<i>Vitrified Clay</i>)	0.011 – 0.015

Tabel 35 Kecepatan Pengaliran Pipa Minimal Saat *Full Flow*

Diameter (mm)	Kecepatan <i>Self Cleansing</i> (m/ dtk)	
	n=0,013	n=0,015
200	0,47	0,41
250	0,49	0,42
300	0,50	0,44

Diameter (mm)	Kecepatan <i>Self Cleansing</i> (m/dtk)	
	n=0,013	n=0,015
375	0,52	0,45
450	0,54	0,47

Kemiringan pipa minimal praktis untuk berbagai diameter atas dasar kecepatan 0.60 m/dtk saat pengaliran penuh terdapat pada Tabel berikut.

Tabel 36 Kemiringan Minimal

Diameter (mm)	Kemiringan Minimal (m/ m)	
	n = 0,013	n=0,015
200	0,0033	0,0044
250	0,0025	0,0033
300	0,0019	0,0026
375	0,0014	0,0019
450	0,0011	0,0015

Atau dapat dihitung dengan formulasi berikut:

$$S_{\min} = 0,01 \times Q^{0,667} \text{ atau}$$

$$S_{\min} = \frac{2}{3DD}$$

Keterangan:

S_{min} = Kemiringan minimum (m/m)

D = Diameter (mm)

Q = Debit air buangan (L/dtk)

Kecepatan aliran minimum 0,6 m/dtk dan maksimum 3 m/dtk.

Kemiringan muka tanah yang lebih curam dari kemiringan pipa minimal, dapat dipakai sebagai kemiringan desain selama

kecepatannya masih di bawah kecepatan maksimal.

b. Hidraulika Pipa

1. Metode atau formula desain pipa pengaliran penuh (*full flow*) yang digunakan dalam pedoman ini yaitu *Manning*;

2. Ada 4 parameter utama dalam mendesain pipa *full-flow*, dengan kaitan persamaan antar parameter sebagai berikut:

a) Debit, Q_F (m^3/dtk)

$$\begin{aligned} Q_F &= \frac{12.5505 \cdot n^3 \cdot V_f^4}{S^{1.5}} \\ &= 0.785 V_F (D/1000)^2 \\ &= \frac{0.3116 \cdot (D/1000)^{16/3} \cdot S^{0.5}}{n} \end{aligned}$$

b) Kecepatan, V_F (m/dtk)

$$\begin{aligned} V_F &= \frac{0.397}{n} (D/1000)^2 S^{0.5} \\ &= \frac{1.2739 Q_F Q_f}{(D/1000)^2} \\ &= \frac{0.5313}{n^{0.75}} Q_F^{0.25} S^{3/8} \end{aligned}$$

c) Kemiringan, S (m/m)

$$S = \frac{10.3 L (n Q_F)^2}{(D/1000)^{16/3}} = \frac{6.3448 (n V_F)^2}{[(D/1000)/4]^{4/3}} = \frac{5.4454 n^2 V_F^{8/3}}{Q_F^{2/3}}$$

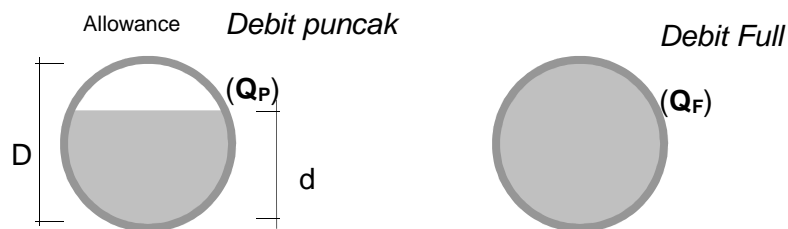
d) Diameter, D (mm)

$$D = \frac{1.5485 (n Q_F)^{3/8}}{S^{3/16}} = \frac{1.1287 Q_F^{0.5}}{V_F^{0.5}} = \frac{3.9977 \times n^{1.5} \times V_F^{1.5}}{S^{0.75}}$$

Pemakaian formula diatas dapat menggunakan Nomogram untuk berbagai koefisien *Manning*.

3. Pengaliran di dalam pipa air limbah domestik adalah pengaliran secara gravitasi (tidak bertekanan), kecuali pada bangunan perlintasan (sifon) dan apabila ada pemompaan.

4. Pada pengaliran secara gravitasi, air limbah hanya mengisi penampang pipa dengan maksimal d/D (kedalaman air dalam pipa/Diameter pipa) = 0,6-0,8.
5. Dari hasil perhitungan debit puncak (dengan infiltrasi), maka debit *full* dapat diperoleh dengan menggunakan Nomogram, $Q_F = Q_P + allowance$.



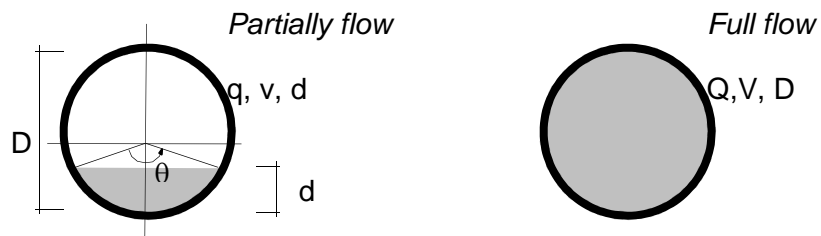
Gambar 21 Perbedaan debit puncak dengan debit *full*

Dari data kemiringan pipa rencana (S) dan debit full (Q_F), dengan menggunakan formula kecepatan dan diameter pipa di atas dapat dihitung diameter (D) dan kecepatan pipa (V_F).

6. v/V_F dan d/D dihitung dengan formula berikut:

$$\left(\frac{1}{\pi}\right) \times \frac{1}{\text{Arc Cos} \pi \theta}^{0.667} \times [\text{Arc Cos} \pi \theta - \text{Sin}(\text{Arc Cos} \pi \theta) \times \text{Cos}(\text{Arc Cos} \pi \theta)]^{1.667}$$

$\theta = (1-2 \times d/D)$ dalam radian:



Gambar 22 Perbedaan *partially flow* dan *full flow*

7. Perhitungan hidraulika pipa bisa dilakukan secara manual atau menggunakan perhitungan cepat dengan aplikasi berbasis komputer.

Tahap 7. Pemilihan bahan pipa

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan bahan pipa:

- a. umur ekonomis;
- b. resistensi terhadap korosi (kimia) atau abrasi (fisik);
- c. koefisiensi kekasaran (hidraulik);
- d. kemudahan pengangkutan dan penanganan di lapangan;
- e. kekuatan struktur;
- f. biaya suplai, transpor dan pemasangan;
- g. ketersediaan di lapangan;
- h. ketahanan terhadap disolusi di dalam air;
- i. kedapantan dinding; dan
- j. kemudahan pemasangan sambungan.

Bentuk penampang pipa yang digunakan dapat berbentuk bundar, empat persegi panjang atau bulat telur.

Pipa yang dapat dipakai untuk penyaluran air limbah domestik yaitu *Vitrified Clay* (VC), *Asbestos Cement* (AC), *Reinforced Concrete* (RC), *Stell*, *Cast Iron*, *High Density Poly Ethylene* (HDPE), *Unplasticised Polyvinylchloride* (uPVC) dan *Glass Reinforced Plastic* (GRP).

a. Pipa Beton

1. Aplikasi

Pada pengaliran gravitasi (lebih umum) dan bertekanan

- a) Untuk pembuatan sifon.
- b) Pada pipa induk, beton bertulang juga dipakai dengan diameter

lebih besar daripada PVC maksimal, dengan *lining* plastik atau epoksi (diproses monolit di pabrik) atau cat bitumen (*coal tar epoxy*) (dilakukan setelah instalasi di lapangan).

2. Ukuran dan Panjang Pipa

a) Pipa pracetak dengan diameter di atas 600 mm harus dipasang dengan tulangan, meskipun pada diameter yang lebih kecil tetap dibuat beton bertulang.

b) Untuk konstruksi beton bertulang (pracetak), diameter dan panjang yang tersedia di lapangan:

1) Diameter: [(300) – 600 – 2700] mm;

2) Panjang : 1.8 m untuk diameter < 375 mm;

3) Panjang : 3 m untuk diameter > 375 mm;

4) Tersedia 5 kelas berdasarkan pada kekuatan beban eksternal.

c) Untuk konstruksi beton tidak bertulang (pracetak)

1) Diameter : (100 - 600) mm

2) Panjang : (1.2 – 7.3) m

3. Sambungan

a) *Tongue* dan *Groove* (khusus beton bertulang)

1) Untuk diameter >760 mm.

2) Dengan menggunakan sambungan senyawa *mastic* atau gasket karet yang membentuk *seal* kedap air

dengan *plastic* atau tar panas *mastic*, *clay tile*, atau senyawa asphatik.

- b) *Spigot* dan Soket dengan semen
 - 1) untuk diameter (305-760) mm;
 - 2) ekonomis; dan
 - 3) mudah pemasangannya;
 - c) Cincin karet fleksibel.
- b. Pipa *Cast Iron*
- 1. Aplikasi
 - a) Bangunan layang diatas tanah (perlintasan sungai, jembatan, dan sebagainya).
 - b) Stasiun pompa.
 - c) Pengaliran lumpur
 - d) Pipa bertekanan.
 - e) Pada tanah yang bermasalah dengan akar pepohonan.
 - f) Tidak cocok apabila diaplikasikan pada:
 - 1) daerah payau;
 - 2) sambungan rumah karena biaya mahal; dan
 - 3) daerah dengan tanah mengandung sulfat.
 - 2. Diameter dan Panjang Tersedia
 - a) Diameter: (3 – 68) *inch* (*Mueller*).
 - b) Panjang: 3.6 m.
 - 3. Sambungan
 - a) *Flanged* dan *Spigot*.
 - b) *Flanged* dan *Soket*.
 - c) *Tarred Gasket* dengan *Cauled Lead*.
- c. *Vitrified Clay Pipe* (VCP)
- 1. Aplikasi
 - a) Untuk pipa pengaliran gravitasi.

- b) Sebagai sambungan rumah (SR)
 - 1) SR pipa standar; dan
 - 2) SR pipa dengan *riser vertical*.
- 2. Diameter dan Panjang Tersedia
 - a) Diameter: (100 – 1050) mm dan (100 – 375) mm.
 - b) Panjang: (0.6 – 1.5) m.
 - c) Tersedia dalam bentuk standard dan ekstra kuat.
- d. Pipa Plastik (Bahan PVC dan PE)
 - 1. Aplikasi
 - a) PVC: untuk sambungan rumah dan pipa cabang.
 - b) PE: untuk daerah rawa attau persilangan di bawah air.
 - 2. Klasifikasi
 - a) Standar JIS K 6741-1984
 - 1) Klas D/VU dengan tekanan 5 Kg/cm².
 - 2) Klas AW/VP dengan tekanan 10 Kg/cm².
 - b) Standar SNI 0084-89-A/SII-0344-82
 - 1) Seri S-8 dengan tekanan 12.5 Kg/cm².
 - 2) Seri S-10 dengan tekanan 10 Kg/cm².
 - 3) Seri S-12.5 dengan tekanan 8 Kg/cm².
 - 4) Seri S-16 dengan tekanan 6.25 Kg/cm².

Pemilihan klas diatas tergantung pada beban pipa dan tipe *bedding* dan dalam kondisi pengaliran secara gravitasi atau dengan adanya pompa (tekanan).

- 3. Diameter dan Panjang Tersedia
 - a) Diameter sampai dengan 300 mm; dan
 - b) Panjang standar 6 m.

Tahap 8. Perencanaan bangunan pelengkap

- a. Perencanaan *manhole* dengan kegiatan antara lain:
 - 1. Penentuan lokasi *manhole*
 - a) Pada jalur saluran yang lurus, dengan jarak tertentu bergantung diameter saluran, tetapi perlu disesuaikan terhadap panjang peralatan pembersih yang akan dipakai.
 - b) Pada setiap perubahan kemiringan saluran, perubahan diameter, dan perubahan arah aliran, baik vertikal maupun horizontal.
 - c) Pada lokasi sambungan, persilangan atau percabangan (*intersection*) dengan pipa atau bangunan lain.

Tabel 37 Jarak antar *manhole* pada jalur lurus

Diameter (mm)	Jarak antar MH (m)
(20 - 50)	50 - 75
(50 - 75)	75 - 125
(100 - 150)	125 - 150
(150 - 200)	150 - 200
1000	100 - 150

- 2. Penentuan jenis *manhole*

- a) *Manhole* dangkal: kedalaman (0,75-0,9) m, dengan cover kedap.
- b) *Manhole* normal: kedalaman 1,5 m, dengan cover berat.
- c) *Manhole* dalam: kedalaman di atas 1,5 m, dengan cover berat.
Manhole dalam dapat diklasifikasikan lagi sesuai dengan kedalaman, ketebalan dinding, keberadaan *drop*, keberadaan pompa, dan lain-lain sesuai dengan kebutuhan.

3. Penentuan jenis *manhole* khusus:

- a) *Junction chamber*;
- b) *Drop manhole*;
- c) *Flushing manhole*;
- d) *Pumping manhole*.

Hal yang perlu direncanakan dalam merencanakan *manhole* sebagai berikut:

1. Eksentrisitas

- a) Eksentrisitas *manhole* pada suatu jalur sistem perpipaan tergantung pada diameter salurannya.
- b) Untuk pipa dimensi besar ($D > 1,20$ m), *manhole* diletakkan secara eksentrik agar memudahkan operator turun ke dasar saluran.
- c) Untuk pipa dimensi kecil [D (0,2-1,2) m], *manhole* diletakkan secara sentrik, langsung di atas pipa.

2. Bentuk *Manhole*

Pada umumnya bentuk *manhole* empat persegi panjang, kubus atau bulat.

3. Dimensi *Manhole*

- a) Dimensi horizontal harus cukup untuk melakukan pemeriksaan dan pembersihan dengan masuk ke dalam saluran. Dimensi vertikal tergantung pada kedalamannya.
- b) Lubang masuk (*access shaft*), minimal 50 cm x 50 cm atau diameter 60 cm.
- c) Dimensi minimal di sebelah bawah lubang masuk.
 - 1) Untuk kedalaman sampai 0,8 m: 75 cm x 75 cm.
 - 2) Untuk kedalaman (0,8-2,1) m: 120 cm x 90 cm atau diameter 1,2 m.
 - 3) Untuk kedalaman > 2,1 m: 120 cm x 90 cm atau diameter 140 cm.

Manhole D 80 cm untuk dimensi pipa kurang dari 800 mm dan dipasang disetiap 100m pipa lurus atau dibelokan dan pertemuan pipa.

4. Tangga Lubang Kontrol (*Manhole step* atau *ladder ring*)

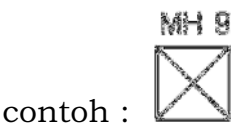
- a) Perlengkapan ini merupakan sebuah tangga besi yang dipasang menempel di dinding *manhole* sebelah dalam untuk keperluan operasional.
- b) Dipasang vertikal dan zig zag 20 cm dengan jarak vertikal masing-masing (30-40) cm.

5. Dasar Bagian Dalam Lubang Kontrol
(*Bottom invert*)

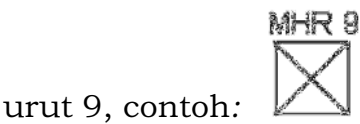
Dasar *manhole* pada jalur pipa dilengkapi saluran terbuka dari beton berbentuk U (cetak di tempat) dengan konstruksi dasar setengah bundar menghubungkan invert pipa masuk dan ke luar. Ketinggian saluran U dibuat sama dengan diameter saluran terbesar dan diberi *benching* ke kanan/kiri dengan kemiringan 1 : 6 hingga mencapai dinding *manhole*.

6. Notasi

a) *Manhole* yang ada, dengan nomor
urut 9,



b) *Manhole* rencana, dengan nomor



b. Bangunan penggelontor

Di setiap garis pipa pada kecepatan pembersihan (*self cleansing*) tidak tercapai akibat kemiringan tanah/pipa yang terlalu landai atau kurang kapasitas aliran. Hal ini dapat dilihat melalui tabel kalkulasi dimensi pipa.

Tabel 38 Alternatif Kapasitas Air Penggelontor

Kemiringan	Kebutuhan air (liter) untuk diameter pipa		
	20 cm	25 cm	30 cm
1:200	2240	2520	2800

1:133	1540	1820	2240
1:100	1260	1540	2240
1:50	560	840	930
1:33	420	560	672

- c. Pipa perlintasan (*Siphon*)
- Pipa perlintasan berupa bangunan perlintasan, seperti pada sungai/kali, jalan kereta api, atau *depressed highway*.
1. Inlet dan outlet (box)
- Berfungsi sebagai pengendalian debit dan fasilitas pembersihan pipa.
2. *Depressed sewer* (pipa *siphon*)
- a) Berfungsi sebagai perangkat, sehingga kecepatan pengaliran harus cukup tinggi, di atas 1 m/detik pada saat debit rata-rata.
- b) Terdiri dari minimal 3 bagian pipa *siphon* dengan dimensi yang berbeda, minimal 150 mm. Pipa ke 1 didesain dengan Q_{min} , pipa ke 2 didesain dengan $(Q_r - Q_{min})$ dan pipa ke 3 didesain dengan $(Q_p - Q_r)$.
- d. Stasiun pompa
- Manfaat adanya *pumping well* akan membuat air limbah domestik yang akan dipompa masuk terlebih dahulu ke rumah pompa dan ditampung sementara di dalam tangki yang disebut *wet well*. Unit ini diperlukan karena debit pompa sulit disamakan dengan debit masuk.
1. Interior *Pumping Well*, yaitu:
- a) Terdiri dari kompartemen yang basah (untuk menampung

sementara air limbah domestik) dengan pompa selam atau terpisah dalam kompartemen kering (sebagai tempat pompa).

- b) Paling baik memasang pompa di dalam *dry pit* dengan pipa isap berada di bawah muka air terendah pada *pumping well* terdekat agar dapat meniadakan *priming*. Pengoperasian pompa secara otomatis diatur dengan pelampung pada bagian basah.
- c) Semua bagian *wet well*, aksesnya harus mudah, dilengkapi *manhole* dan tangga.
- d) *Slope* dasar *wet well* dibuat 1 : 1 ke arah pipa isap agar dapat dicegah akumulasi padatan.
- e) Kedalaman *wet well* (1,5-2) m, dan tergantung pada posisi pipa yang masuk.
- f) Sebuah *gate-valve* dipasang pada pipa masuk untuk menutup aliran bila terjadi perbaikan di dalam *wet well*.

2. *Lay-out Pumping Well*

Paling baik memasang pompa di dalam *dry well/pit* dengan pipa isap berada di bawah muka air terendah pada *wet well* terdekat agar dapat meniadakan *priming*. Pengoperasian pompa secara otomatis diatur dengan pelampung pada *wet well*.

3. Kapasitas Sumur Basah/ *Wet well*

- a) Kapasitas *wet well* tergantung pada waktu pengoperasian, jumlah pompa dan waktu siklus.

- b) Waktu siklus >4 menit, berarti dalam 1 jam terjadi <15 kali *start*.
- c) Waktu pengoperasian pompa >(15-20) menit.
- d) Kapasitas efektif *wet well* guna memberikan periode *holding* tidak lebih dari 10 menit pada desain rata-rata.
- e) Volume atas dasar waktu siklus

$$V = \frac{900Q_p}{S}$$

Keterangan:

- V = volume antara level switch-on dan *switch-off*, m³
- S = waktu siklus
- ≤ 6 kali untuk dry pit motor ≤ 20 kW
 - 4 kali untuk dry pit motor (25-75) kW
 - 2 kali untuk dry pit motor (100-200) kW
 - 10 kali untuk pompa selam
- Q_p = debit pompa, m³/detik
(debit jam puncak inflow)

4. Jenis Pompa

Pompa Sentrifugal merupakan jenis yang umum digunakan untuk memompa air limbah domestik karena tidak mudah tersumbat. Penggunaan pompa rendam (*submersible*) untuk air limbah domestik lebih baik, karena mencegah terjadinya kavitasi, sebagaimana sering terjadi pada penggunaan pompa non *submersibel*

dengan posisi *head negatif* (posisi pompa berada diatas permukaan air).

5. Kapasitas (Debit)

Kapasitas atau debit pompa adalah volume cairan yang dipompa dalam satuan m³/detik, atau L/detik. Debit desain pompa adalah debit jam puncak.

6. Hidrolika pompa

a) Data yang dibutuhkan

- 1) Elevasi pipa tekan (*discharge*).
- 2) Elevasi garis pusat pompa.
- 3) Elevasi muka air *wet well* saat pompa *off* (volume air minimal).
- 4) Elevasi muka air *wet well* saat pompa *on* (volume air maksimal).
- 5) Pada pipa isap dan tekan, masing-masing diameter pipa, bahan pipa, panjang pipa, jumlah dan macam fitting (aksesoris).
- 6) Debit desain.

b) Daya pompa

$$P_{ip} = Q \cdot \rho_T \cdot g \cdot H / e_p$$

$$P_{im} = P_{ip} / e_m$$

Keterangan:

P_{ip} = power input ke pompa, W

P_{im} = Power input ke motor, W

Q = Debit (m³/detik)

ρ_T = Massa jenis air (997 kg/m³)

g = Gravitasi (9.8 l.m / dtk²)

H = Total dynamic head,
Manometric head (m)

$$H = H_{\text{stat}} + h_f + h_m + h_v$$

H_{stat} = beda muka air hisap dan tekan, m

h_f = kehilangan tekanan akibat gesekan air pada pipa, m

h_m = Minor loss , m

Catatan:

$$h_f = \frac{\left(\frac{D}{1000}\right)^{16/3}}{10,3L(nQ)^2}$$

$$h_m = \sum K \frac{v^2}{2g}$$

$$h_v = \frac{v^2}{2g}$$

7. Jumlah Pompa dan Sumber Power/Daya

- a) Mempunyai ≥ 2 unit pompa
 - 1) Walaupun hanya pada stasiun/ rumah pompa kecil.
 - 2) Lebih efisien bila mempunyai ≥ 3 unit pompa, terutama dalam mengatasi variasi debit.
 - 3) Apabila menggunakan 2 unit, kapasitas masing-masing unit dibuat sama atas dasar debit desain.
- b) Mempunyai 2 sumber power atau stasiun pompa
Motor listrik sebagai sumber power utama dan *internal-combustion engine* (generator) sebagai *stand-by*.

8. Perpipaian pada Pompa

- a) Kecepatan Pengaliran
 - 1) Pipa isap (0,6 - 2,5) m/dtk, umumnya 1,5 m/dtk.
 - 2) Pipa tekan (1 - 2,5) m/dtk.
- b) Periksa diameter pipa dengan rumus empiris apabila *head* kecepatan $V^2/2g$ melebihi 0,32 m.

9. Perlengkapan pompa

- a) *Screen* dipasang di depan pompa, terutama apabila limbah yang diolah terdapat banyak sampahnya.
- b) Tambahkan unit *Grit chamber* apabila air limbah banyak mengandung grit.
- c) Berbagai perlengkapan untuk pompa sentrifugal:
 - 1) Sebuah *air-release valve* (valve pelepas tekanan udara) dipasang pada titik tertinggi di dalam *casing* untuk melepaskan udara atau gas.
 - 2) *Gauges* pada pipa tekan dan isap.
 - 3) Sebuah meter pada pipa tekan.
 - 4) Sebuah kurva karakteristik pompa.
 - 5) Sebuah *check-valve* antara *gate valve* dan pompa pada pipa tekan.
- d) Alat otomatis (*floating switches*) sebaiknya digunakan agar pemompaan dapat dilakukan 24 jam secara otomatis.

10. Motor pompa (*pump drive equipment*)

a) Motor Listrik

1) Aplikasi

- (a) Lebih andal, murah dan mudah pemeliharaannya;
- (b) Dipakai untuk *sanitary sewage pump*.

2) Spesifikasi

- (a) tipe atau kelas;
- (b) *phase*;
- (c) daya (kWH);
- (d) tipe *bearing*;
- (e) kecepatan;
- (f) tipe insulasi;
- (g) voltase;
- (h) tipe penggerak;
- (i) frekuensi;
- (j) konstruksi mekanik.

b) Mesin Diesel

1) Dipakai sebagai *stand-by* unit pada *sanitary sewage pump*.

2) Pemilihannya tetap mempertimbangkan biaya energi, biaya konstruksi, kebutuhan O&M, geografis, musim dan sosial.

c) Voltase

Akan lebih ekonomis bila memakai voltase berikut untuk suatu power tertentu:

- 1) (37 - 45) kW memakai 230 V.
- 2) (45 - 150) kW memakai 460 V.

3) >150 kW memakai 23.000 V.

e. Panel dan komponennya

Panel dan komponennya harus menggunakan jenis yang tahan air (*waterproof*). Semua *Circuit Breaker*, peralatan proteksi, beban lebih, relai proteksi, dan pengatur waktu (*timer*) harus ada pada panel pompa air limbah. Semua kabinet panel kontrol, panel daya, *Circuit Breaker*, saklar pengaman, dan peralatan listrik yang lain, harus dilengkapi atau ditempeli plat nama (*name plate*) untuk memudahkan pengenalan.

Pengumpulan air limbah domestik pada kondisi khusus
Pada kondisi daerah tertentu pengumpulan air limbah domestik skala kecil dapat menggunakan alternatif pengumpulan air limbah berikut:

(a) Perpipaan air limbah domestik dangkal (*shallow sewer*)

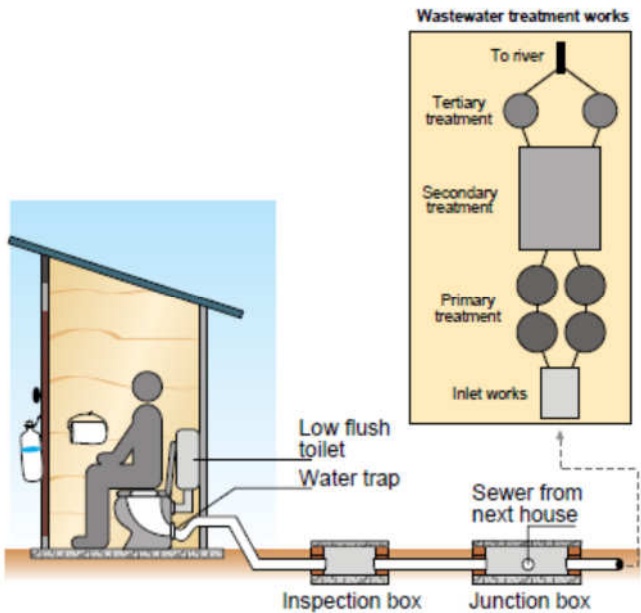
Perpipaan air limbah domestik dangkal menyalurkan air limbah skala kecil, dengan kemiringan pipa yang lebih landai. Perpipaan air limbah domestik dangkal tergantung pada pembilasan air limbah untuk mengangkat buangan padat jika dibandingkan dengan cara konvensional yang mengandalkan *self cleansing*.

Perpipaan air limbah domestik dangkal ini dipertimbangkan untuk daerah perkampungan dengan kepadatan penduduk tinggi yang sebagian besar penduduknya sudah memiliki suplai air bersih dan kamar mandi pribadi. Sistem ini melayani air limbah domestik dari kamar mandi, cucian, pipa servis, pipa lateral serta dilengkapi dengan pengolahan air limbah. Contoh perpipaan air limbah domestik dangkal terdapat pada Gambar

23. Kriteria perencanaan perpipaan air limbah dangkal adalah sebagai berikut:

Tabel 39 Kriteria perencanaan perpipaan air limbah dangkal

No.	Parameter	Keterangan
1	Kepadatan penduduk sedang	>150 jiwa/hektar
2	Suplai air bersih	>60 %
3	Muka air tanah	<1.5 m
4	Kemiringan tanah	<2% (\pm 1%)
5	Diameter basah maksimum	0.8 diameter pipa
6	Diameter basah minimum	0.2 diameter pipa
7	Kemiringan hidrolis minimum	0.006
8	Kedalaman pipa minimum	0.4 m



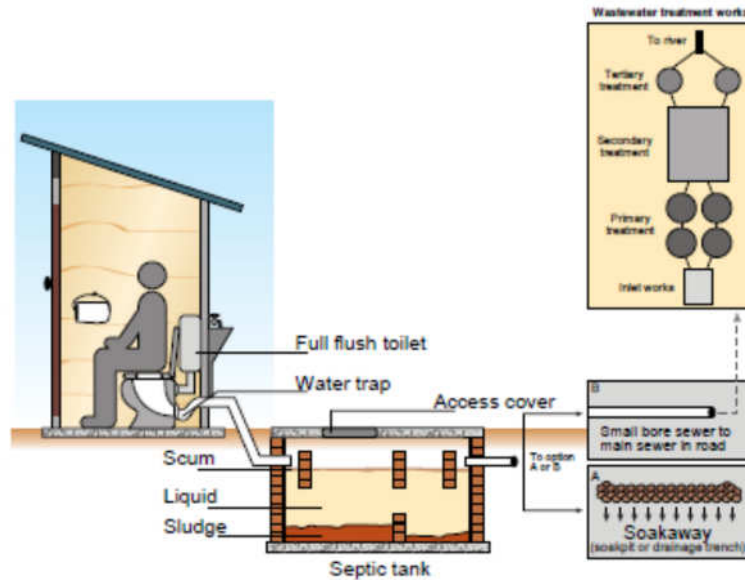
Gambar 23 Perpipaan air limbah dangkal (*shallow sewer*)

(b) Perpipaan air limbah domestik diameter kecil (*Small Bore Sewer*)

Small Bore Sewer didesain untuk menerima air limbah rumah tangga setelah diolah dalam tangki septik dan dari air limbah kamar mandi, cuci dapur sehingga bebas dari zat padat. Outlet tangki septik harus lebih tinggi dari Sub-sistem Pengumpulan. Lumpur tinja yang terakumulasi dalam tangki septik akan harus secara periodik. Saluran ini tidak dirancang untuk *self cleansing*. Pipa yang dipasang hanya pipa persil dan servis menuju Sub-sistem Pengolahan. Pipa lateral dan pipa induk digunakan dalam sistem ini apabila sistem ini diterapkan di daerah perencanaan dengan kepadatan penduduk sangat tinggi. Contoh skema *small bore sewer* terdapat pada Gambar 24. Kriteria perencanaan perpipaan air limbah dengan diameter kecil adalah sebagai berikut:

Tabel 40 Kriteria perencanaan perpipaan air limbah dengan diameter kecil

No.	Parameter	Keterangan
1	Diameter pipa minimal	100 mm (tidak membawa padatan)
2	Kecepatan maksimum (aliran dalam pipa tidak harus memenuhi kecepatan self cleansing, karena tidak membawa padatan)	3 m/detik



Gambar 24 Skema perpipaan air limbah dengan diameter kecil

Small Bore Sewer cocok untuk daerah dengan kepadatan penduduk sedang sampai tinggi (>200 jiwa/ha), terutama untuk daerah yang telah menggunakan tangki septik tapi tanah sekitarnya sudah tidak mampu lagi menyerap efluen tangki septik.

Komponen *Small Bore Sewer* terdiri dari:

- (1) Sambungan Rumah
Dibuat pada inlet tangki septik, semua air limbah domestik memasuki sistem melalui bagian ini.
- (2) Tangki Septik
Didesain untuk menampung aliran sederhana 12-24 jam untuk memisahkan padatan dari cairannya.
- (3) Saluran
Berupa pipa yang berukuran kecil (50-100) mm, dengan kedalaman yang cukup untuk mengalirkan air limbah domestik dari tangki septik dengan sistem gravitasi dan dibuat sesuai dengan topografi yang ada.
- (4) *Manhole*

(*Detailed Engineering Design*) Prasarana Utama pada IPALD, Tahap Perencanaan Anggaran Biaya.

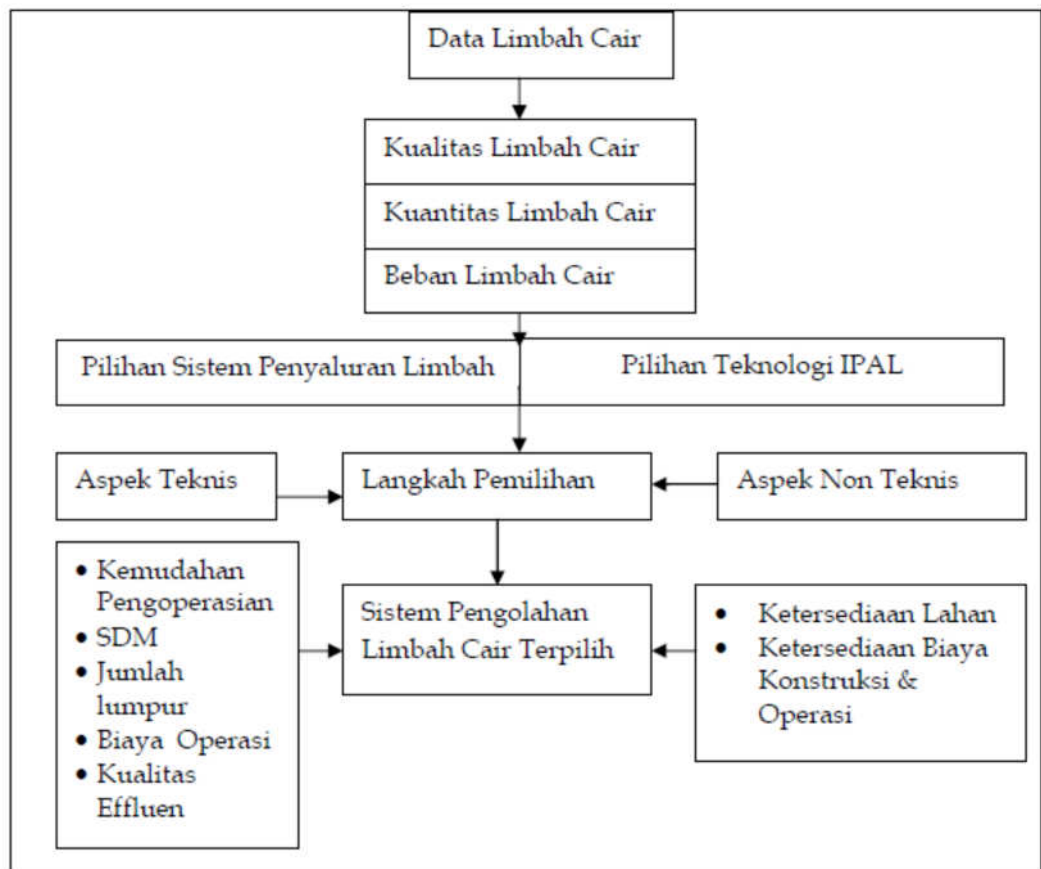
(a) Tahap perencanaan awal

Tahap perencanaan awal merupakan tahap umum perencanaan yang bertujuan untuk menentukan proses dan unit pengolahan yang akan diterapkan pada IPALD, dengan memperhatikan kesesuaiannya terhadap luasan lahan IPALD yang telah ada.

- (1) Menetapkan periode perencanaan IPALD yang akan dibangun yang dihitung berdasarkan tahun awal perencanaan (yaitu tahun awal saat IPALD pertama kali beroperasi) sampai mencapai 100% kapasitas desainnya.
- (2) Menetapkan proses pengolahan IPALD yang akan diterapkan dilengkapi dengan diagram alir.

Proses pengolahan yang akan diterapkan dalam sebuah IPALD ditentukan dengan langkah berikut ini:

- a. Mengumpulkan data mengenai air limbah domestik yang akan diolah, meliputi kualitas dan kuantitas air limbah domestik serta beban organik air limbah domestik.
- b. Menentukan proses pengolahan yang dibutuhkan berdasarkan:
 1. aspek teknis yaitu kemudahan pengoperasian, ketersediaan SDM, jumlah lumpur yang dihasilkan, kualitas efluen;
 2. aspek non teknis yaitu ketersediaan lahan dan ketersediaan biaya investasi dan pengoperasian.



Gambar 26 Bagan Alir Pemilihan Unit Pengolahan pada IPALD

- (3) Menetapkan kesetimbangan massa untuk setiap unit IPALD.
- (4) Menetapkan kriteria perencanaan untuk setiap unit operasi dan unit proses dalam IPALD yang telah dipilih.
- (5) Menetapkan dimensi awal unit IPALD secara umum, dengan maksud untuk mengkaji luasan dan jumlah unit bangunan pengolahan pada IPALD dengan besarnya lahan yang tersedia.
- (6) Menetapkan tata letak IPALD untuk mengatur posisi unit pengolahan yang ada beserta prasarana dan sarana pelengkap.
- (7) Melaksanakan perhitungan profil hidrolis untuk menetapkan posisi vertikal setiap unit IPALD berdasarkan kehilangan tekanan (*headloss*) pada unit pengolahan saat beroperasi, termasuk kebutuhan pompa air limbah.

(b) Tahap Perencanaan Teknik Terinci Prasarana Utama pada IPALD

Prasarana utama dalam sebuah IPALD terdiri dari bangunan pengolahan air limbah domestik, bangunan pengolahan lumpur, peralatan mekanikal dan elektrik, serta unit pemrosesan hasil olahan. Bangunan pengolahan air limbah domestik antara lain meliputi:

(1) Bangunan pengolahan fisik

Bangunan pengolahan air limbah domestik secara fisik meliputi:

a. Unit sumur pengumpul

Unit sumur pengumpul merupakan bangunan pengolahan pendahuluan, yang berfungsi untuk menampung air limbah domestik dari jaringan pengumpulan air limbah domestik yang memiliki elevasi lebih rendah dari IPALD. Sumur pengumpul dapat dilengkapi dengan pompa dan bak penangkap lemak. Sumur pengumpul terdiri dari sumur basah dan sumur kering. Sumur basah menggunakan pompa *submersible* atau *suspended* yang dipasang terendam dalam sumur. Sumur kering menggunakan *self-priming/suction lift centrifugal pump* yang dipasang dalam kompartemen terpisah dengan air yang dihisap.

Perencanaan sumur pengumpul dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yaitu waktu retensi air limbah domestik dalam sumur pengumpul yaitu tidak lebih dari 10 menit.

b. Unit saringan sampah (*bar screen*)

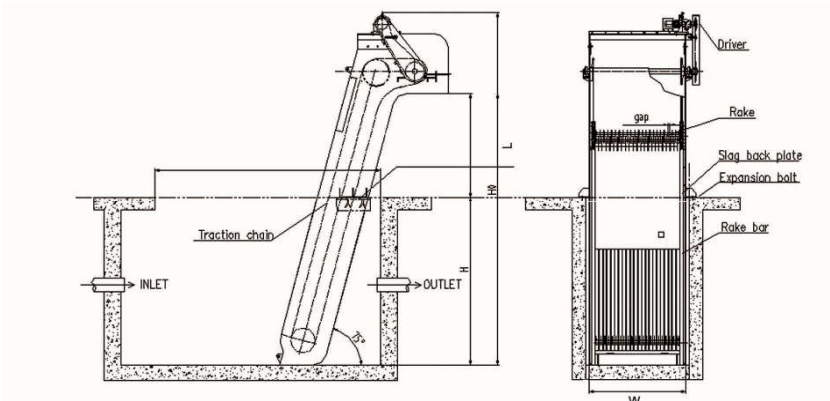
Unit saringan sampah berfungsi untuk mencegah masuknya sampah atau benda berukuran besar (contoh: plastik, kertas,

atau daun) kedalam unit pengolahan air limbah domestik, yang dapat mengakibatkan gangguan pengolahan, terutama pada unit pompa.

Unit saringan sampah berupa jaring kawat atau plat berlubang yang dirancang berdasarkan kriteria desain berikut.

Tabel 41 Persyaratan teknis unit saringan sampah

Faktor Desain	Pembersihan Cara Manual	Pembersihan dengan Alat Mekanik
Kecepatan aliran lewat celah (m/dt	0,3 – 0,6	0,6 – 1
Ukuran penampang batang		
Lebar (mm)	4 – 8	8 – 10
Tebal (mm)	25 – 50	50 – 75
Jarak bersih dua batang (mm)	25 – 75	10 – 50
Kemiringan thd. Horizontal (derajat)	45 – 60	75 – 85
Kehilangan tekanan lewat celah (mm)	150	150
Kehilangan tekanan Max.(cloging) (mm)	800	800



Gambar 27 Gambar unit saringan sampah

- c. Unit bak penangkap pasir (*Grit Chamber*)

Unit bak penangkap pasir berfungsi untuk mengendapkan kandungan pasir secara gravitasi dari aliran air limbah domestik dengan kecepatan horizontal. Unit bak penangkap pasir dirancang untuk memiliki kecepatan aliran tertentu sehingga dapat mengendapkan pasir. Pelaksanaan perencanaan unit bak penangkap pasir dilaksanakan berdasarkan persyaratan teknis dan kriteria teknis .

Persyaratan teknis perencanaan unit bak penangkap pasir meliputi:

1. Unit bak penangkap pasir dibagi menjadi dua kompartemen atau lebih, yang memiliki kondisi kecepatan aliran yang berbeda. Kompartemen pertama dialirkan dengan kecepatan minimum, sedangkan kompartemen kedua dialirkan dengan kecepatan maksimum.
2. Penampang melintang unit bak penangkap pasir dibuat mendekati bentuk parabola untuk mengakomodasi perubahan debit dengan kecepatan konstan.
3. Dilengkapi dengan alat pengatur aliran (*flume control*) yang dipasang diujung aliran.

Tabel 42 Kriteria teknis perencanaan Unit Bak Pengendapan Pasir

Faktor Rencana	Kriteria	Keterangan
Dimensi	2 – 5	1. Jika diperlukan untuk menangkap pasir halus (0,21 mm), gunakan td yang
Kedalaman, (m)		

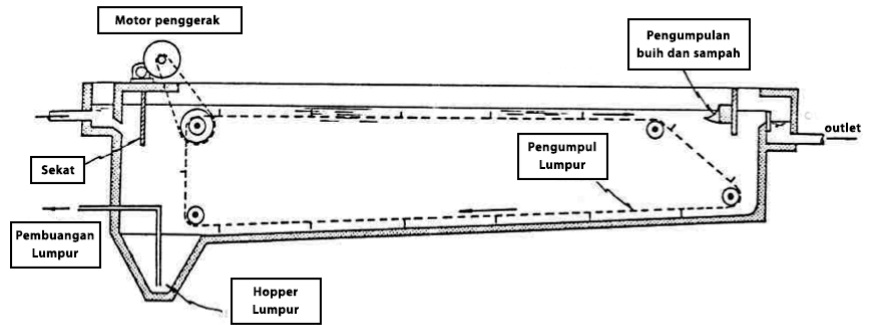
Faktor Rencana	Kriteria	Keterangan
Panjang (m)	7,5 - 20	lebih lama.
Lebar (m)	2.5 - 7	2. Lebar disesuaikan juga untuk peralatan pengeruk pasir mekanik, kalau terlalu lebar dapat menggunakan <i>buffle</i> pemisah aliran untuk mencegah aliran pendek.
Rasio lebar/dalam	1:1 s/d 5:1	
Rasio panjang/lebar	2,5 :1 s/d 5:1	
Kecepatan Aliran, (m/detik)	0,6 – 0.8	Di permukaan air
Waktu detensi pada aliran puncak (menit)	2 – 5	
Supplai udara (Liter/det.m panjang tangki)	5-12	jika menggunakan <i>aerated Grit chamber</i>

d. Unit Bak Pengendapan I (*Primary Sedimentation*)

Unit bak pengendapan I berfungsi untuk mengendapkan partikel diskrit melalui pengendapan bebas dan pengurangan BOD/COD dari air limbah domestik. Unit ini dapat mengendapkan 50 – 70% padatan yang tersuspensi dan mengurangi BOD 30 – 40%.

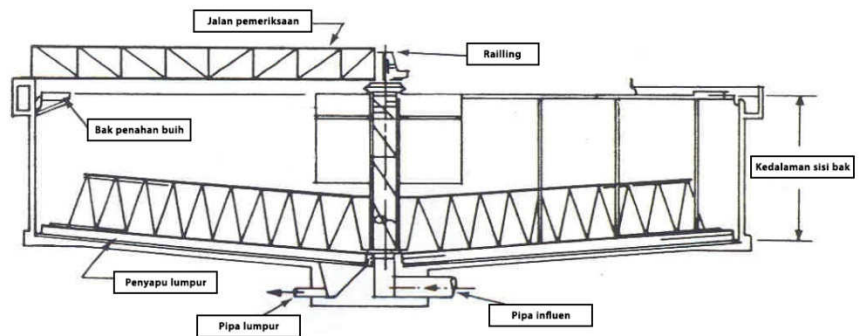
Terdapat 3 tipe unit bak pengendap I yang biasa digunakan yaitu:

1. Aliran horizontal (*horizontal flow*) merupakan unit bak pengendap I berbentuk persegi panjang, contoh unit bak pengendapan I dengan tipe aliran horizontal dapat dilihat pada gambar berikut.



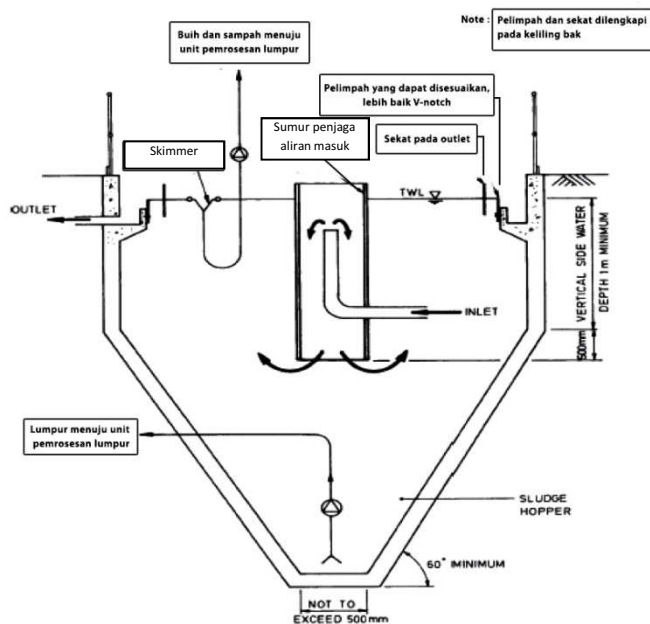
Gambar 28 Bak Pengendapan I dengan aliran horizontal

2. Aliran radial (*radial flow*) merupakan unit bak pengendapan I berbentuk bak sirkular, dengan aliran air dari tengah menuju pinggir, contoh unit bak pengendapan I dengan tipe aliran radial dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 29 Bak Pengendapan I dengan aliran radial

3. Aliran ke atas (*upward flow*) merupakan unit bak pengendapan I berbentuk bak kerucut terbalik, dengan aliran air dari bawah keatas, contoh unit bak pengendapan I dengan tipe aliran ke atas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 30 Bak Pengendap I dengan aliran
upward flow

Pelaksanaan perencaan unit bak pengendapan I dilaksanakan berdasarkan kriteria teknis berikut.

Tabel 43 Kriteria desain unit bak pengendapan I

Parameter	Tipe bak pengendap		
	Persegi panjang	Aliran Radial	Aliran ke Atas
Debit perencanaan	Q peak		
<i>Surface loading</i> (Beban Permukaan) (m ³ /m ² hari)	30 –45 pada aliran maksimum	45 pada aliran maksimum	± 30 pada aliran maksimum
Waktu detensi (jam)	2, pada aliran maksimum	2, pada aliran maksimum	2-3 pada aliran maksimum
Dimensi	P/L = 4:1, dalam 1,5 m P/L 2:1 dalam 3m	Dalam 1/6 s/d 1/10 diameter	Piramid dgn sudut 60 ^o Kerucut. Sudut 45 ^o
<i>Weir over flow rate</i> (beban pelimpah) (m ³ /m.hari)	300	<i>V-notch weir</i> di sisi luar	<i>V-notch weir</i> di sisi luar

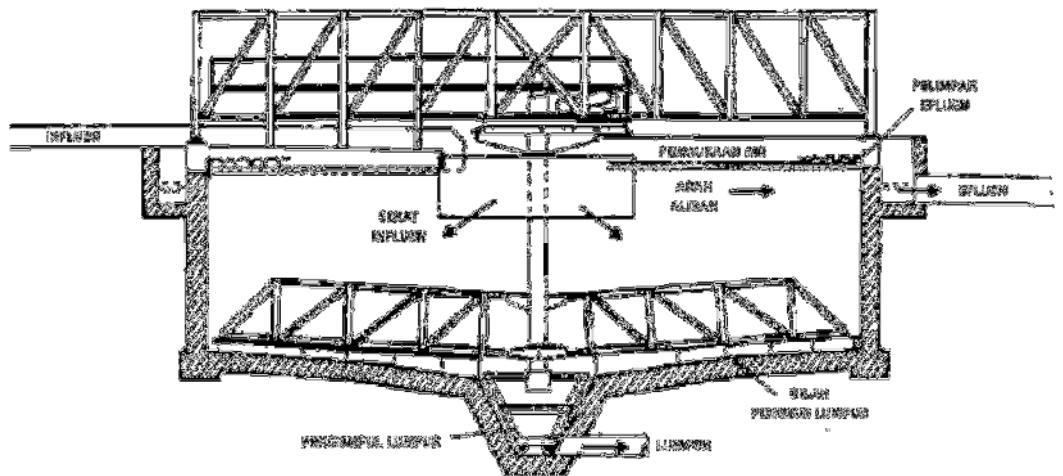
Parameter	Tipe bak pengendap		
	Persegi panjang	Aliran Radial	Aliran ke Atas
Kinerja penyisihan untuk SS > 100 mg/ltr	40-50%, sludge 3-7%	50-70%, sludge 3-6,5%	65%, sludge 3-4%

- e. Unit Bak Pengendapan II (*Clarifier*)
- Unit bak pengendapan II berfungsi untuk tempat terjadinya pengendapan material *flocculant* (hasil proses flokulasi atau proses sintesa oleh bakteri). Material *flocculant* yang diutamakan untuk diendapkan dalam Unit bak pengendapan II yaitu MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*) yang dihasilkan dari proses pengolahan Lumpur Aktif (*Activated Sludge*) yang memiliki konsentrasi tinggi (5000 mg/l). Unit bak pengendapan II merupakan pengendapan terakhir yang disebut juga *final sedimentation*.
- Pelaksanaan perencanaan unit bak pengendapan II dilaksanakan berdasarkan kriteria teknis berikut.

Tabel 44 Kriteria desain unit bak pengendapan II

Faktor perencanaan	Kriteria	Keterangan
Surface loading (Q/A) (m ³ /m ² .hari)	30 - 40	
Debit perencanaan	Q _{peak} atau Q _R	
Kedalaman bak minimal dari pelimpah (weir)(m)	3	
Waktu detensi (td) (jam)	2	Perhitungan dengan Q _{Peak}
	4.5 s/d 6	Perhitungan dengan Q _R
Weir loading rate (m ³ /m.hari)	124	

Contoh bentuk unit bak pengendap II dapat dilihat pada Gambar 31



Gambar 34 Contoh unit bak pengendap II (*Clarifier*)

(2) Bangunan pengolahan kimiawi

Bangunan pengolahan kimiawi dilaksanakan dengan menambahkan bahan kimia ke dalam air limbah untuk mengkondisikan air limbah domestik yang akan diolah agar dapat diolah oleh mikroorganisme. Pengolahan air limbah domestik secara kimiawi berfungsi untuk:

- a. menetralsir air limbah domestik yang bersifat asam maupun basa;
- b. memisahkan padatan yang tak terlarut;
- c. mengurangi konsentrasi minyak dan lemak;
- d. meningkatkan efisiensi unit pengapungan dan penyaringan: dan
- e. mengoksidasi warna dan racun.

Air limbah domestik yang mengandung zat kimia, khususnya logam berat membutuhkan prasarana pengolahan kimiawi.

Proses pengolahan kimiawi dalam pengolahan air limbah domestik antara lain:

- a. Netralisasi berfungsi untuk menetralisasi air limbah domestik yang bersifat asam atau basa; dan
- b. Presipitasi/Koagulasi/Flokulasi berfungsi untuk mengolah zat terlarut (contoh logam berat, sulfat, *fluoride*, *phosphat*, dan garam-garam besi) dengan cara penambahan zat kimia untuk membentuk gumpalan atau flok.

Pengolahan air limbah domestik secara kimiawi membutuhkan waktu dan lahan yang lebih kecil dibandingkan pengolahan air limbah domestik dengan proses pengolahan fisik dan biologis. Namun metode pengolahan kimiawi membutuhkan biaya pengoperasian yang lebih tinggi.

(3) Bangunan pengolahan biologis

Bangunan pengolahan biologis merupakan pengolahan beban organik yang terkandung dalam air limbah domestik dengan memanfaatkan bakteri, sehingga beban organik tersebut menjadi unsur-unsur yang lebih sederhana sehingga aman untuk dibuang ke lingkungan. Pengolahan limbah secara biologis terutama memanfaatkan kerja mikroorganisme. Dalam pengolahan ini, bahan pencemar organik yang *degradable* (mudah diuraikan) dapat segera dihilangkan karena merupakan makanan bagi bakteri, dan menghasilkan lumpur biologis sebagai endapan.

Pemilihan metode pengolahan yang akan digunakan tergantung tingkat pencemaran yang harus dihilangkan, besaran beban pencemaran, beban hidrolis dan standar buang (*effluent*) yang diperkenankan. Secara biologis ada 3 prinsip pengolahan biologis yaitu

pengolahan secara aerobik yaitu dengan melibatkan oksigen, pengolahan secara anaerobik yaitu tanpa melibatkan oksigen, dan pengolahan anoxic yaitu pengolahan biologis yang menggunakan oksigen terikat.

Prasarana pengolahan air limbah secara aerobik meliputi:

a. Aerated Lagoon

Aerated Lagoon merupakan prasarana pengolahan air limbah secara aerobik yang menggunakan peralatan aerator mekanik berupa surface aerator yang digunakan untuk membantu mekanisme suplai oksigen terlarut dalam air.

Dinding kolam aerasi terbuat dari beton bertulang, sedangkan lantai kolam merupakan lapisan tanah asli yang dipadatkan hingga permeabilitas 10^{-6} cm/s dan dilapisi dengan geomembran yang memiliki berat yang cukup (4 Kg/m^2) untuk menghindari kemungkinan terangkat (uplift) akibat pelepasan gas karena tanah mengandung material organik.

Dalam pemilihan jenis kolam aerasi terdapat beberapa pertimbangan yaitu:

1. penyisihan BOD;
2. karakteristik efluen;
3. temperature;
4. kebutuhan oksigen;
5. kebutuhan energi pengadukan; dan
6. pemisahan padatan biologis.

Jenis unit *aerated lagoon* diklasifikasikan berdasarkan kondisi padatan biologis dan

penggunaan energi untuk proses aerasi antara lain:

- 1. *Facultative partially mixed*;
- 2. *Aerobic flow through with partial mixing*; dan
- 3. *Aerobic with solids recycle and nominal complete mixing*.

Persyaratan teknis perencanaan *aerated lagoon* sebagai berikut:

- 1. Konsentrasi *Dissolved Oxygen* (DO) dalam kolam aerasi sebesar 1 - 2 mg/L DO;
- 2. rentang pH dalam kolam aerasi harus berkisar 7-8; dan
- 3. apabila dalam kolam aerasi menggunakan aerator permukaan, yang perlu diperhatikan aerator tersebut harus menghasilkan turbulensi yang baik dan jumlah buih yang cukup banyak.

Kriteria desain perencanaan *aerated lagoon* sebagaimana disajikan pada tabel berikut ini:

Tabel 45 Kriteria desain perencanaan unit *aerated lagoon*

Kategori	Satuan	Tipe Aerated Lagoon		
		Fakultatif	Aerobic Flow through	Aerobic with solids recycling
TSS	mg/L	50-200	100-400	
VSS/TSS	(tanpa satuan)	50-80	70-80	
Waktu tinggal padatan	hari	^b	3-6 ^c	Hangat : 10-20 Sedang: 20- 30 Dingin : >30

Kategori	Satuan	Tipe Aerated Lagoon		
		Fakultatif	Aerobic Flow through	Aerobic with solids recycling
Waktu tinggal hidrolis	hari	4-10	3-6 ^c	0.25 - 0.2
Kecepatan penyisihan BOD	hari ⁻¹	0.5-0.8 ^d	0.5 -1.5 ^d	e
Koefisien Suhu	(tanpa satuan)	1.04	1.04	1.04
Kedalaman	m	2- 5	2- 5	2- 5
Sistem pengadukan		Pengadukan sebagian	Pengadukan sebagian	Pengadukan sempurna
Energi minimum	kW/ 10 ³ m ³	1 – 1.25	5.0 – 8,0	16-20
Kondisi padatan tersuspensi		Tersuspensi sebagian	Tersuspensi	Tersuspensi
Pengendapan Lumpur		Lumpur terkumpul didalam lagoon	Lumpur terakumulasi di tangki pengendapan	Lumpur terakumulasi di tangki pengendapan
Prasaranana pendukung tangki pengendapan		Tidak membutuhkan	Membutuhkan tangki pengendapan	Membutuhkan tangki pengendapan
Resirkulasi lumpur		Tidak di resirkulasi	Tidak di resirkulasi	Dapat di resirkulasis
Proses Nitrifikasi		Tidak terjadi	Tidak terjadi	Bisa terjadi proses nitrifikasi, terutama pada udara hangat

b. Unit Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)

Unit lumpur aktif merupakan unit reaktor yang terdiri dari tangki aerasi dan tangki pengendap (*clarifier*). Unit ini menggunakan mikroorganisme aerobik untuk menghilangkan beban organik dalam air limbah domestik dan menghasilkan air limbah olahan yang berkualitas tinggi. Untuk mempertahankan kondisi aerobik dan menjaga biomassa aktif, diperlukan pasokan oksigen yang konstan dengan menggunakan aerator atau blower. Peralatan tersebut juga diperlukan untuk melakukan pengadukan sempurna di dalam reaktor.

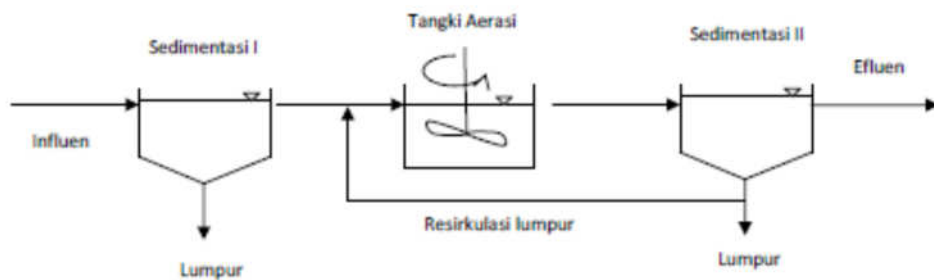
Kelebihan reaktor ini, daya larut oksigen dalam air limbah lebih besar daripada *aerated lagoon*, efisiensi proses tinggi, sesuai untuk pengolahan air limbah dengan debit kecil untuk polutan organik yang sudah terdegradasi. Sedangkan kekurangannya membutuhkan lahan yang luas, proses operasionalnya rumit (membutuhkan pengawasan yang cukup ketat seperti kondisi suhu dan *bulking control* proses), membutuhkan energi yang besar, membutuhkan operator yang terampil dan disiplin dalam mengatur jumlah massa mikroba dalam reaktor, serta membutuhkan penanganan lumpur lebih lanjut.

Unit lumpur aktif dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

Proses lumpur aktif dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis reaktornya, sebagai berikut:

1. *Complete-Mix Activated Sludge*(CMAS)

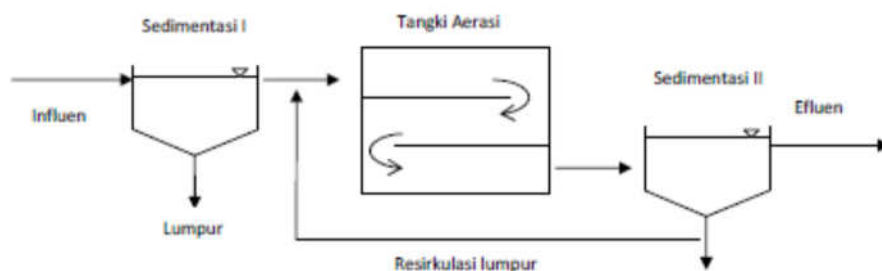
Dalam proses pengolahan CMAS dilakukan pengadukan secara kontinu dalam tangki aerasi, sehingga beban organik, konsentrasi *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) dan kebutuhan oksigen diseluruh tangki menjadi seragam.



Gambar 35 Skema lumpur aktif dengan pengadukan sempurna (*Complete-mix activated sludge (CMAS)*)

2. Lumpur Aktif *Plug-Flow*

Dalam proses pengolahan Lumpur Aktif *Plug-Flow*, merupakan proses lumpur aktif yang didesain dengan sekat-sekat untuk membentuk beberapa seri zona aerasi.

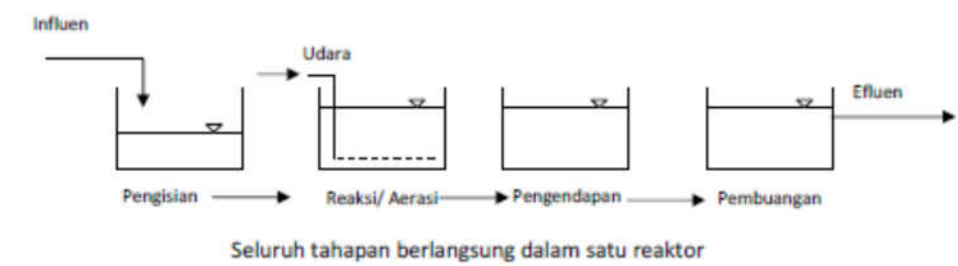


Gambar 32 Skema lumpur aktif *Plug-Flow*

3. Lumpur Aktif *Sequence Batch Reactor* (SBR)

Proses pengolahan lumpur aktif dengan mengisi dan mengosongkan reaktor. Proses aerasi dan

pengendapan berlangsung didalam tangki yang sama.



Gambar 33 Skema lumpur aktif *Sequence Batch Reactor*

Kriteria desain:

Tabel 46 Karakteristik perencanaan lumpur aktif

Proses	Waktu tinggal padatan hari	Rasio F/M	Muatan volumetric	MLSS	Total waktu hidrolis	Rasio RAS (Return Activated Sludge)
	Hari	Kg BOD/Kg MLVSS.hari	Kg BOD/m³.hari	mg/L	Jam	% influen
Plug-flow konvensional	3 -15	0.2 -0.4	0.3 -0.7	1000-3000	4 -8	25 -75
CMAS	3 -15	0.2 -0.6	0.3 – 1.6	1500 - 4000	3 – 5	25 – 100
SBR	10 -30	0.04-0.10	0.1 – 0.3	2000 – 5000	15 - 40	NA

Pertimbangan perencanaan unit Lumpur Aktif

Dalam perencana unit Lumpur Aktif perlu memperhatikan hal sebagai berikut:

- a) pemilihan jenis reaktor;
- b) hubungan kinetis untuk menentukan pertumbuhan biomass dan penggunaan substrat;
- c) *Solid Retention Time* (SRT), Food to Biomass Ratio (F/M) dan *volumetric organic loading*:
 - 1) SRT merupakan waktu lamanya lumpur berada dalam sistem lumpur aktif. Untuk penyisihan BOD

pada air limbah domestik membutuhkan waktu 1 - 2 hari, bergantung pada temperaturnya;

- 2) F/M Ratio adalah parameter yang biasa digunakan untuk menunjukkan desain proses dan kondisi operasional dalam sistem lumpur aktif. Besarnya sekitar 0.04 g *substrat/biomass.hari* (untuk proses extended aeration) sampai 1.0 *substrat/biomass.hari* (untuk proses lumpur aktif high rate);
- 3) *Volumetric organic loading* menunjukkan BOD atau COD dalam tangki aerasi per hari, digambarkan dalam Kg BOD/m³.hari. Nilainya bervariasi antara 0.3 – 3.0 Kg BOD/m³.hari;
- d) produksi lumpur;
- e) kebutuhan oksigen;
- f) kebutuhan nutrien;
- g) kebutuhan bahan kimia lain;
- h) karakteristik pengendapan;
- i) penggunaan selector untuk membatasi pertumbuhan mikroorganisme yang tidak mengendap; dan
- j) karakteristik efluen.

Variabel perencanaan yang umum digunakan dalam pengolahan air

limbah domestik dengan sistem lumpur aktif adalah sebagai berikut:

a) Beban BOD

Beban BOD yaitu jumlah massa BOD di dalam air limbah yang masuk (*influent*) dibagi dengan volume reaktor.

Beban BOD dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Beban BOD (kg/m}^3\text{.hari)} = \frac{Q \times S_o}{V}$$

Keterangan:

Q = Debit air limbah yang masuk (m³/hari)

S₀ = Konsentrasi BOD di dalam air limbah yang masuk (Kg/m³)

V = Volume reaktor (m³)

b) Padatan Tersuspensi dalam Campuran Cairan (*Mixed-Liquor Suspended Solids*/MLSS)

MLSS yaitu jumlah total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk di dalamnya mikroorganisme.

c) Padatan Tersuspensi yang Mudah Menguap dalam Campuran Cairan (*Mixed-Liquor Volatile Suspended Solids*/MLVSS)

Porsi material organik pada MLVSS diwakili oleh MLVSS, yang berisi material organik

bukan mikroba, mikroba hidup dan mati, dan selnya hancur.

- d) Ratio Perbandingan Makanan terhadap Mikroorganisme(*Food - to - Microorganism*)

Parameter ini menunjukkan jumlah zat organik (BOD) yang dihilangkan dibagi dengan jumlah massa mikroorganisme di dalam bak aerasi atau reaktor. Besarnya nilai F/M ratio umumnya ditunjukkan dalam kilogram BOD per kilogram MLVSS per hari.

F/M dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F / M = \frac{Q(S_0 - S)}{MLSS \times V}$$

Keterangan:

Q	= Laju alir limbah Juta Galon per hari (MGD)
S ₀	= Konsentrasi BOD di dalam air limbah yang masuk ke bak areasi (reaktor) (Kg/m ³)
S	= Konsentrasi BOD di dalam efluent(Kg/m ³)
MLSS	= Mixed liquor suspended solids (Kg/m ³)
V	= Volume reaktor atau bak aerasi (m ³)

- e) Waktu Tinggal Hidrolis(*Hidraulic Retention Time / HRT*)

HRT adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan oleh larutan influen masuk ke dalam tangki aerasi untuk proses lumpur aktif; nilainya berbanding terbalik dengan laju pengenceran (*dilution rate*, 0).

$$HRT = \frac{I}{D} = \frac{V}{a}$$

Keterangan:

V	= Volume reaktor atau bak aerasi (m ³).
Q aerasi (m ³ /jam)	= Debit air limbah yang masuk ke dalam tangki
D	= Laju pengenceran (jam).

f) Kebutuhan Oksigen

Kebutuhan udara untuk aerasi sebesar 62 m³/Kg BOD dan waktu detensi aerator selama (2-5) jam. Kebutuhan dan transfer oksigen dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{BOD 1 mol sel} = 1,42 \times \text{Konsentrasi Sel}$$

Kebutuhan oksigen teoritis menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$\text{Lb O}_2/\text{hari} = (\text{total massa BOD}_L) - 1,42 (\text{massa mikroorganisme limbah})$$

Dalam mensuplai kebutuhan oksigen dapat digunakan beberapa jenis aerator seperti pada Tabel 47.

Tabel 47 Karakteristik Peralatan Aerator

Sistem Aerasi	Uraian	Kelebihan	Kekurangan	Transfer Efisiensi	Transfer Rate
Sistem difuser					
1.Gelembung halus	Menggunakan Pipa atau sungkup keramik yang porous	Baik untuk Pengadukan dan oksigen transfer	Biaya inisial dan O&P tinggi	10 – 30	1,2 – 2,0
2.Gelembung sedang	Menggunakan Pipa perforated	Baik untuk Pengadukan dan biaya O&P rendah	Biaya inisial tinggi	6 – 15	1,0 – 1,6
3.Gelembung besar	Menggunakan Pipa dengan orifice	<i>Non clogging</i> , biaya O&P rendah	Biaya inisial dan tenaga listrik tinggi	4 - 8	0,6 – 1,2
Sistem mekanikal					
1. Radial flow 2060	Dengan diameter Impeller lebar	<i>Flexible</i> , adukan baik	Biaya awal tinggi		1,2 – 2,4
2. Axial flow 300-1200 rpm	Dengan diameter Propeller pendek	Biaya awal rendah	Adukan kurang		1,2 – 2,4
3. <i>Tubular defuser</i>	Udara & AL dihisap kedalam pipa untuk diaduk	Rendah inisial dan O & cost, efisiensi transfer tinggi	Adukan rendah	7 – 10	1,2 – 1,6
4. Jet	Tekanan udara dan AL horizontal	Cocok untuk bak yang dalam	Perlu pompa dan kompresor	10 – 25	1,2 – 2,4
5. Brush rotor	Drum dilapisi sikat baja dan diputar dengan as horizontal	Cocok untuk oxidation ditch	Efisiensi rendah		1,2 – 2,4
6. <i>Submed turbin</i>		Adukan tinggi	Power tinggi		1,0 – 1,5

a) Kg O₂/Kw.jam
(Sumber: Kriteria Teknis Prasarana dan Sarana Pengelolaan Air Limbah, PU, 2006)

- g) Produksi Lumpur (Px)
Produksi lumpur per hari (Px)

$Px = Y_{obs} \times Q (So - S) \times (10^3 \text{ g/Kg})^{-1}$

Keterangan:

Px = Jumlah bersih buangan *activated sludge* yang dihasilkan tiap hari, diukur dalam *volatile suspended solid*, (Kg/hari)

$Y_{obs} = \text{observed yield (g/g)}$

$$= \frac{Y}{1 + K_d (\theta_c)}$$

Produksi Lumpur (Px) = [Y×Q (So – S)] – [Kd×Vr×X]

Keterangan:

- Y = *yield*
So = Konsentrasi BOD atau COD influent (mg/L)
S = Konsentrasi BOD atau COD effluent (mg/L)
Kd = Koefisien pada ASP (BOD/hari)
Vr = Volume reactor (m³)
X = Konsentrasi *Volatile Suspended Solid* (mg/L) atau (g/m³)

h) Rasio Sirkulasi Lumpur
(*Hdraulic Recycle Ratio*)

Rasio sirkulasi lumpur adalah perbandingan antara jumlah lumpur yang disirkulasikan ke bak aerasi dengan jumlah air limbah yang masuk ke dalam bak aerasi. Rumus untuk rasio resirkulasi yaitu:

$$R = \frac{Q_r}{Q_o} = \frac{X}{X_r - X}$$

Keterangan :

Q_r = Debit resirkulasi

Q_o = Debit influen

X = Konsentrasi mikroorganisme dalam bioreactor

X_r = Konsentrasi mikroorganisme dalam resirkulasi

i) Umur lumpur Aktif (θ_c)

Parameter ini menunjukkan waktu detensi mikroorganisme dalam sistem lumpur aktif. Jika HRT memerlukan waktu dalam jam, maka waktu detensi sel mikroba dalam bak aerasi dapat dalam hitungan hari.

Parameter ini berbanding terbalik dengan laju pertumbuhan mikroba. Umur lumpur dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\theta_c = \frac{X \times V}{(Q_w \times X_w) + [(Q - Q_w) \times X_e]}$$

Keterangan:

- θ_c = Rata- rata waktu tinggal sel berdasarkan volume tangki (hari)
 X = Konsentrasi *Volatile Suspended Solid* (mg/L) atau (g/m³)

$$= \frac{\theta_c}{\theta_H} \times \frac{Y(S_0 - S)}{1 + K_d \theta_c}, \text{ Keterangan : } \theta_H = \frac{V}{Q}$$

- V = Volume reactor (m³)
 Q_w = Debit lumpur terbuang (m³/hari)
 X_w = Konsentrasi *volatile suspended solid* dalam lumpur terbuang (g/m³)
 X_e = Konsentrasi *volatile suspended solid* dalam effluent yang terolah (mg/L) atau (g/m³)

Cara konvensional untuk mengamati kemampuan pengendapan lumpur adalah dengan menentukan Indeks Volume Sludge (*Sludge Volume Index* = SVI). SVI dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SVI(\text{mL/g}) = \frac{SV \times 1000}{MLSS}$$

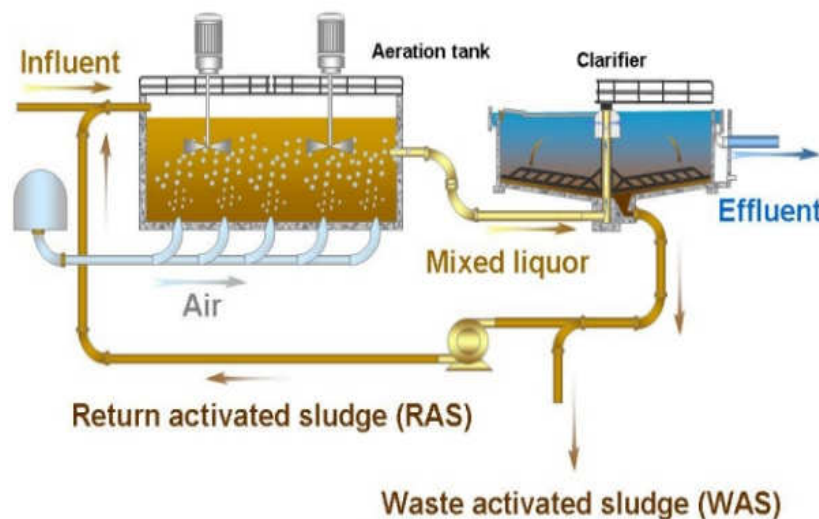
Keterangan:

- SVI = Volume endapan lumpur di dalam silinder kerucut setelah 30 menit pengendapan (ml).
 MLSS = *mixed liquor suspended solid* (mg/l).

- c. Kolam Aerasi Ekstensif (*Extended Aeration*)
 Kolam *Extended Aeration* sebenarnya bukan termasuk kategori kolam aerasi seperti kolam aerasi lainnya. Proses ini merupakan pengembangan dari proses lumpur aktif konvensional (standar). Hanya saja khusus untuk *Extended Aeration* tidak diperlukan bak pengendap awal.

Di dalam bak aerasi air limbah disuplai oksigen dari *blower* atau *diffuser* sehingga mikroorganisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada di dalam air limbah. Dengan demikian di dalam bak aerasi tersebut akan tumbuh dan berkembang biomassa dalam jumlah yang besar. Biomassa atau mikroorganisme inilah yang akan menguraikan senyawa polutan yang ada di dalam air limbah.

Unit ini juga mengaduk secara keseluruhan air limbah pada tangki sehingga terbentuk padatan tersuspensi. Sebagian lumpur yang terikut pada aliran outlet dari kolam ini terendapkan, sebagian lainnya dibiarkan terakumulasi didalam kolam atau sebagian yang diendapkan kemudian dikembalikan kedalam sistem aerasi untuk mencapai rasio ideal perbandingan makanan dan mikroorganisme yang disebut F/M ratio.



Gambar 34 Skema *Extended Aeration*

Terdapat 3 jenis pengolahan pada Unit Extended Aeration yang digunakan yaitu:

1. Menempatkan tangki pengendapan terpisah sesudah kolam.
2. Memisahkan bagian dari kolam sebagai zona pengendapan untuk menahan lumpur sebelum efluen dilepas ke badan air.
3. Membangun dua unit secara paralel, sehingga pengoperasian unit *extended aeration* dapat berlangsung secara bergantian. Saat satu unit berhenti, maka unit lainnya dapat terjadi pengendapan. Lumpur akan terakumulasi mencapai konsentrasi solid yang ideal untuk *extended aeration*.

Perencanaan kolam aerasi ekstensif dapat menggunakan formulasi berikut ini:

1. Konsentrasi substrat efluen terlarut:

$$q = \frac{k_d}{Y_T} = K S_e \quad \text{atau} \quad S_e = \frac{K_d}{Y_T K}$$

2. Kesetimbangan material untuk substrat disekitar tangki aerasi

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_M = \frac{Q(S_0 - S_e)}{V_a}$$

3. Volume tangki aerasi

$$V_a = \frac{Y_T Q (S_0 - S_e)}{X K_d}$$

d. Unit Parit Oksidasi (Oxidation Ditch)

Unit Parit oksidasi merupakan unit pengolahan yang merupakan pengembangan metode pengolahan *extended aeration* yang diterapkan pada saluran sirkular dengan kedalaman 1 s/d 1.5 m, yang dibangun dengan pasangan batu. Unit parit oksidasi berfungsi untuk

menurunkan konsentrasi BOD, COD, dan nutrien dalam air limbah domestik.

Unit pengolahan *Oxydation Ditch* merupakan unit yang menggunakan *extended aeration* yang semula dikembangkan berdasarkan saluran sirkular dengan kedalaman 1 – 1.5 m. Lumpur tinja yang masuk dialirkan berputar mengikuti saluran sirkular yang cukup panjang dengan tujuan terjadinya proses aerasi. Alat aerasi yang digunakan berupa alat mekanik rotor berbentuk tabung dengan sikat baja. Rotor diputar melalui poros (axis) horizontal dipermukaan air yang disebut *cage rotor*.

Pelaksanaan perencanaan *Oxydation Ditch* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yang tertera pada tabel berikut ini:

Tabel 48 Kriteria desain *Oxydation Ditch*

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Rasio BOD dan BOD removal	-	85 - 90	%
Rasio removal SS	-	80 - 90	%
Rasio removal Nitrogen	-	70%	%
Letak aerator (pada kedalaman)	-	1,0 -1,3	meter
Rasio sludge generated (dari BOD atau SS removal)	-	75	%
Kecepatan rata-rata dalam saluran minimum	v_{min}	0,3	m/detik
Rasio F/M		0,03 -0,15	Kg BOD / hr / Kg VSS
Konsentrasi lumpur dalam bak aerasi		3000 -6000	mg/L

- Persyaratan teknis lainnya yang perlu diperhatikan sebagai berikut:
1. udara dari atmosfer menggunakan tekanan negatif dalam air untuk memutar *screw*;

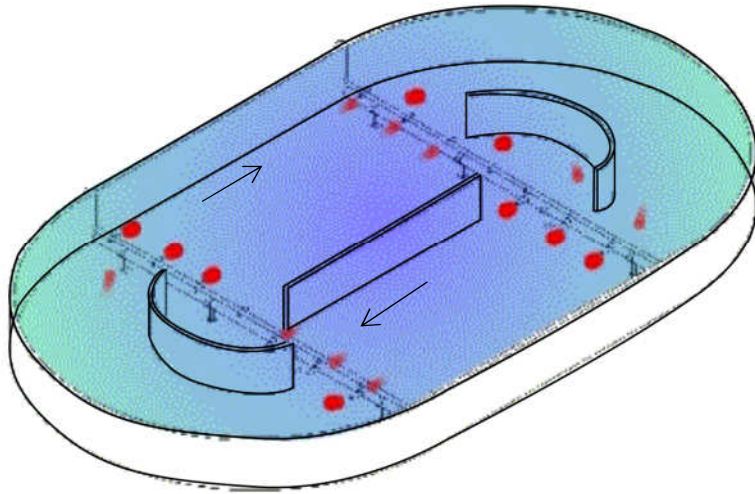
- 2. dilakukan resirkulasi untuk menjaga konsentrasi MLSS dalam bak aerasi
- 3. perencanaan rotor meliputi; diameter rotor, panjang rotor, jumlah & tenaga penggerak / motor
- 4. kebutuhan oksigen
 $Kebutuhan\ Oksigen = Kapasitas\ oksigen \times beban\ BOD$
- 5. panjang rotor yang diperlukan dapat dihitung dengan formulasi berikut ini:

$Panjang\ rotor = \frac{Kebutuhan\ O_2\ dalam\ bak}{kapasitas\ oksigenasi\ rotor}$

Spesifikasi teknis aerator yang digunakan pada *Oxydation Ditch* tertera pada tabel berikut ini:

Tabel 49 Spesifikasi teknis aerator pada *Oxydation Ditch*

Sistem Aerasi	Uraian	Transfer Efisiensi	Transfer Rate Kg O ₂ /Kw.jam
Sistem difuser			
1.Gelembung halus	Menggunakan Pipa atau sungkup keramik yang porous	10 – 30	1,2 – 2,0
2.Gelembung sedang	Menggunakan Pipa perforated	6 – 15	1,0 – 1,6
3.Gelembung besar	Menggunakan Pipa dengan orifice	4 - 8	0,6 – 1,2
Sistem mekanikal			
1. Radial flow 2060	Dengan diameter Impeller lebar		1,2 – 2,4
2. Axial flow 300-1200 rpm	Dengan diameter Propeller pendek		1,2 – 2,4
3. Tubular defuser	Udara & AL dihisap kedalam pipa untuk diaduk	7 – 10	1,2 – 1,6
4. Jet	Tekanan udara dan AL horizontal	10 – 25	1,2 – 2,4
5. Brush rotor	Drum dilapisi sikat baja dan diputar dengan as horizontal		1,2 – 2,4
6. Submed turbin			1,0 – 1,5



Gambar 35 Skema Bangunan Lumpur Aktif
Sistem Parit Oksidasi (*Oxidation Ditch*)

Kelebihan parit oksidasi yaitu kemampuan mengolah beban organik dengan biaya operasional dan perawatan rendah. Selain itu, menghasilkan lumpur yang lebih sedikit daripada proses biologis lainnya. Kekurangan reaktor ini adalah membutuhkan lahan yang luas dan konsentrasi TSS pada effluent masih tergolong tinggi jika dibandingkan dengan proses pengolahan *activated sludge*.

e. Reaktor Cakram Biologis (*Rotating Biological Contactor/ RBC*)

RBC merupakan salah satu teknologi pengolahan air limbah domestik dengan mikroorganisme yang melekat pada media piringan fiber/HDPE yang terendam 40% didalam air dan disusun vertikal pada axis rotor horizontal. Piringan diputar dengan kecepatan 3 - 6 rpm, yang memberikan kesempatan setiap sisi cakram bergantian berkontak dengan air limbah domestik dan oksigen. Cakram diputar untuk menjaga suplai oksigen pada bakteri yang melekat

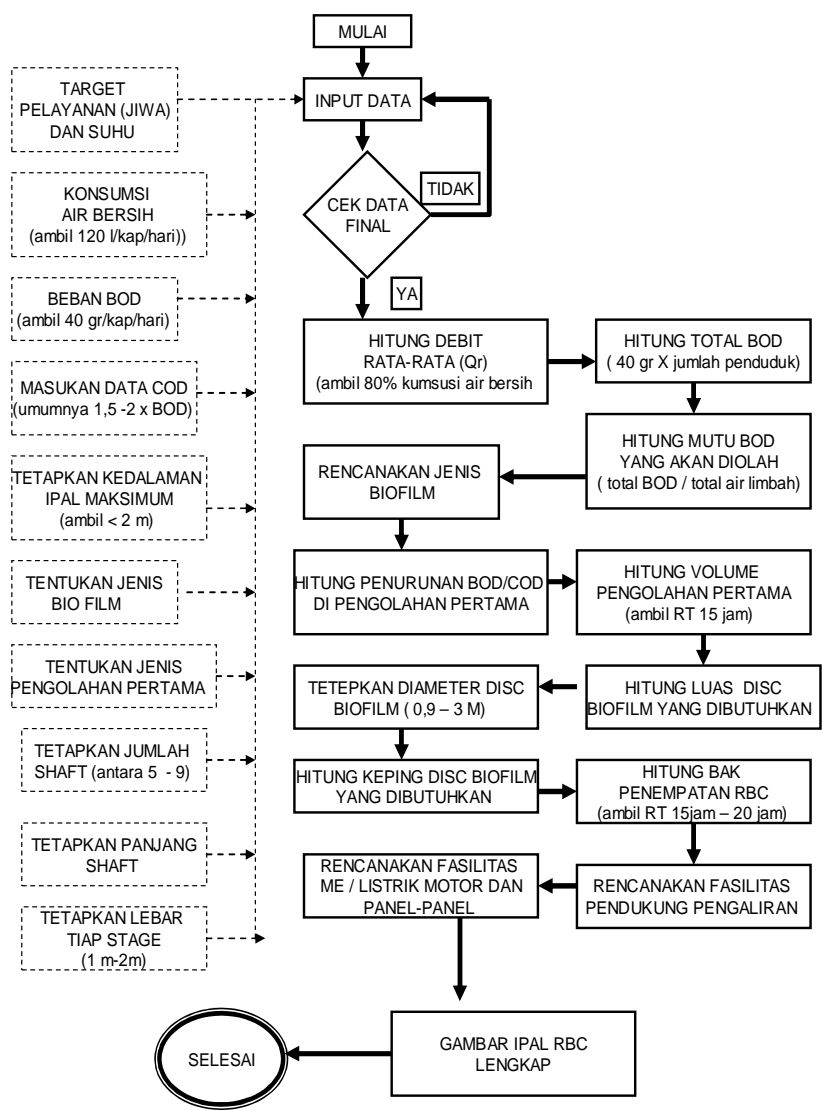
pada piringan dan membilas lapisan lendir mikroorganisme yang terbentuk berlebihan pada piringan cakram, sehingga penyumbatandapat dihindari. Reaktor Cakram Biologis umumnya diterapkan untuk melayani 1000 s/d 10.000 jiwa.

Kelebihan penggunaan RBC antara lain:

1. lahan yang dibutuhkan tidak terlalu besar;
2. tahan terhadap beban kejut (shock loading) organik dan hidrolis;
3. peluruhan biomassa lebih aktif;
4. kebutuhan energi listrik rendah;
5. efisiensi penyisihan beban organik tinggi;
6. dapat mengolah air limbah yang mengandung senyawa beracun, besi, sianida, selenium dan lain-lain.

Kekurangan penggunaan RBC antara lain:

1. biaya investasi pemasangan RBC mahal;
2. ASP per debit per kualitas air limbah yang setara;
3. apabila oksigen terlarutnya rendah dan terdapat sulfida di dalam air limbah domestik, dapat memicu pertumbuhan bakteri pengganggu seperti Beggiatoa akan tumbuh di media RB; dan
4. biaya investasinya akan meningkat dengan peningkatan debit air limbah.

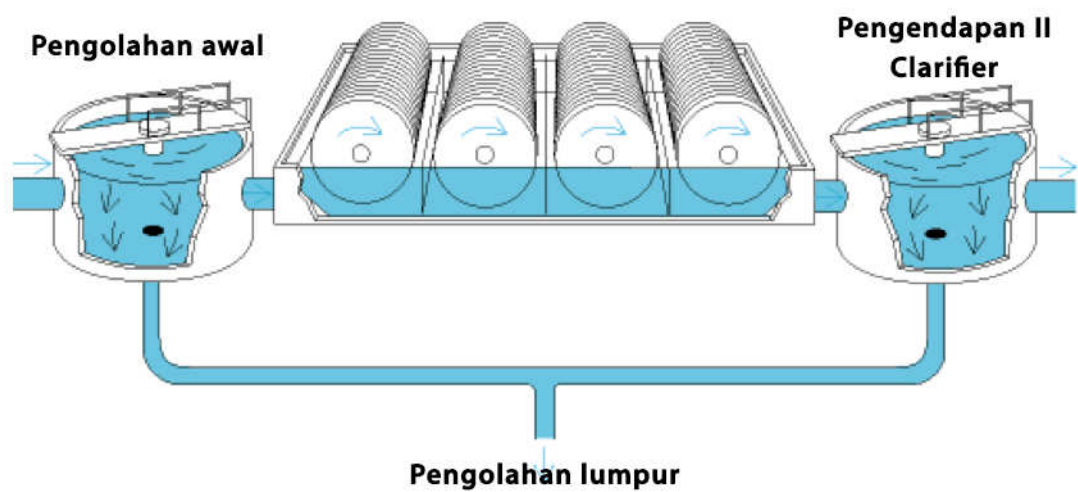


Gambar 36 Bagan Alir Perencanaan IPALD RBC

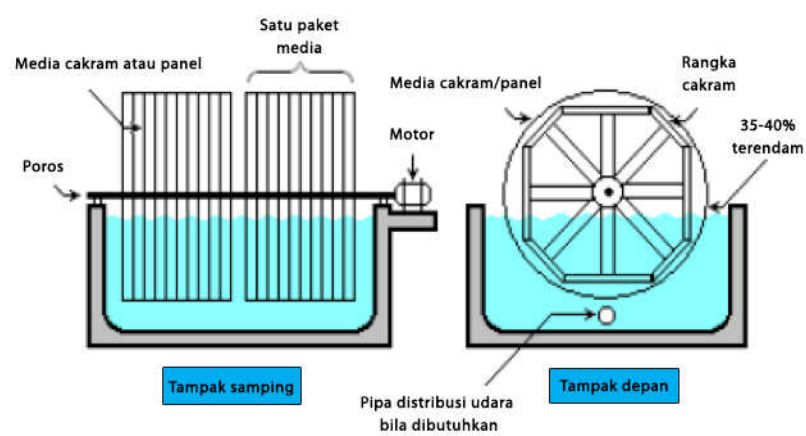
Prasarana RBC terdiri dari:

1. saringan sampah;
2. bak pengendap pendahuluan;
3. bak kontak media (piringan);
4. bak pengendap kedua;
5. peralatan untuk penambahan zat desinfektan;
6. bak pengeras lumpur; dan
7. bak pengering lumpur.

Skema prasarana RBC dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 37 Skema prasarana RBC



Gambar 38 Ilustrasi terinci prasarana RBC

Perencanaan RBC dilaksanakan berdasarkan kriteria desain berikut ini:

Tabel 50 Kriteria desain bak kontak media

Faktor perencanaan	Kriteria	Keterangan
Beban permukaan BOD gr BOD/ (m ² .luas piringan . hari)	10 -15	gr/ m ² . hari (domestik)
	10 -50	gr/ m ² . hari (industri)
Beban hidrolis L/m ² /hari,	50 -100	jika BOD influent = 200 mg/L
	10- 20	jika BOD influent = 500- 1000 mg/L
Jarak antara piringan	3 – 5	cm
Diameter piringan	1.5 – 3	m
Waktu detensi	2 – 4	Jam
Kebutuhan listrik untuk rotor	8 – 10	KW.jam/(orang.Tahun)
Produk lumpur	0.4 – 0.5	Kg / Kg BOD removal.
Kecepatan putaran cakram	1 – 2	rpm
Diameter cakram	1 – 3.6	m
Kedalaman bak	40 %	Dari diameter cakram
Temperatur pengoperasian (°C)	15 - 40	

Tabel 51 Kriteria desain bak pengendap kedua

Faktor perencanaan	Kriteria	Satuan
Beban hidrolis permukaan	16 - 32	m ³ /(m ² .hari) untuk Q _R
	40 -50	m ³ /(m ² .hari) untuk Q _{peak}
Beban solid	4 -6	Kg/(m ² .jam) untuk Q _R
	8 – 10	Kg/(m ² .jam) untuk Q _{peak}
Kedalaman bak pengendap	3 – 4.5	m

Perencanaan RBC dilaksanakan dengan menggunakan formulasi berikut ini:

1.
- Rasio volume reaktor terhadap luas permukaan media (G) dapat dihitung dengan formula berikut ini:

$$G = (V/A) \times 10^3 \text{ (Liter/m}^2\text{)}$$

Keterangan:

V = volume efektif reaktor (m³)

A = luas permukaan media RBC (m²)

2.
- Beban BOD (BOD *Loading*):

$$\text{BOD Loading} = (Q \times C_o) / A \text{ (g .BOD/m}^2\text{.hari)}$$

Keterangan:

Q = debit air limbah yang diolah (m³/hari).

C_o = Konsentrasi BOD (mg/L).

A = Luas permukaan media RBC (m²).

3. Beban Hidrolis (*Hydraulic Loading/HL*) merupakan jumlah air yang diolah per satuan luas permukaan media per hari.

$$HL = ((Q / A) \times 1000)$$

Keterangan:

HL = beban hidrolik, (m³/m² hari)

Q = debit air limbah yang diolah (m³/hari).

A = Luas permukaan media RBC (m²)

4. Waktu tinggal rata-rata (*Average Detention Time, T*)

$$T = (Q/V) \times 24 \text{ (Jam)}$$

Keterangan :

Q = debit air limbah yang diolah (m³/hari).

V = volume efektif reaktor (m³)

Korelasi beban konsentrasi BOD inlet dan beban BOD persatuan luas media kontak untuk mendapatkan efisiensi penurunan beban BOD sampai 90%, tercantum pada tabel berikut.

Tabel 52 Korelasi konsentrasi BOD inlet dan beban BOD persatuan luas media, untuk penurunan BOD sampai 90%

Konsentrasi BOD inlet, mg/L	Beban BOD, LA (gr/m ² .hari)
300	30
200	20
150	15
100	10
50	5

Sumber : Ebie Kunio dan Ashidate Noriatsu(1992)dalam Nusa Idaman Said, BPPT, 2005.

Korelasi konsentrasi BOD inlet terhadap efisiensi penurunan BOD tercantum pada Tabel berikut.

Tabel 53 Korelasi konsentrasi BOD inlet terhadap efisiensi penurunan BOD

Beban BOD, LA (gr/m ² .hari)	Efisiensi Penghilangan BOD, %
6	93
10	92
20	90
30	81
60	60

f. Biofilter

Biofilter merupakan unit pengolahan air limbah domestik yang memanfaatkan mikroorganisme yang tumbuh dan berkembang melekat pada permukaan media, yang membentuk lapisan lendir yang dikenal sebagai lapisan biofilm. Media filter terendam di dalam air limbah yang dialirkan secara kontinu melewati celah atau rongga antar media. Media filter berupa media padat dan atau berongga, dan tidak bersifat toksik bagi mikroorganisme. Media filter yang digunakan dapat berasal dari bahan alami (batu-batuan, kayu) maupun pabrikasi (keramik, plastik), pemilihan media biofilter ditentukan berdasarkan metode pembobotan yang tercantum pada tabel berikut.

Tabel 54 Pembobotan untuk pemilihan media biofilter

Tipe Media	A	B	C	D	E	F	G
Luas Permukaan Spesifik	5	1	5	5	5	5	5
Volume Rongga	1	1	1	1	4	5	5
Diameter celah bebas	1	3	1	1	2	2	5
Ketahanan terhadap penyumbatan	1	1	1	1	3	3	5
material	5	5	5	5	5	5	5
Harga persatuan luan	5	3	3	5	4	1	4
Kekuatan mekanik	5	5	1	1	2	2	5
Berat Media	1	1	5	5	4	5	5
Fleksibilitas	2	2	1	3	3	4	4
Perawatan	1	1	1	1	3	3	5
Konsumsi Energi	2	2	1	5	4	5	5
Sifat dapat basah	5	5	3	3	3	1	5
Total Bobot	34	32	28	36	42	41	56

Sumber : Pedoman Biofilter DepKes RI

Keterangan:

- A: Gravel atau kerikil kecil

B: Gravel atau kerikil besar
- C: Mash Pad

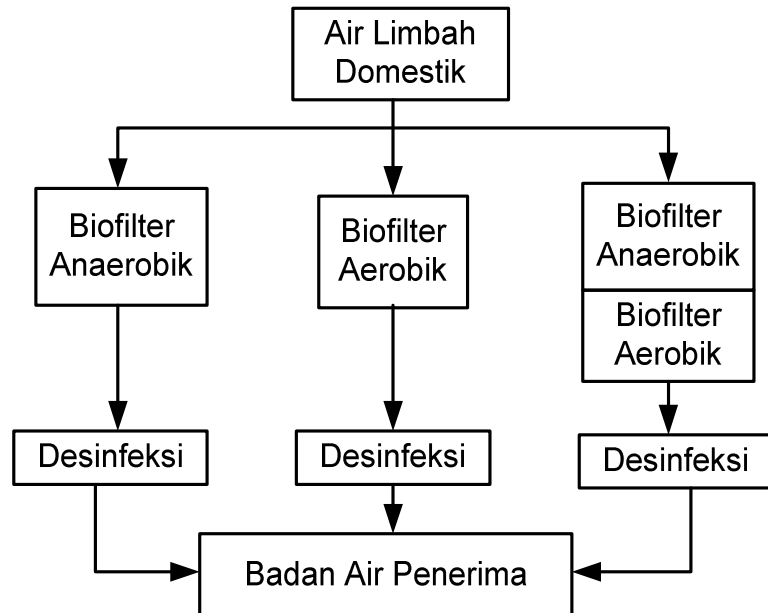
D: Brillo pad
- E: Bio Ball

F: Random Dumped
- G: Media terstruktur (sarang tawon)

Biofilter dapat diterapkan secara aerobik dan anaerobik. Biofilter dapat berupa bioreaktor tunggal dengan proses anaerobik, aerobik atau kombinasi keduanya (proses *hybrid*).

Pengaliran air limbah domestik pada permukaan media dapat dilakukan secara *crossflow* kearah vertikal ataupun horisontal.

Jenis pengolahan air limbah domestik dengan proses biofilter dari:



Gambar 39 Jenis pengolahan air limbah domestik dengan proses biofilter

Berikut ini jenis unit pengolahan air limbah dengan sistem Biofilter:

1. Biofilter Anaerobik

Pada unit biofilter anaerobik pengolahan air limbah domestik mengandalkan mikroorganisme dalam kondisi anaerobik. Biofilter anaerobik memiliki kelebihan mampu mengolah air limbah dengan kandungan bahan organik yang tinggi, tahan terhadap perubahan konsentrasi dan tahan terhadap perubahan debit aliran yang mendadak (*shock loading*).

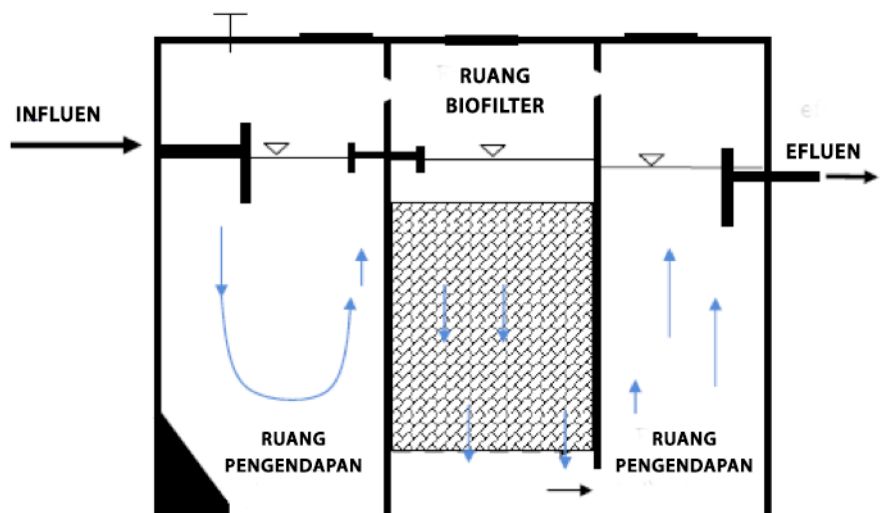
Perencanaan biofilter anaerobik dilaksanakan berdasarkan persyaratan teknis dan kriteria desain berikut ini:

Persyaratan teknis biofilter anaerobik:

- a) Dibuat minimal dalam tiga ruang atau kompartemen, dengan ruang pertama sebagai pemisah padatan dan biodegradasi

endapan secara anaerobik, ruang kedua berisi media filter dan terjadi proses anaerobik, ruang ketiga sebagai pemisah padatan lanjut.

- b) Jumlah kompartemen biofilter anaerobik dapat direncanakan lebih dari satu kompartemen, tergantung pada konsentrasi BOD air limbah dan debit air limbah atau jumlah orang yang dilayani.
- c) Kualitas efluen biofilter anaerobik umumnya memiliki kandungan oksigen relatif rendah dan kadang berbau, sehingga masih diperlukan proses pengolahan lanjutan antara lain dengan proses aerasi atau kolam sanita (*wetland*)



Gambar 40 Ilustrasi biofilter anaerobik satu kompartemen

Perencanaan biofilter anaerobik dapat menggunakan kriteria desain sebagai berikut:

Tabel 55 Kriteria desain perencanaan biofilter anaerobik

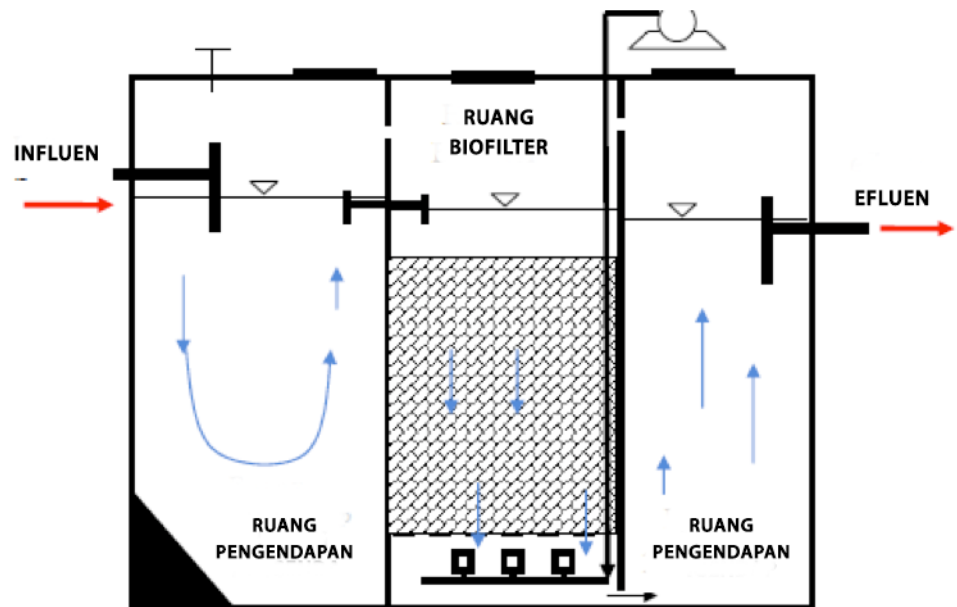
Faktor Perencanaan	Kriteria
Waktu detensi rata-rata (jam)	6 -8
Tinggi ruang lumpur (m)	0.5
Tinggi bed media pembiakan mikroba (m)	0.9 – 1.5
Tinggi air di atas bed media (cm)	20
Beban BOD persatuan permukaan media (L _A) (g BOD/m ² .hari)	5 - 30

2. Biofilter Aerobik

Biofilter aerobik dioperasikan dengan tambahan pasokan oksigen melalui injeksi udara menggunakan unit kompresor atau *blower* dari bagian bawah medifilter dengan tekanan tertentu lewat media porous (unit diffuser) atau pipa berlobang (*perforated pipe*). Gambar 45 menjelaskan model biofilter aerobik satu kompartemen.

Biofilter aerobik dioperasikan dengan beban pengolahan lebih rendah, oleh karena itu biofilter aerobik umumnya diletakkan setelah proses anaerobik Pada unit pengolahan biofilter aerobik memungkinkan pengolahan air limbah dengan lapisan biofilm dan juga pengolahan air limbah oleh mikroorganisme tersuspensi. Proses ini akan meningkatkan efisiensi penguraian zat organik, deterjen dan mempercepat proses nitrifikasi. Proses ini juga disebut dengan Kontak Aerasi. Dari kompartemen biofilter

aerobik, air limbah dialirkan ke ruang pengendap akhir.



Gambar 41 Ilustrasi biofilter aerobik satu kompartemen

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja biofilter aerobik antara lain yakni:

- a) **Beban Organik (*Organic Loading*)**
Beban organik didefinisikan sebagai jumlah senyawa organik di dalam air limbah yang dihilangkan atau didegradasi di dalam biofilter per unit volume per hari. Beban organik yang sangat tinggi dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme, dan pada konsentrasi tertentu dapat mengakibatkan kematian mikroorganisme.
- b) **Beban Hidrolis (*Hydrolic Loading*)**
Beban hidrolis dinyatakan sebagai volume air buangan yang

dapat diolah per satuan waktu per satuan luas permukaan media. Beban hidrolis yang tinggi dapat menyebabkan pengelupasan lapisan biofilm yang menempel pada media, sehingga efisiensi pengolahan menjadi turun.

c) Kebutuhan Oksigen (DO)

Kandungan oksigen terlarut dalam biofilter aerobik terendam harus dijaga antara 2 – 4 mg/l. Oksigen berperan dalam proses oksidasi, sintesa dan respirasi dari sel.

d) Logam berat

Logam-logam berat seperti Hg, Ag, Cu, Au, Zn, Li dan Pb walaupun dalam konsentrasi yang rendah akan bersifat racun terhadap mikroorganisme. Daya bunuh logam berat pada kadar rendah ini disebut daya oligodinamik.

Perencanaan biofilter aerobik dapat menggunakan kriteria desain sebagai berikut:

Tabel 56 Kriteria desain biofilter aerob

Faktor Perencanaan	Kriteria
Waktu detensi rata-rata (jam)	6 -8
Tinggi ruang lumpur (m)	0.5
Tinggi bed media pembiakan mikroba (m)	1.2
Tinggi air di atas bed media (cm)	20
Beban BOD persatuan permukaan media (L _A) (g BOD/m ² .hari)	5 - 30

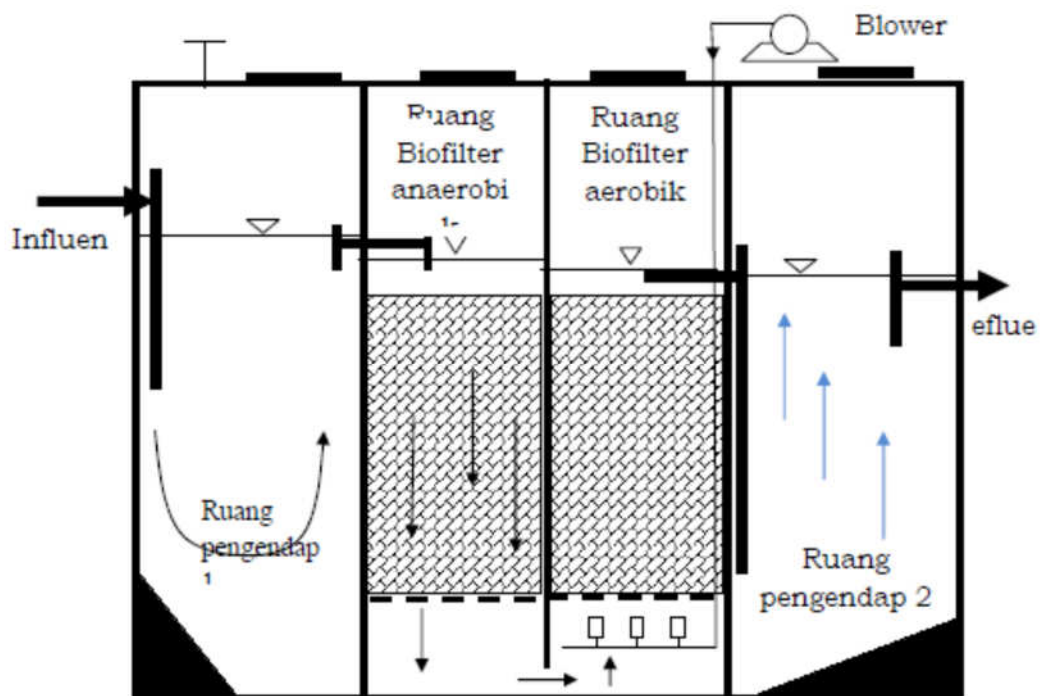
3. Biofilter Anaerobik-Aerobik (*Hibride*)

Pengolahan air limbah domestik dengan proses biofilter anaerobi-aerobik merupakan proses pengolahan air limbah dengan menggabungkan proses biofilter aerob dan proses biofilter anaerob.

Kombinasi proses anaerob dan aerob dapat menurunkan zat organik (BOD, COD), konsentrasi ammonia, deterjen, padatan tersuspensi, bakteri E. Coli dan phospat.

Kombinasi proses Anaerob-Aerob, menghasilkan efisiensi pengurangan senyawa phospor lebih besar dari proses anaerob atau proses aerob saja. Selama berada pada kondisi anaerob, senyawa phospor anorganik yang ada dalam sel mikrooragnisme akan keluar sebagai akibat hidrolisa senyawa phospor. Sedangkan energi yang dihasilkan digunakan untuk menyerap BOD (senyawa organik) yang ada di dalam air

limbah domestik. Selama berada pada kondisi aerob, senyawa fosfor terlarut akan diserap oleh bakteri/mikroorganisme dan akan disintesa menjadi polyphosphat dengan menggunakan energi yang dihasilkan oleh proses oksidasi senyawa organik (BOD). Dengan demikian kombinasi proses Anaerob-Aerob dapat menghilangkan BOD maupun fosfor dengan baik. Proses ini dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban organik yang cukup besar.



Gambar 42 Ilustrasi model unit biofilter anaerobik - aerobik

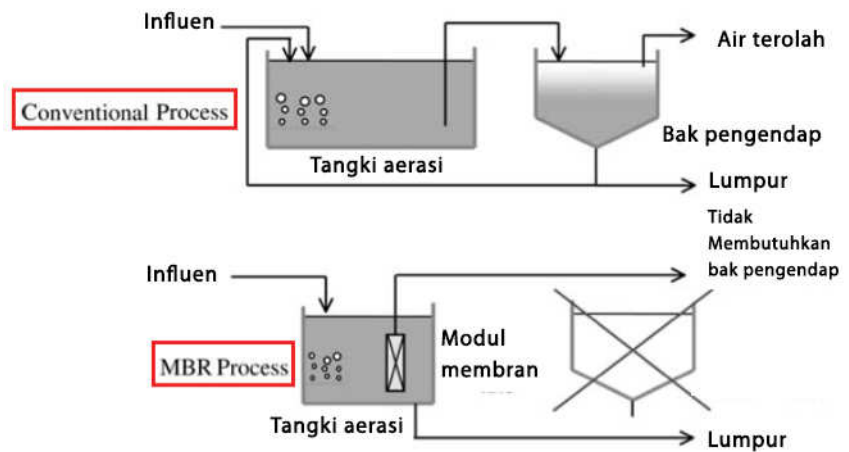
Keunggulan proses pengolahan air limbah dengan Biofilter Anaerob-Aerob antara lain:

- a) pengelolaannya sangat mudah;
- b) tidak perlu lahan luas;
- c) biaya operasinya rendah;

- d) dibandingkan dengan proses lumpur aktif, lumpur yang dihasilkan relatif sedikit;
- e) dapat menghilangkan nitrogen dan phospor yang dapat menyebabkan eutrophikasi;
- f) suplai udara untuk aerasi relatif kecil;
- g) dapat digunakan untuk air limbah dengan beban BOD yang cukup besar;
- h) dapat menghilangkan padatan tersuspensi (SS) dengan baik.

g. Bioreaktor Membran (*Membrane bioreactor/MBR*)

Bioreaktor Membran merupakan suatu sistem pengolahan air limbah yang mengaplikasikan penggunaan membran yang terendam di dalam suatu bioreaktor. Pengolahan yang terjadi di dalam bioreaktor mirip dengan unit pengolahan lumpur aktif, zat organik di dalam air limbah akan didegradasi secara biologis oleh mikroorganisme aerob kemudian terjadi pemisahan solid (lumpur). Pada MBR proses pemisahan solid dilakukan menggunakan membran sementara pada *Activated Sludge* pemisahan solid dilakukan secara gravitasi di dalam tangki pengendapan. Perbandingan antara MBR dengan *Activated Sludge* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 43 Perbedaan Sistem Proses Konvensional dan *Membran Bioreactor* (MBR)

Karakteristik utama dari MBR antara lain:

1. Tidak memerlukan bak pengendap (*clarifier*) sehingga dapat menghemat penggunaan lahan;
2. Konsentrasi MLSS (*mixed liquor suspended solids*) yang tinggi dapat memaksimalkan jumlah BOD yang masuk ke dalam modul MBR untuk diolah sehingga dapat mengurangi waktu pengolahan;
3. Pembuangan lumpur dapat dilakukan langsung dari dalam reaktor;
4. Kualitas penyisihan beban organik yang tinggi; dan
5. Sehingga air hasil olahannya dapat digunakan kembali (misalnya untuk *boiler*).

Pelaksanaan perencanaan MBR dapat menggunakan kriteria desain berikut ini:

Tabel 57 Kriteria desain MBR

No.	Kriteria	Satuan	Keterangan
1.	SRT	Hari	≤30 hari
2	HRT	Jam	>6 jam
3	MLSS	Kg/m ³	12 – 16
4	BOD5 loading rate	Kg.m ³ /hari	0.4 -0.7
5	Organic Removal		
	BOD	%	98 -99
	NH ₄ ⁺	%	99.2
	P	%	96,6
	TSS	%	99.9
	COD	%	99

h. Unit Reaktor Biofilm dengan Media Bergerak(*Moving Bed Biofilm Reactor /MBBR*)

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) merupakan proses pengolahan yang sederhana dan membutuhkan luas lahan yang lebih sedikit. Teknologi MBBR menggunakan beribu biofilm dari *polyethylene* yang tercampur di dalam suatu reaktor dengan aerasi terus-menerus.

Keuntungan unit pengolahan MBBR antara lain:

- 1. tidak membutuhkan biaya yang besar;
- 2. perawatan relatif mudah karena MBBR mampu memproses secara alamiah merawat bakterinya sendiri pada level optimum dari biofilm yang produktif;
- 3. tidak membutuhkan pengembalian lumpur;
- 4. tidak perlu mengatur F/M ratio atau tingkat MLSS yang ada dalam reaktor;

5. MBBR sangat efektif dalam mereduksi BOD, nitrifikasi, dan menghilangkan nitrogen.

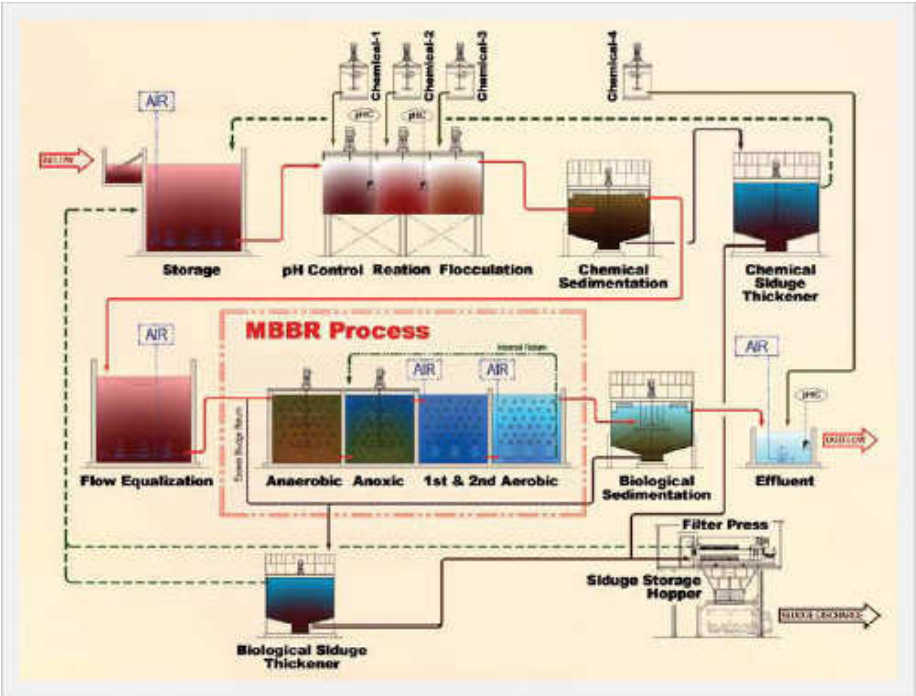
Proses MBBR mempertahankan volume besar biofilm dalam proses pengolahan air limbah biologis. Akibatnya, degradasi kontaminan *biodegradable* yang berkelanjutan dalam ukuran tangki yang sama, tanpa perlu melakukan pengembalian lumpur. Proses ini memberikan peningkatan perlindungan terhadap *toxic shock*, sementara secara otomatis menyesuaikan untuk memuat fluktuasi.

Proses MBBR cocok diterapkan untuk permasalahan nitrifikasi karena prosesnya memungkinkan perkembangbiakan bakteri nitrifikasi pada area permukaan media. Bakteri nitrifikasi memiliki tingkat pertumbuhan yang relatif lambat dan sangat dipengaruhi oleh suhu air. Dalam reaktor MBBR, kondisi tersebut telah diatur sehingga proses nitrifikasi dapat teratasi dengan sangat baik.

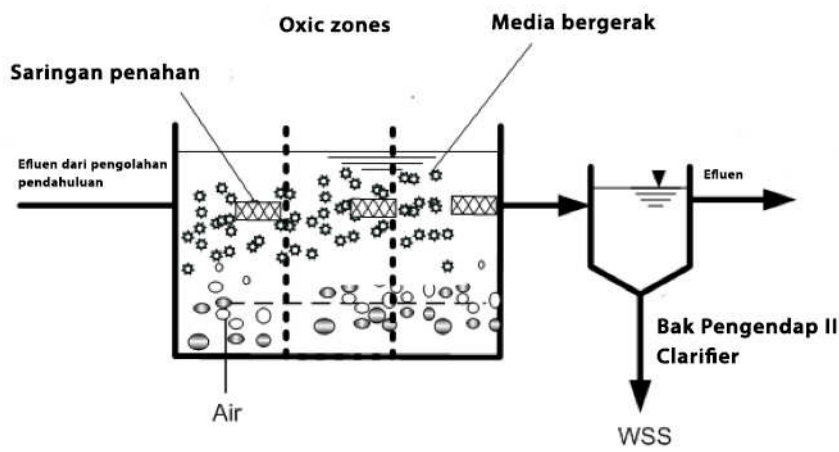
Pada unit MBBR salah satu tantangan terbesar untuk mencapai pengolahan nitrifikasi dengan menjaga jumlah bakteri nitrifikasi tanpa mencuci mereka keluar dari sistem.

Teknologi MBBR memungkinkan terjadinya proses nitrifikasi dengan mempertahankan jumlah bakteri nitrifikasi tanpa bergantung pada waktu retensi padatan (SRT) ataupun MLSS.

Berikut ini skema proses MBBR.



Gambar 44 Diagram Alir *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)



Gambar 45 Skematik Proses MBBR

Pelaksanaan perencanaan MBBR dilaksanakan berdasarkan persyaratan teknis dan kriteria desain berikut ini:

Tabel 58 Kriteria desain perencanaan MBBR

No.	Kriteria	Satuan	Keterangan
1.	Anoxic HRT	jam	0.5 – 2
2.	Aerobic HRT	jam	1 – 4
3.	Luas Permukaan Biofilm Elemen Pembawa	m ² /m ³	500 -1200
4	Biomassa per unit luas permukaan	g TS/m2	5 – 25
5	BOD SALR	g/m ² .hari	7.5 – 25
6	COD SALR	g/m ² .hari	15 – 50
7	NH4-N SALR	g/m ² .hari	0.45 -1

Keterangan :
*) Kriteria desain berdasarkan debit rata-rata
**)SALR = *Surface Area Loading Rate*
Sumber : (Brinkley J, et all, 2007)

Bangunan pengolahan air limbah domestik secara biologis anaerobik meliputi:

a. Filter Anaerobik (*Anaerobic Filter*)

Anaerobic filter merupakan unit pengolahan biologis dengan metode filtrasi *fixed-bed*. Air limbah domestik dalam reaktor ini mengalir melalui filter, sehingga partikel dapat tersaring dan bahan organik didegradasi oleh lapisan biofilm yang melekat pada media. Unit ini dilengkapi media untuk tempat berkembangnya koloni bakteri yang membentuk *biofilm* (lendir).

Beban organik pada air limbah diolah dengan proses fermentasi yang ditimbulkan bakteri.

Pada unit filter anaerobik, lapisan biofilm yang melekat pada media akan menebal, hal ini dapat menyebabkan penyumbatan aliran air limbah domestik, sehingga unit ini membutuhkan pencucian berkala terhadap media, misalnya dengan metoda *backwashing*.

Unit anaerobic filter dapat dibedakan berdasarkan metode pengaliran air limbah domestik yang diolah yaitu secara *upflow* atau *downflow*, salah satu unit yang umum diterapkan untuk mengolah air limbah domestik adalah *Upflow Anaerobic Filter*.

Upflow Anaerobic Filter (UAF) digunakan untuk pengolahan air limbah *black water* maupun *grey water*. Sistem aliran dari bawah ke atas akan mengurangi kecepatan partikel yang terdapat pada air limbah dan akan meningkatkan efisiensi pengolahan. Efluen UAF sebaiknya dibubuhi desinfektan (kaporit atau khlorine) sebelum dibuang ke badan air penerima.

Proses pengolahan dilakukan dengan mengalirkan air limbah kedalam bak pengurai (digester) pertama, selanjutnya dialirkan ke bak pengurai kedua. Bak pertama dan kedua berfungsi sebagai pengendap sekaligus pengurai sebagaimana fungsi tangki septik. Air limbah dari bak pengurai kedua dialirkan ke media UAF dengan aliran dari bawah ke atas.

UAF berfungsi untuk menurunkan kandungan minyak atau lemak, senyawa organik (BOD, COD) dan total padatan tersuspensi (TSS), namun tidak sesuai untuk menurunkan kandungan amoniak, detergen dan hidrogen sulfida.

Kelebihan reaktor ini adalah tahan terhadap *shock loading*, tidak membutuhkan energi listrik, biaya operasional dan perawatan tidak terlalu

mahal, dan efisiensi BOD dan TSS tinggi. Kelemahan reaktor ini adalah effluentnya membutuhkan pengolahan tambahan, efisiensi reduksi bakteri patogen dan nutrient rendah, membutuhkan *start up* yang lama.

Keunggulan sistim UAF antara lain mampu menurunkan pencemar organik terlarut maupun padatan tersuspensi dengan konsentrasi yang tinggi dan tahan terhadap kejutan beban organik maupun beban hidrolis.

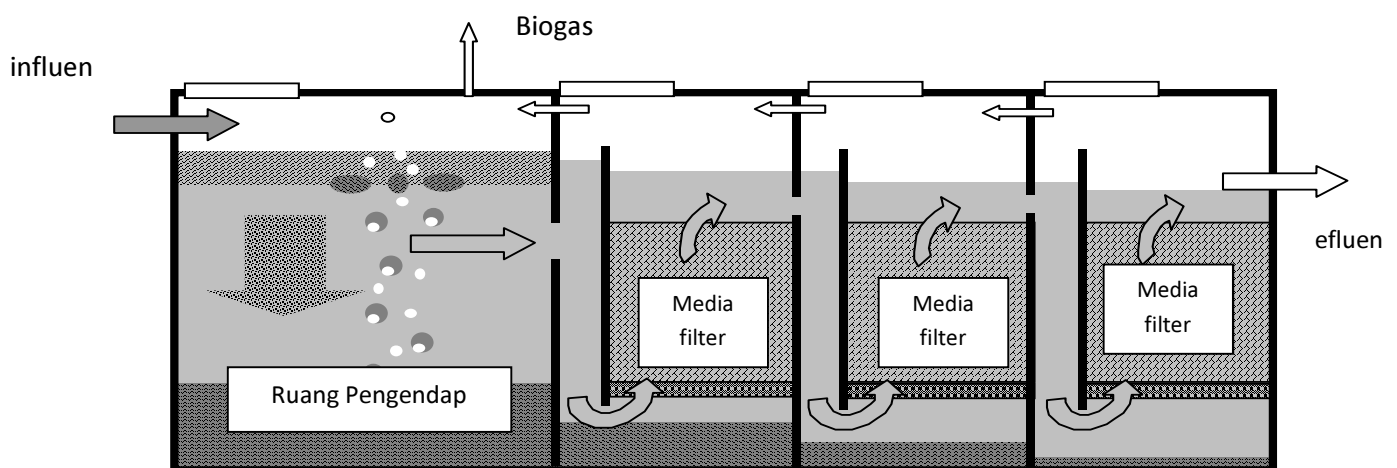
Unit UAF dapat dipergunakan untuk mengolah air limbah domestik antara lain dari kegiatan rumah tangga, restoran, hotel, rumah sakit; air limbah industri dengan karakteristik setara dengan air limbah domestik dengan rasio BOD/COD $\geq 0,3$ dapat diaplikasikan pada level rumah tangga atau skala kawasan permukiman kecil. Khususnya yang memiliki cukup pasokan air untuk mencuci pakaian, mandi, dan menggelontor kloset.

Persyaratan teknis perencanaan unit UAF:

1. Unit UAF terdiri dari tangki sedimentasi yang dilanjutkan dengan 1-3 kompartemen filter.
2. Media filter yang digunakan bisa dari kerikil ($\varnothing 2-3$ cm), bola plastik atau tutup botol plastik dengan diameter antara 5 cm s/d 15 cm.
3. Ukuran diameter media filter yang digunakan berkisar 12 sampai 55. Dengan perkiraan luas permukaan biofilm antara 90 sampai 300m² luas

permukaan *biofilm* per 1m^3 volume reaktor.

4. Air limbah domestik harus mencakup media filter setidaknya 0.3 bagian dari tinggi bak untuk menjamin terjadinya aliran pada media filter.
5. Air limbah dengan kandungan minyak dan lemak harus dilengkapi dengan unit perangkat lemak sebelum dialirkan ke dalam UAF.
6. Lokasi penempatan tangki UAF harus mudah dijangkau dalam pembangunan, operasi dan pemeliharaan.
7. Tangki UAF dapat dibangun diatas permukaan tanah maupun tertanam dalam tanah (*underground*).
8. Tangki UAF harus kedap air, tidak digunakan di daerah dengan permukaan air tanah yang tinggi atau sering dilanda banjir.



Gambar 46 Model IPALD sistem *Upflow Anaerobic Filter*

Kriteria desain perencanaan UAF untuk Unit Pengolahan Setempat dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 59 Kriteria desain perencanaan UAF Setempat

No.	Faktor perencanaan	Kriteria	Keterangan
1	<i>Organic loading</i> Kg COD/m ³ .hari	4 -5	
2	Waktu detensi (hari)	1.5 - 2	Minimal 0.2 hari untuk UAF yang mengolah grey water dan black water Minimal 0.5 hari untuk UAF yang mengolah black water
3	Volume anaerobik filter (m ³ /kapita)	0.5 - 1	Perkiraan

Kriteria desain perencanaan instalasi pengolahan air limbah domestik (IPALD) dengan UAF meliputi kriteria perencanaan bak pengendap awal, reaktor UAF.

Tabel 60 Kriteria desain perencanaan UAF untuk IPALD

No.	Faktor perencanaan	Kriteria
1	Media filter	
	Ukuran	2 – 6 cm
	<i>Specific Gravity</i>	≈1
	Porositas rongga media	70 – 95 %
	Luas permukaan	90 – 300

	media filter	m ² /m ³ media
2	Kedalaman media dalam filter (H)	90 -150 cm
3	Waktu tinggal hidrolis dalam filter (td)	0.5 – 4 hari
4	Beban organik (<i>Organic Loading Rate</i>)	0.2 - 15 Kg COD/m ³ .hari
5	Efisiensi penyisihan BOD	70 – 90 %
6	Tinggi air di atas media (h)	20 cm
7	Jarak plat penyangga media dengan dasar bak UAF	50 – 60 cm
8	Plat penyangga media memiliki lubang atau bukaan maksimum	10 cm

Perencanaan UAF dilaksanakan dengan formulasi berikut ini:

1. Pengendap awal sebagai Tangki Septik

a) Waktu tinggal hidrolik (Tdh) minimum dalam tangki septik dihitung dengan rumus:

$$Tdh = 1.5 - 0.3\log(P \times Q)$$

Keterangan:

Tdh = Waktu penahanan minimum untuk pengendapan

P = Jumlah orang

Q = Debit timbulan air limbah

domestik (liter/orang/hari)

- b) Waktu tinggal hidrolis untuk tangki septik hanya menampung limbah WC (terpisah) :

$$T_{dh} = 2.5 - 0.3 \log(P \times Q)$$

Keterangan:

T_{dh} = Waktu penahanan minimum untuk pengendapan

P = Jumlah orang

Q = Debit timbulan air limbah domestik (liter/orang/hari)

- c) Volume penampungan lumpur dan busa

$$V_{lumpur} = P \times N \times S$$

Keterangan:

P = Jumlah orang yang dilayani

N = Jumlah tahun, jangka waktu pengurusan lumpur (min 2 tahun)

Q = Debit timbulan air limbah domestik (liter/orang/hari)

S = Rata-rata lumpur terkumpul (liter/orang/tahun)

25 liter untuk WC yang hanya menampung kotoran manusia.

40 liter untuk WC yang juga menampung air limbah dari kamar mandi.

- d) Volume cairan dalam tangki Septik :

$$V_{cairan} = P \times Q \times T_h$$

Keterangan:

T_h = Waktu penahanan minimum untuk pengendapan (hari)

P = Jumlah orang

Q = Debit timbulan air limbah domestik (liter/orang/hari)

2. UAF

Rumus Perencanaan :

a. Volume Ruang Biofiltrasi =

$$Q \times t_d$$

b. Volume media =

$$\frac{(Q \times COD)}{Beban\ Organik}$$

b. Reaktor Anaerobik Aliran ke atas menggunakan Lapisan Lumpur (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket/UASB*)

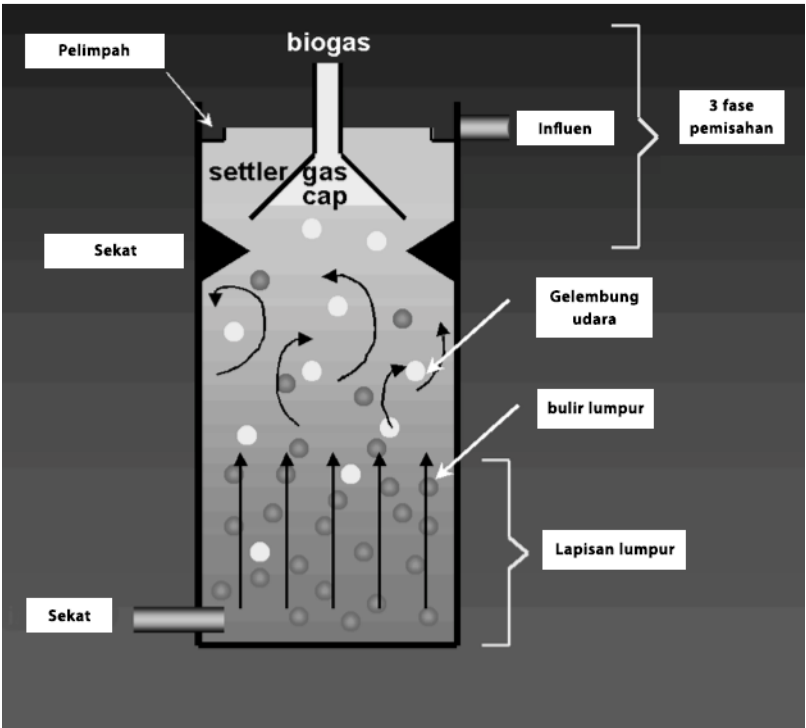
Unit UASB merupakan unit digunakan untuk pengolahan air limbah *black water*. Unit ini menstimulasi pembentukan selimut lumpur yang terbentuk di tengah tangki oleh partikel dan mengendapkan partikel yang dibawa aliran ke atas.

Dengan kecepatan aliran naik ke atas yang perlahan, maka partikel yang semula akan mengendap akan terbawa ke atas, tetapi aliran juga tidak terlalu lambat karena akan mengakibatkan terjadi pengendapan didasar.

Jadi pengaturan aliran konstan dalam tangki mutlak diperlukan, maka dibutuhkan pelengkap unit sistem *buffer* untuk penampungan fluktuasi debit yang masuk sebelum didistribusikan ke tangki UASB.

Tabel 61 Kriteria desain perencanaan UASB

No.	Faktor perencanaan	Kriteria	Keterangan
1	Hydraulic Loading (m ³ /m ² .hari)	20	
2	Kecepatan aliran keatas (konstan) (m/jam)	0.83	
3	Waktu retensi (jam)	6 – 8	
4	BOD minimal	1000 mg/L	Jika beban organik rendah akan sukar terbentuk <i>sludge blanket</i>
5	COD	3 - 12 mg COD/m ³	
6	Konsentrasi biomass	30.000 – 80.000 mg/L	
7	<i>Hydraulic Detention Time</i>	4 – 12 jam	
8	<i>Efisiensi Penyisihan</i>	75 – 90 %	
9	<i>Upflow velocity</i>	0.6 – 0.9 m/jam	



Gambar 47 Tipikal Unit Pengolahan UASB

- c. Kolam Anaerobik (*Anaerobic Pond*)
- Kolam anaerobik umumnya dibangun tanpa penutup, tetapi pada permukaan air limbah domestik diharapkan tertutup oleh *scum* hasil proses fermentasi.
- Perencanaan kolam anaerobik dilaksanakan sesuai kriteria desain berikut ini.

Tabel 62 Kriteria desain kolam anaerobik

No.	Faktor perencanaan	Kriteria	Keterangan
1	Kedalaman kolam	2 – 5 m	
2	Organic loading (g BOD/m ³ .hari)	300 – 350	
3	Waktu tinggal	1 – 2 hari	
4	Lapisan dasar kolam		
		Menggunakan pasangan batu	
		Lapisan tanah	Tanah liat +

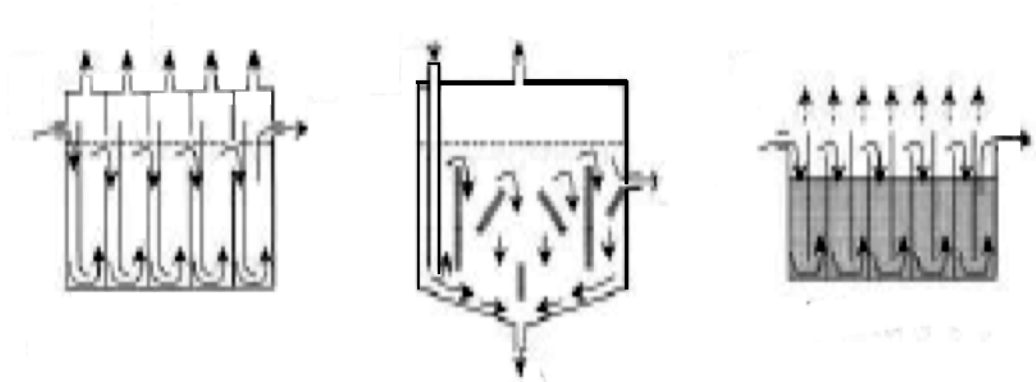
No.	Faktor perencanaan	Kriteria	Keterangan
		kedap air	pasir 30%
		Lapisan geomembran	

d. Reaktor Bersekat Anaerobik (*Anaerobic Baffled Reactor/ ABR*)

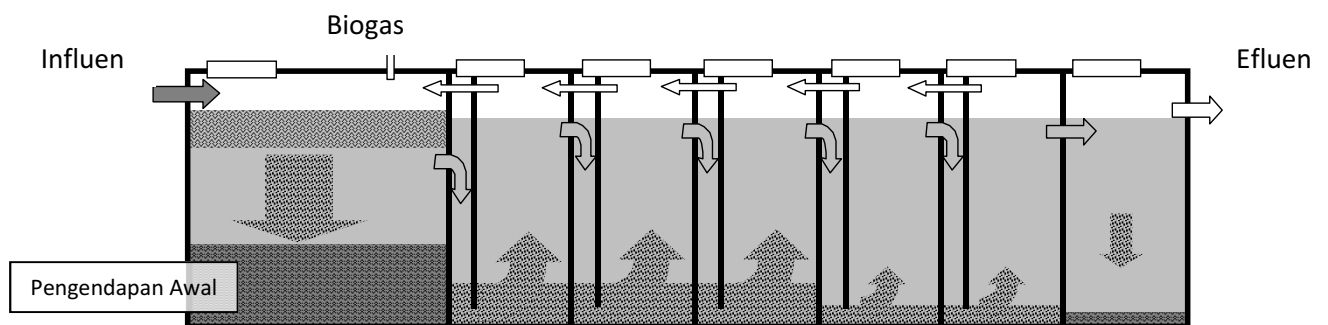
Anaerobic Baffle Reactor (ABR) merupakan unit pengolahan biologis dengan metode *suspended growth* dengan memanfaatkan sekat (baffle). Sekat pada ABR berfungsi sebagai pengaduk untuk meningkatkan kontak antara air limbah domestik dan mikroorganisme.

Kelebihan unit ABR antara lain pengoperasian ABR tidak membutuhkan energi listrik dan memiliki efisiensi penyisihan beban organik yang cukup baik. Sedangkan kekurangan unit ABR antara lain rendahnya reduksi bakteri patogen dan nutrient, efluen air limbah masih membutuhkan pengolahan tambahan, dan membutuhkan *pre-treatment* untuk mencegah terjadinya *clogging*.

Aliran yang terjadi dalam ABR merupakan aliran *upflow* dan *downflow*. Mikroorganisme berkembang dalam lapisan lumpur yang terakumulasi di dasar kompartemen.



Gambar 48 Modifikasi *Anaerobic Baffle Reactor*



Gambar 49 Model aliran air limbah dalam ABR

ABR dapat menurunkan senyawa organik (BOD,COD) dan total padatan tersuspensi (TSS). Namun unit ini tidak dapat mengolahsenyawa amoniak, deterjen dan hidrogen sulfida.

Unit ABR dapat digunakan untuk mengolah air limbah domestik antara lain dari kegiatan rumah tangga, restoran, hotel, rumah sakit; air limbah industri rumah tangga dengan karakteristik setara dengan air limbah domestik dengan ratio $BOD/COD \geq 0,3$.

Perencanaan unit ABR dilaksanakan berdasarkan persyaratan teknis, kriteria desain dan formulasi berikut ini:

Persyaratan teknis perencanaan ABR adalah sebagai berikut:

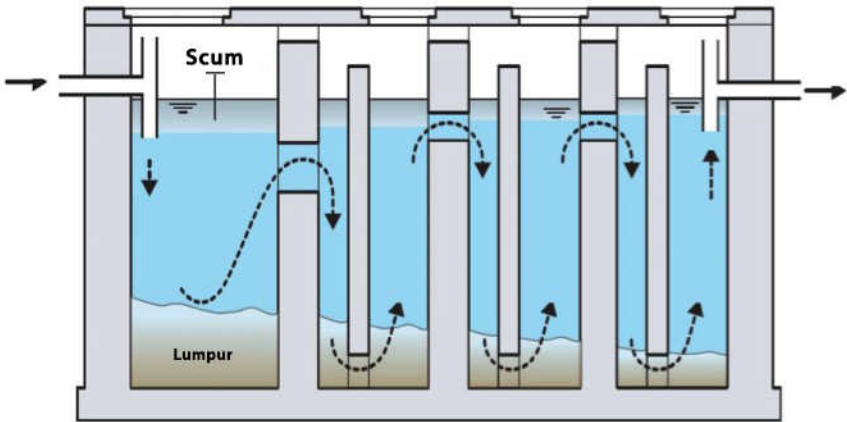
1. tersedia lahan untuk penempatan

- IPALD dengan sistem ABR;
2. lokasi penempatan ABR harus mudah dijangkau dalam pembangunan, operasi dan pemeliharaan;
 3. air limbah domestik harus dilengkapi dengan unit perangkap lemak sebelum dialirkan kedalam ABR;
 4. ABR tidak digunakan di daerah dengan permukaan air tanah yang tinggi atau daerah banjir atau pasang surut;
 5. dapat diaplikasikan pada skala komunal atau skala permukiman kecil, khususnya yang memiliki cukup pasokan air untuk mencuci pakaian, mandi, dan menggelontor kloset.
 6. unit ABR dapat juga berfungsi sebagai pengolahan pendahuluan untuk membantu meringankan pengolahan lanjutan yang dilakukan secara aerobik.
 7. sistem ABR sebagai pengolahan pendahuluan apabila konsentrasi $BOD > 300 \text{ mg/L}$

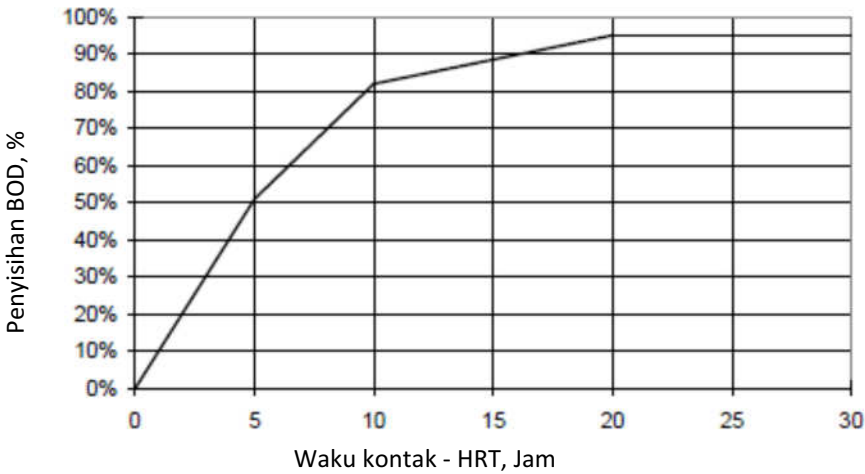
Tabel 63 Kriteria desain perencanaan ABR

Faktor perencanaan	Kriteria	Keterangan
Up flow velocity	<2 m/jam	
Panjang	50 – 60%	Dari tinggi bak
Penyisihan COD	65 – 90%	
Penyisihan BOD	70 - 95%	

Organic Loading	<3Kg COD/m ³ .hari	
Hydraulic Retention Time	6– 20 jam	
Organic loading rate (OLR)	1.2 - 1.5 gCOD/L.hari	Pada temperatur mesofilic (23- 31°C)
	0.1 – 8 KgCOD/m ³ .hari	
V _{UP} Laju aliran keatas	<2,0 m/jam	



Gambar 50 Skematik *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)



Gambar 51 Korelasi HRT dan persentasepenyisihan BOD pada ABR

Bangunan pengolahan air limbah secara biologis kombinasi

a. Kolam Stabilisasi

Pengolahan pada kolam stabilisasi memanfaatkan proses paling sederhana, dengan mengandalkan produksi O₂ dari proses fotosintesis alga. Sedangkan hasil penguraian beban organik oleh bakteri menjadi posfat dan amoniak diperlukan alga sebagai nutrisinya (*fertilizer*) untuk pertumbuhannya.

Kolam stabilisasi terdiri dari tiga unit kolam, yaitu kolam anaerobik, kolam fakultatif, dan kolam maturasi.

Kolam anerobik berfungsi untuk mengolah beban organik dengan proses anaerobik.

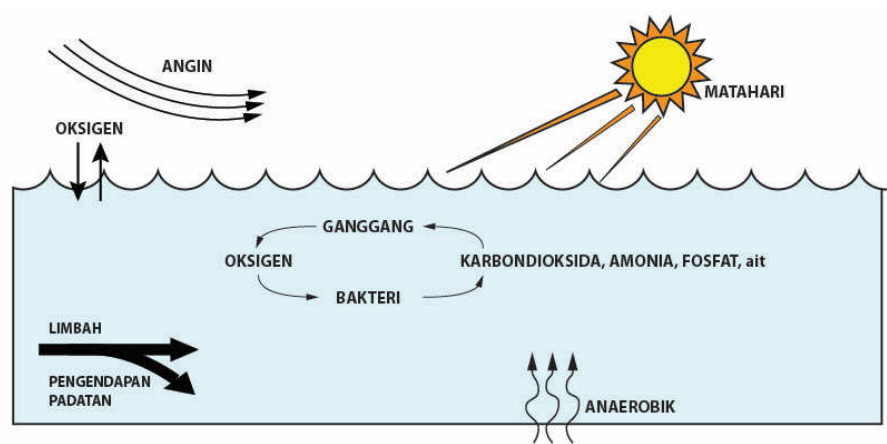
Kolam fakultatif dikondisikan sehingga pada bagian permukaan kolam terjadi proses aerobik dan dibagian dasar kolam terjadi proses anaerobik.

Kolam maturasi digunakan untuk mengurangi bakteri *fecal coliform* yang mungkin masih ada di efluen kolam fakultatif. Kolam maturasi juga dapat disubstitusi dengan unit pembubuhan disinfektan

Tabel 64 Kriteria desain Kolam Stabilisasi

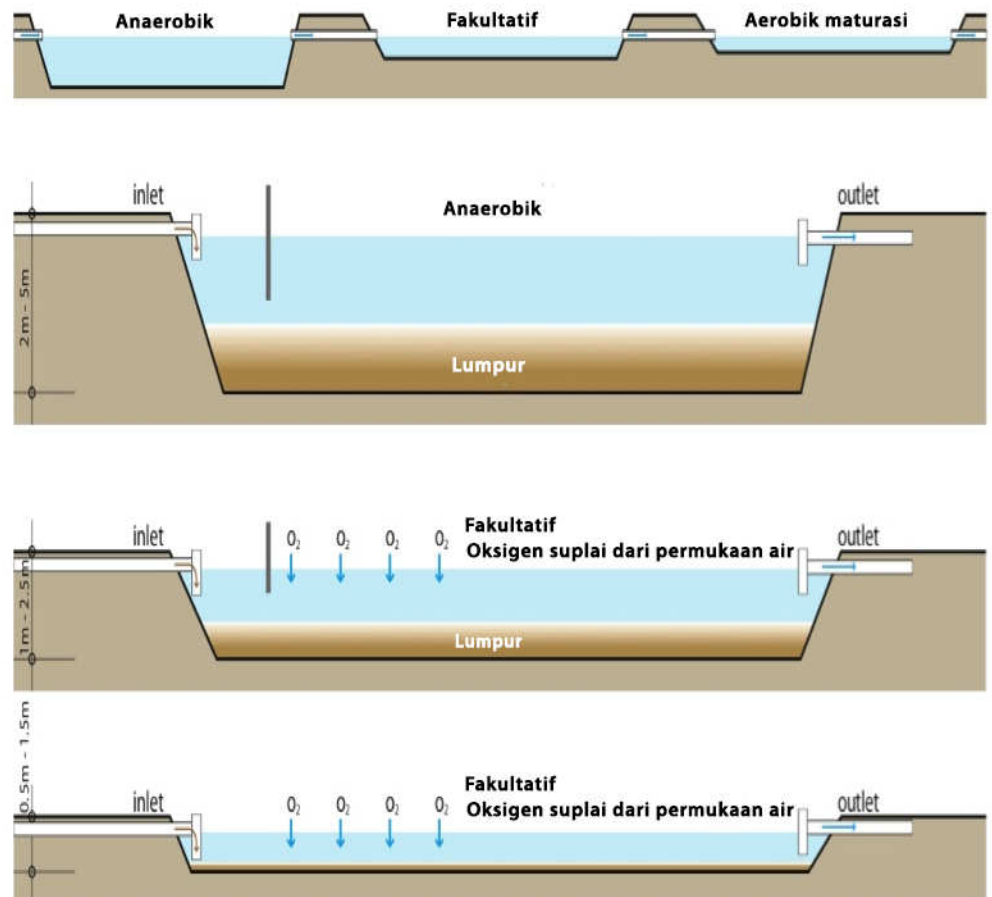
Unit	Faktor Perencanaan	Kriteria	Keterangan
Kolam anaerobik	Penyisihan BOD	50 – 70 %	
	Waktu detensi	1 – 2 hari	

	Kedalaman kolam	2.5 - 4 m	
Kolam fakultatif	Kebutuhan lahan	250 – 300 Kg BOD/ ha.hari.	
	Kedalaman kolam	1.5 - 2 m	
Kolam maturasi	Kedalaman kolam	1 m	
	Waktu detensi	5 – 10 hari	



Gambar 52 Proses Ekologi di dalam Kolam Fakultatif

Efluen dari kolam stabilisasi dapat digunakan untuk keperluan irigasi, untuk kolam ikan peliharaan, dan pengisian air tanah (*ground water recharging*).



Gambar 53 Skema Kombinasi Unit Pengolahan Kolam Stabilisasi

b. Pengolahan Anoxic

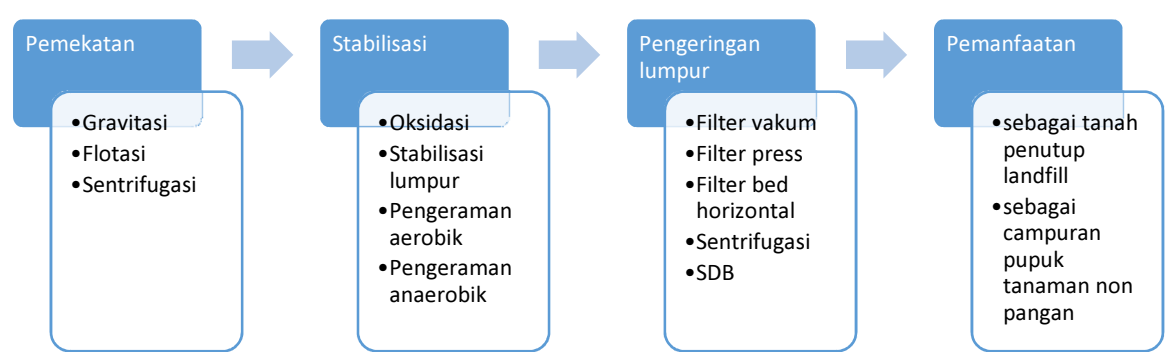
Pengolahan anoxic digunakan apabila senyawa nitrat pada influen air limbah domestik dalam konsentrasi tinggi, sehingga dibutuhkan unit untuk mengolah senyawa tersebut.

Contoh pengolahan anoxic dapat dilakukan dengan memodifikasi unit lumpur aktif. Tangki aerasi yang terdapat pada unit lumpur aktif dapat dimodifikasi menjadi tangki reaktor anoksik. Untuk mengkondisikan tangki aerasi menjadi tangki reaktor anoksik dengan mematikan aerator dalam waktu tertentu. Pada kondisi tersebut mikroba dapat mengambil

oksigen yang terikat dalam air limbah. Ketika mikroba mengambil oksigen terikat inilah terjadi proses anoxic atau lebih dikenal dengan proses denitrifikasi

Bangunan Pengolahan Lumpur

Perencanaan Teknik Bangunan Pengolahan Lumpur merupakan bagian terakhir dari proses pengelolaan air limbah. Lumpur yang dihasilkan dari unit pengolahan air limbah masih perlu diolah agar aman bagi lingkungan.



Gambar 54 Alternatif Pengolahan Lumpur

Pada dasarnya lumpur hasil pengendapan dari bak pengendap pertama memiliki kadar air yang tinggi dengan bagian padat berkisar (0,5-4)%. Lumpur hasil pengolahan air limbah domestik skala kecil cukup dengan disalurkan ke *drying bed* atau pengering lumpur, kemudian lumpurnya dibuang. Sedangkan untuk pengolahan air limbah skala besar juga akan menghasilkan lumpur yang banyak, sehingga perlu dilakukan tambahan unit pengolah lumpur agar lumpur tidak mencemari lingkungan.

Karakteristik lumpur yang dihasilkan dari prasarana pengolahan air limbah

Tabel 65 Karakteristik lumpur hasil pengolahan air limbah

No	Unit Pengolahan	Konsentrasi lumpur
1.	Lumpur bak sedimentasi I	45 – 50 %
2.	Lumpur bak sedimentasi I dan lumpur aktif segar	45 -50 %
3.	Lumpur aktif segar	50%
4	Lumpur dari digester dan lumpur aktif	45 – 50%

Perencanaan bangunan pengolahan lumpur dijelaskan sebagai berikut:

(a) Unit Pemekatan (*Thickening*)

Unit pemekatan berfungsi untuk memekatkan lumpur yang dihasilkan oleh IPALD, dengan cara memisahkan lumpur dengan *supernatant* sehingga siap untuk diolah dalam *digester* secara lebih efektif. Lumpur yang diolah merupakan lumpur yang berasal dari tangki pengendapan pertama (lumpur fisik) dan kelebihan lumpur yang dihasilkan dalam tangki pengendapan kedua (lumpur biologis).

Pemekatan lumpur dapat dibedakan menjadi empat jenis metode, yaitu: pengentalan secara gravitasi (*gravity thickening*), pengentalan secara sentrifugal (*centrifugal thickening*), secara pengapungan (*floatation thickening*) atau dengan menggunakan filter bertekanan (*belt filter press thickening*). Jika konsentrasi solid dalam lumpur semula sebesar 2% maka setelah proses pemekatan, konsentrasi padatan dalam lumpur akan bertambah menjadi 5%, sehingga terjadi pengurangan volume lumpur sebesar $100 \% - (200/5) \% = 60\%$. Proses pengolahan lumpur dengan cara *thickening* dibagi menjadi tiga proses, yaitu *gravity*, *flotation*, dan *centrifuge*.

(1) Unit *gravity thickener*

Unit *Gravity thickener* merupakan pemekatan lumpur dengan memanfaatkan gravitasi, seperti pada bak sedimentasi I dan dioperasikan secara kontinu. *Gravity thickener* tidak dapat diterapkan untuk pemekatan lumpur, yang menggabungkan lumpur fisik dan lumpur aktif, dengan lumpur aktif melebihi 40% dari total berat lumpur. Untuk kondisi ini maka diperlukan metode lain untuk pengentalan lumpur aktif.

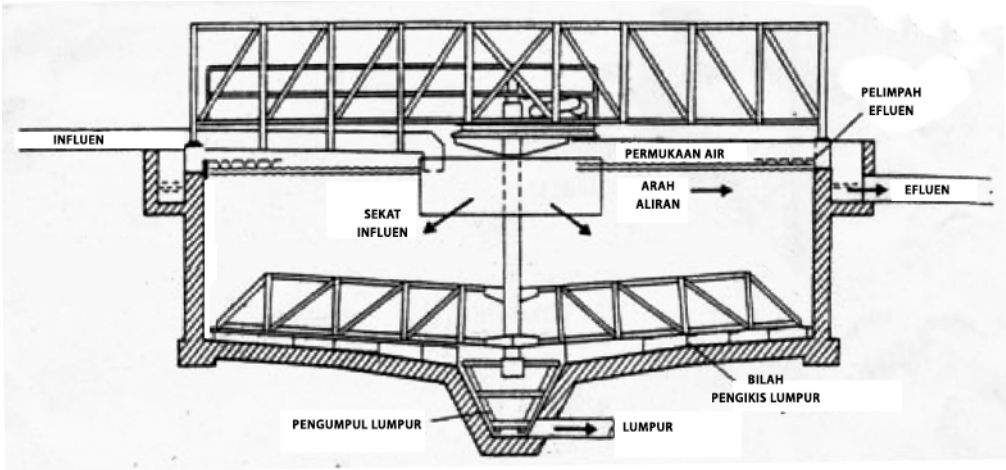
Perencanaan unit *gravity thickener* dilaksanakan dengan persyaratan teknis dan kriteria desain berikut ini:

- a. unit *gravity thickener* berbentuk lingkaran dengan influen dari pusat lingkaran tangki;
- b. unit *gravity thickener* memiliki efisiensi yang lebih baik bila digunakan pengaduk lambat, terutama untuk lumpur yang mengandung gas;
- c. berbentuk silinder dengan kedalaman ± 3 meter dengan dasar berbentuk kerucut untuk memudahkan pengurasan lumpur dengan waktu retensi selama 1 hari.

Perencanaan *Gravity Sludge Thickener* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain perencanaan berikut:

Tabel 66 Kriteria Perencanaan *Gravity Sludge Thickener*

Asal Lumpur	Konsentrasi Awal (%)	Consentration	Hydrolic Loading ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)	Solid Loading	Efisiensi pengendapan (%)	Over flow TSS (%)
		Thickened (%)		Rate ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)		
Pengendap I	1.0-7.0	5.0-10.0	24-33	90-14.4	85-98	300-1000
Trickling Filter	1.0-4.0	2.0-6.0	2.0-6.0	35-50	80-92	200-1000
Activated sludge	0.2-1.5	2.0-4.0	2.0-6.0	Oct-35	60-85	200-1000
Pengendap I+II	0.5-2.0	4.0-6.0	4.0-10.0	25-80	85-92	300-800



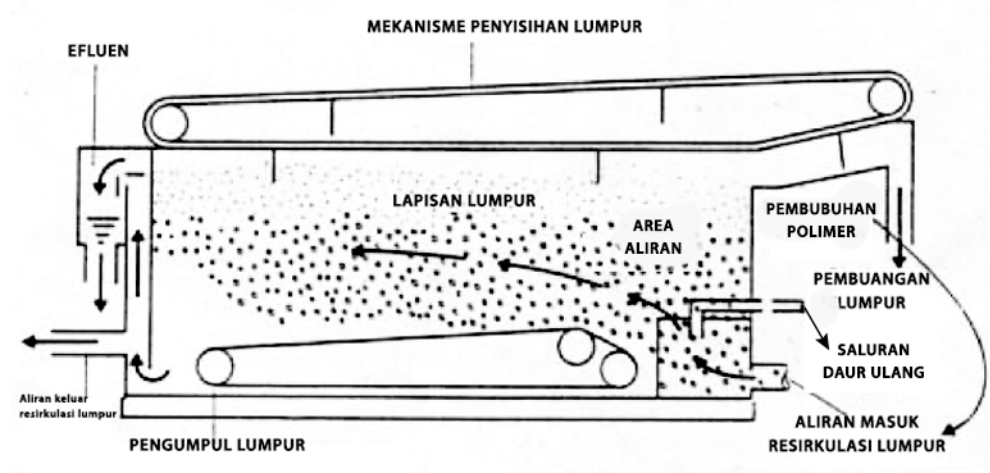
Gambar 55 Tipikal Unit Pengental Gravitasi (*Gravity Thickener*)

(2) Unit *flotation thickener*

Unit *flotation thickener* merupakan salah satu unit pemekatan lumpur dengan cara flotasi/pengapungan. Penerapan *flotation thickener* dapat mengurangi volume lumpur hingga (30-60)% dan mengkonsentrasikan *solid underflow*.

Mekanisme kerja *flotation thickener* melalui pemberian injeksi gelembung udara dengan tekanan tinggi, kemudian tekanan dihentikan sehingga gelembung udara naik dan menempel pada gumpalan lumpur. Hal ini menyebabkan lumpur naik ke atas permukaan bak dan akhirnya lumpur terkonsentrasi dan tersisihkan.

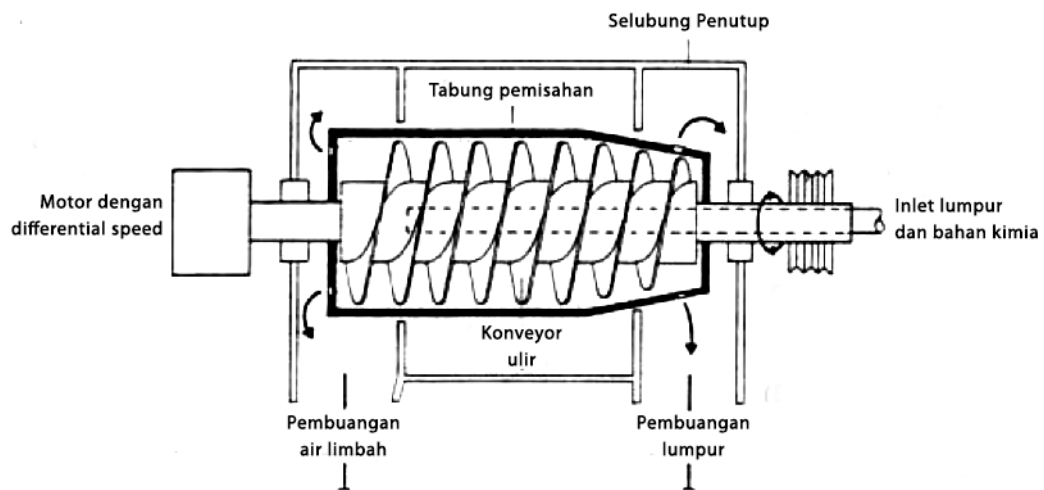
Persyaratan teknis untuk *floatation thickener* merupakan pemberian tekanan injeksi udara tipikal pada reaktor ini sebesar (345-483) kPa atau (3,4-4,8) atm. Contoh gambar *floatation thickener* terdapat pada gambar berikut.



Gambar 56 Tipikal Unit Pengental Pengapungan (*Flotation Thickener*)

(3) Unit *centrifugation thickener*

Unit *centrifugation thickener* dibagi menjadi tiga tipe yaitu *solid bowl decanter*, *basket type*, dan *nozzle separator*. Pemekatan dengan cara sentrifugal merupakan percepatan proses pemekatan dengan bantuan gaya sentrifugal yang bekerja secara kontinu. Alat ini juga dapat digunakan pada tahapan *dewatering*. Contoh gambar tipe *solid bowl decanter* terdapat pada Gambar 61.



Gambar 57 Tipikal Unit Pemisah Padatan dalam Tabung Berputar (*Solid Bowl Decanter*)

(b) Stabilisasi Lumpur dengan *Sludge Digester*

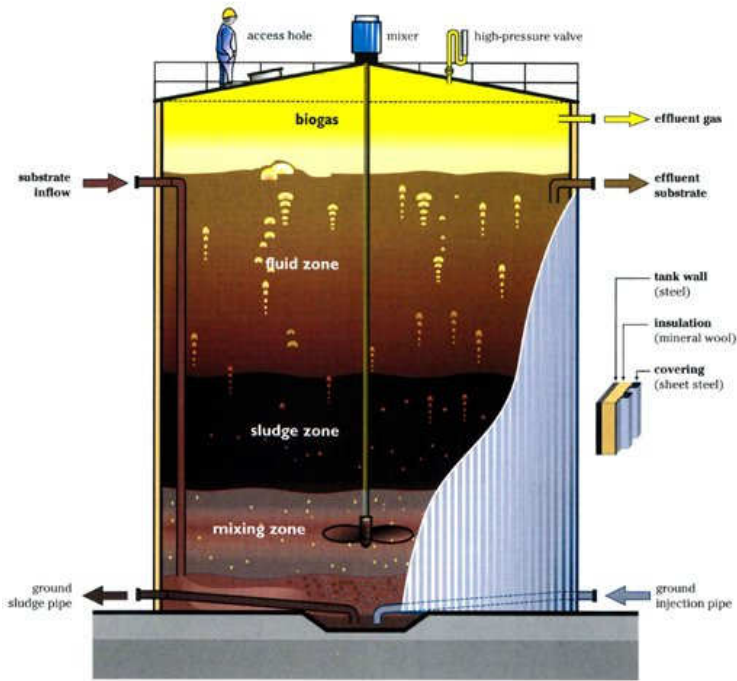
Unit stabilisasi lumpur diterapkan dengan tujuan untuk mengurangi bakteri *pathogen*, mengurangi bau yang menyengat dan mengendalikan pembusukan zat organik.

Stabilisasi lumpur dilakukan dengan proses kimia, fisika dan biologi yang disebut *anaerobic digester*.

Pengoperasian *sludge digester* dilaksanakan pada temperatur pengoperasian 35°C s/d 55°C. Pada kondisi tersebut bakteri *thermophilic* memegang peranan penting untuk proses penderaman, yang dapat meningkatkan laju pengolahan dalam *digester* menjadi lebih tinggi. Untuk kawasan tropis pada umumnya tidak memerlukan pemanasan tambahan. Perencanaan *sludge digester* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yang terdapat pada Tabel . Sedangkan gambar *anaerobic sludge digester* terdapat pada Gambar 58 Skematik Pencerna Lumpur Anaerobik (*Anaerobic Sludge Digester*).

Tabel 67 Kriteria Desain *Anaerobic Sludge Digester*

Parameter	Standar Rate	High Rate
Lama Pengeraman (SRT), hari	30 – 60	10 – 30
<i>Sludge Loading</i> ,Kg VS/m ³ .hari	0,64 – 1,60	2,40 – 6,41
Kriteria volume		
Pengendapan I, m ³ /kapita	0,03 – 0,04	0,02 – 0,03
Pengendapan I+II (dari <i>activated sludge</i>), m ³ /kapita	0,06 – 0,08	0,02 – 0,04
Pengendapan I + II (<i>tricliling filter</i>), m ³ /kapita	0,06 – 0,14	0,02 – 0,04
Konsentrasi solid (lumpur kering) yg masuk, %	2 – 4	4 – 6
Konsentrasi setelah pengeraman	4 – 6	4 – 6



Gambar 58 Skematik Pencerna Lumpur Anaerobik (*Anaerobic Sludge Digester*)

(c) Pengeringan Lumpur (*Dewatering*)

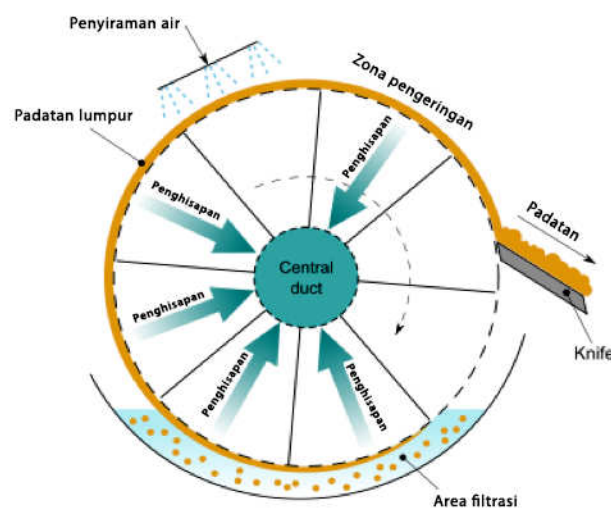
Pengeringan lumpur bertujuan untuk mengurangi kadar kelembaban lumpur dan memudahkan pembuangan lumpur.
Berikut ini penjelasan jenis unit pengeringan lumpur:

(1) Filter Vakum (*Vaccum Filter*)

Komponen yang terdapat pada *vacuum filter* yaitu:

- a. drum silinder dengan media filter (kain atau anyaman kawat);
- b. pompa vacuum;
- c. penampung *filtrate*; dan
- d. pompa umpan lumpur.

Vacuum filter secara skema dapat dilihat pada gambar 59.



Gambar 59 Skematik *Vacuum Filter*

Drum yang dilapisi media filter diputar dengan kecepatan tertentu. Putaran drum akan menghasilkan tiga zona lumpur, yaitu (i) pembentukan *cake*, (ii) pengeringan, dan (iii) pembuangan. Lumpur masuk ke zona (i), di zona ini lumpur menempel pada media filter. Selanjutnya lumpur berpindah ke zona (ii), pada bagian ini terjadi penyerapan air di lumpur oleh pompa *vacuum* sehingga terjadi pengeringan. Lumpur kemudian bergerak menuju ke zona (iii), pada zona (iii) terjadi pelepasan lumpur kering dari media filter. Satu kali putaran drum melewati ketiga zona tersebut disebut satu *cycle time*.

Perancangan *vacuum filter* menggunakan formulasi berikut ini:

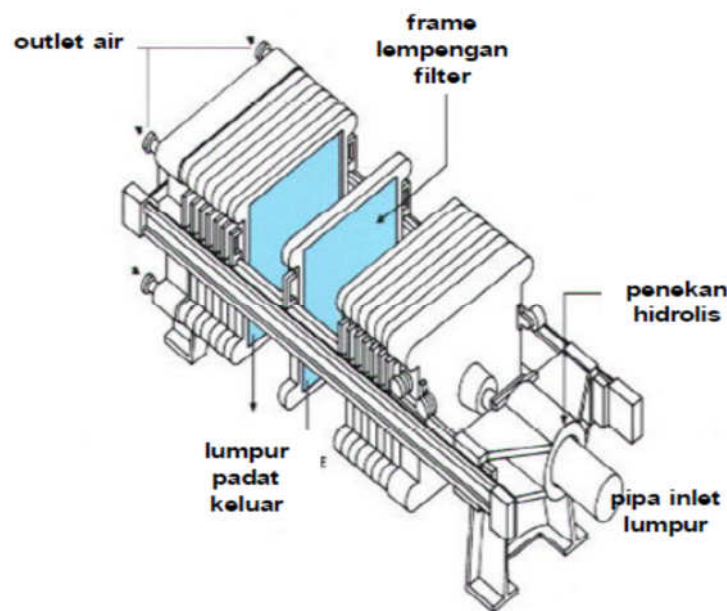
$$Y = (2\Delta p w \alpha / \mu R \theta g)^{1/2}$$

Keterangan:

- Y = filter yield
- Δp = perbedaan tekanan vacuum, N/m²
- W = berat kering lumpur per satuan volume filtrat, Kg/m³
- α = rasio waktu pembentukan *cake* terhadap *cycle time*
- μ = viskositas absolut filtrat, N.det/m²
- R = resistensi spesifik dari lumpur kering, det²/Kg (Nilai R dapat ditentukan berdasarkan percobaan laboratorium menggunakan *vacuum filtration testing apparatus*)
- θ = *cycle time*, det
- g = Percepatan gravitasi, m

(2) *Filter Press*

Filter press berfungsi sebagai alat pengolahan lumpur, dengan memberikan tekanan pada lumpur antara rangkaian lempengan filter (*filter plate*) agar air dan lumpur dapat dipisahkan. Tekanan unit *Filter Press* diberikan oleh sistem hidrolik yang bekerja pada kedua sisi lempengan.



Gambar 60 Contoh *Filter Press*

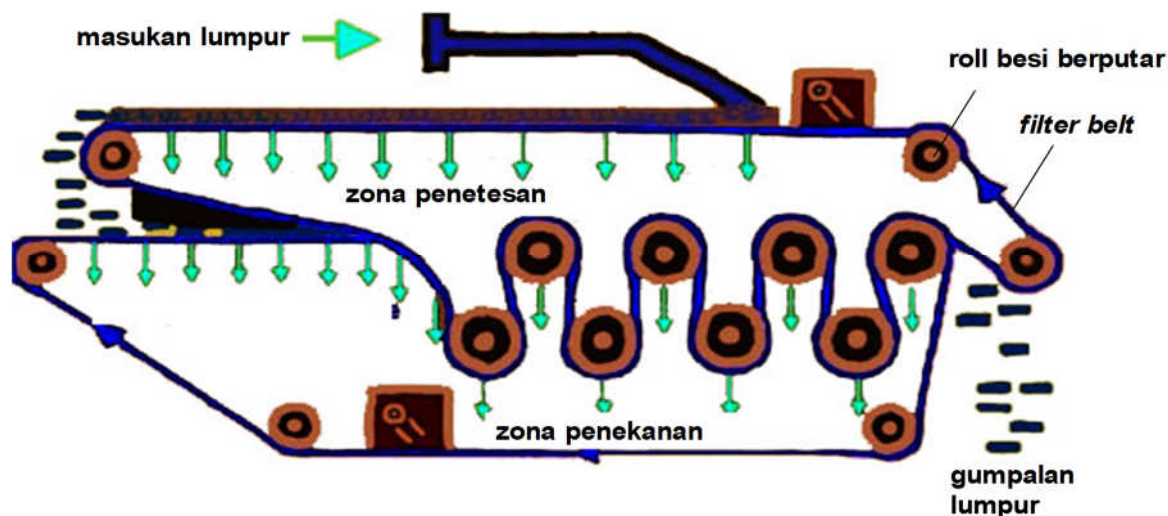
Perencanaan *Filter Press* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yang tertera pada tabel berikut ini.

Tabel 68 Kriteria desain *Filter Press*

No.	Parameter	Keterangan
1	<i>Complete Filtration Cycle Time</i>	1,5 - 2.5 jam
2	Tekanan filter	690 - 1700 kPa
3	Kadar solid setelah diolah dengan <i>filter press</i>	
	a. Lumpur bak sedimentasi I	45 - 50 %
	b. Lumpur bak sedimentasi I dan lumpur aktif segar	45 - 50 %
	c. Lumpur aktif segar	50%
	d. Lumpur dari digester dan lumpur aktif	45 - 50%

(3) *Belt Filter Press*

Belt filter press memiliki fungsi sebagai alat pengolahan lumpur, penekanan lumpurnya dilakukan oleh sepasang lembar plastik elastis berpori (*filter belt*), sehingga air dapat dipaksa keluar dari dalam lumpur.



Gambar 61 *Belt Filter Press*

Kadar solid dalam lumpur setelah diolah dengan *belt filter press* sebagai berikut:

- 1. lumpur sedimentasi I 28%-44%;
- 2. lumpur sedimentasi I dan lumpur aktif 20%-35%;
- 3. lumpur sedimentasi I dan *trickling filter* 20%-40%;
- 4. lumpur dari digester (anaerob) 26%-36%; dan
- 5. lumpur dari digester dan lumpur aktif 12%-18%.

Pelaksanaan perencanaan *belt filter press* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 69 Kriteria desain *Belt Filter Press*

Parameter	Besaran	Satuan
Lebar Belt	0,5 - 3,5	Metcalf&Eddy,1991
<i>Sludge Loading</i>	90 - 680	Metcalf&Eddy,1991
<i>Hydraulic Loading</i>	1,6 - 6,3	Metcalf&Eddy,1991

- (4) *Sludge Drying Bed* (SDB)
Sludge drying bed berfungsi untuk mengeringkan lumpur yang telah stabil.

Lumpur yang telah dikeringkan pada *sludge drying bed* diharapkan sudah memiliki kandungan padatan yang tinggi (70% solid).

Sludge drying bed terdiri dari:

- a. bak pengering, berupa bak dangkal berisi pasir sebagai media penyaring dan batu kerikil sebagai penyangga pasir; dan
- b. saluran air tersaring (filtrat) yang terdapat di bagian dasar bak.

Perencanaan *sludge drying bed* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yang tertera pada tabel berikut ini:

Tabel 70 Kriteria desain *Sludge Drying Bed*

No.	Parameter	Keterangan
1	Ukuran bak (m ²)	
	Lebar bak (m)	8
	Panjang bak (m)	30
2	Area yang dibutuhkan	
	SDB tanpa penutup atap	0.14 - 0.28 m ² / kapita
	SDB dengan penutup atap	0.10 - 0.20 m ² /kapita
3	Sludge loading rate	
	SDB tanpa penutup atap	100 - 300 Kg lumpur kering/m ² .tahun
	SDB dengan penutup atap	150 - 400 Kg lumpur kering/m ² .tahun
4	Sludge cake	20 - 40 % padatan
5	Kemiringan dasar	1 : 20
6	Kemiringan dasar pipa	1%

Dimensi unit SDB dapat dihitung dengan formulasi berikut ini:

$$A = K (0,01 R + 1,0)$$

Keterangan:

A = luas per kapita, ft²/kapita

K = faktor yang tergantung pada tipe pengolahan,

yaitu:

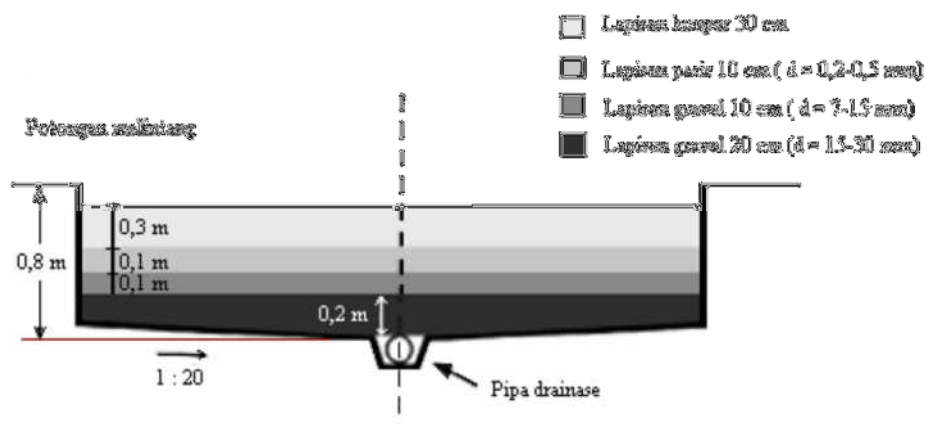
- K = 1,0 untuk anaerobik digestion
- K = 1.6 untuk aerobik digestion

R = hujan tahunan, (inch)

Dalam satu unit SDB terdiri dari beberapa lapisan, yaitu:

- lapisan lumpur, dengan ketebalan 20 – 30 cm;
- lapisan pasir, dengan ketebalan 15 – 25 cm;
- lapisan *drain*, letaknya di bawah kerikil untuk menampung resapan air dari lumpur.

Contoh gambar ukuran lapisan yang ada di SDB terdapat pada gambar berikut ini:



Gambar 62 Gambar desain *Sludge Drying Bed*

Konstruksi *sludge drying bed* ini dibuat dari beton bertulang untuk dinding dan lantainya. Elevasi lantai bangunan ini dibuat tidak terlalu dalam agar air sisa pengeringan lumpur dapat mengalir secara gravitasi menuju saluran sekitarnya. Karena tidak terlalu dalam, maka gaya angkat (*uplift*) yang bekerja pada lantai bangunan dapat diabaikan. Hal ini menyebabkan tidak terjadi gaya dan momen pada lantai dan dinding bangunan. Penulangan yang diperlukan yaitu penulangan praktis untuk mengatasi retak saja. Untuk pelat lantai yang berada diluar dan berhubungan langsung

dengan cuaca, untuk diameter tulangan lebih kecil dari 16 mm maka jarak maksimum tulangan yaitu 225 mm.

Apabila kondisi tanah dasar tidak baik dan muka air tanah tinggi, perlu dilakukan perbaikan tanah dasar (stabilisasi) untuk menghindari penurunan. Sedangkan untuk mengatasi muka air tanah yang tinggi perlu dipasang sistem *drain* dibawah bangunan dengan menggunakan lapisan kerikil dan pipa PVC yang dilubangi. Indikasi perbaikan tanah dasar (rawa, lumpur, gambut) mempertimbangkan stabilisasi tanah.

(5) Pembuangan Lumpur (*Sludge Disposal*)

Lumpur kering yang disebut *sludge cake* dari hasil pengolahan lumpur air limbah domestik setelah melalui proses *digesting* sudah berupa humus, sehingga dapat digunakan untuk pembenah tanah tandus (*soil conditioner*), dan dapat digunakan sebagai *landfill* (tanah uruk). Jika dikhawatirkan lumpur mengandung logam berat atau B3, sebaiknya dijadikan tanah uruk yang di atasnya ditanami tumbuhan yang bukan untuk konsumsi manusia dan hewan. Hal tersebut merupakan metode fitoremediasi (*phytoremediation*).

(6) Pembuangan Air Hasil Olahan

Saluran pembuangan air hasil olahan IPALD harus tertutup dan dibuang ke badan air permukaan, sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan tentang baku mutu air limbah domestik.

3) Perencanaan Teknis Alat Pengolahan Gas

Sistem pengolahan secara anaerobik akan menghasilkan gas yang merupakan proses fermentasi bahan organik oleh bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara). Gas tersebut (gas metan) mempunyai sifat mudah terbakar sehingga dapat dipergunakan sebagai alternatif pengganti bahan bakar sehingga perlu dibuatkan bak penangkap gas.

Ketentuan teknis bak penangkap gas:

- (a) Saluran *inlet* digunakan untuk memasukkan air limbah domestik kedalam bak. Masuknya air limbah domestik ini berfungsi untuk memaksimalkan potensi biogas, memudahkan pengaliran, serta menghindari terbentuknya endapan pada saluran masuk.
- (b) Saluran *outlet* digunakan untuk mengeluarkan material organik yang telah difermentasi oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan tekanan hidrostatik.
- (c) Katup pengaman tekanan (*control valve*), katup pengaman ini digunakan sebagai pengatur tekanan gas dalam bak. Katup pengaman ini menggunakan prinsip pipa T. Apabila tekanan gas dalam saluran gas lebih tinggi dari kolom air, maka gas akan keluar melalui pipa T, sehingga tekanan dalam bak akan turun.
- (d) Sistem pengadukan dilakukan dengan cara mekanis atau sirkulasi menggunakan pompa. Pengadukan ini bertujuan untuk mengurangi pengendapan dan meningkatkan produktifitas gas karena kondisi substrat yang beragam.
- (e) Saluran gas ini disarankan terbuat dari bahan polimer untuk menghindari korosi. Jika gas yang keluar dibakar, ujung salurannya disambung dengan pipa baja anti karat.
- (f) Terdapat dua jenis tangki penyimpan gas, yaitu tangki bersatu dengan unit reaktor (*fixed dome*) dan

terpisah dengan reaktor (*floating dome*). Penggunaan material untuk tangki mengacu pada DIN 4102-B1 dan diuji sesuai DIN 53 354 dan standar lain yang berlaku

3. Perencanaan Teknis Konstruksi Bangunan

a) Persyaratan Lokasi Penempatan dan Konstruksi IPALD

- 1) Konstruksi bangunan harus aman terhadap banjir, air sungai, terhadap gaya guling, gaya geser, rembesan, gempa dan gaya angkat air (*uplift*).
- 2) Konstruksi bangunan pengambilan direncanakan dengan umur pakai (*lifetime*) minimal 25 tahun.
- 3) Bahan/material konstruksi yang digunakan diusahakan menggunakan material lokal atau disesuaikan dengan kondisi daerah sekitar.
- 4) Bahan bangunan berupa:
 - (a) dinding: pasangan batu bata;
 - (b) atap: genteng, beton bertulang;
 - (c) pintu: besi atau kayu;
 - (d) ventilasi: besi atau kayu atau kaca;
 - (e) pondasi: beton bertulang atau batu kali.

b) Perencanaan Pondasi

Perencanaan pondasi harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- 1) Pondasi harus cukup kuat menahan beban di atasnya;
- 2) Bahan pondasi adalah beton sekurang-kurangnya K225
- 3) Bahan batu kali dengan mortar minimal 70kg/cm²
- 4) Bahan bangunan adalah:
 - (a) dinding: pasangan batu bata;
 - (b) atap: genteng, beton bertulang;
 - (c) pintu: besi atau kayu;
 - (d) ventilasi: besi atau kayu;
 - (e) pondasi: beton bertulang atau batu kali;
 - (f) lantai keramik, traso dan semen.

Berikut beberapa penjelasan mengenai pondasi, yaitu:

- 1) Pondasi Dangkal
 - (a) Berdasarkan Data Laboratorium

Untuk perhitungan daya dukung pondasi dangkal dapat dihitung menggunakan formulasi Terzaghi sebagai berikut:

(1) untuk keadaan *general shear failure*

a. pondasi menerus

$$q_{ult} = c.N_c + g.D.N_q + 0,5 g.B.N_g$$

b. pondasi telapak

$$q_{ult} = 1,3 c.N_c + g.D.N_q + 0,4 g.B.N_g$$

c. pondasi lingkaran

$$q_{ult} = 1,3 c.N_c + g.D.N_q + 0,3 g.B.N_g$$

d. pondasi persegi panjang

$$q_{ult} = (1 + 0,3 B/L)c.N_c + g.O.N_q + 0,5 (1 + 0,2 B/L) + g.B.N_g$$

(2) pondasi *local shear failure*, dimana dasar pondasi terendam air atau dibawah pengaruh muka air tanah, maka harus dilakukan koreksi terhadap rumus-rumus dari Terzaghi tersebut diatas sebagai berikut:

a. nilai c menjadi $c' = 2/3 c$

b. nilai f menjadi $\tan f = 2/3 \tan f$

(3) faktor Keamanan

a. $F_k = 2$, untuk pondasi dangkal dengan beban statis merata

b. $F_k = 3$, untuk pondasi dangkal dengan beban statis normal

c. $F_k = 4,5$ untuk pondasi dangkal dengan beban dinamis

Maka:

$$q_{all} = \frac{q_{ult}}{F_k}$$

Keterangan:

q_{all} = daya dukung yang diijinkan

q_{ult} = daya dukung keseimbangan

B = lebar pondasi

D = kedalaman pondasi

L = panjang pondasi

g = berat isi tanah

c = kohesi

f = sudut perlawanan geser

N_c , N_q dan N_g = faktor daya dukung yang tergantung pada besarnya sudut perlawanan geser f

F_k = faktor keamanan

(b) Berdasarkan Data Lapangan

Untuk perkiraan besarnya daya dukung pondasi dangkal dapat dihitung berdasarkan nilai konus dengan menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$\frac{q_c}{q_{all}} = n \text{ kg/cm}^2$$

n = 20, untuk kondisi lapisan tanah adalah *soft clay*, *sandy clay* dan *silty clay*

n = 40 untuk kondisi lapisan tanah adalah *sand* atau *gravels*.

Keterangan:

Untuk pondasi dangkal, dasar pondasi selalu terendam air dan selalu berada dibawah pengaruh muka air tanah, maka harus dilakukan dengan faktor keamanan sebesar 0,5 terhadap persamaan tersebut diatas.

q_{all} = Daya dukung yang diizinkan

q_c = Nilai konus

n = Faktor yang tergantung pada kondisi lapisan tanahnya

2) Pondasi Dalam

(a) Pondasi sumuran

(1) Berdasarkan Data Laboratorium:

Untuk perhitungan daya dukung pondasi sumuran yang diletakkan pada lapisan lempung keras, maka daya dukung tanah dapat dihitung dengan cara yang sama seperti

humus perhitungan pondasi langsung yaitu sebagai berikut:

$$q_{all} = \frac{c \times N_c \times A}{Fk}$$

Keterangan:

- q_{all} = Daya dukung yang diizinkan
- c = Kekuatan geser tanah
- N_c = Faktor daya dukung
- A = Luas dasar sumur
- Fk = Faktor keamanan

(2) Berdasarkan Data Lapangan

Besarnya daya dukung tanah untuk pondasi sumuran dapat dihitung berdasarkan nilai konus dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$q_{all} = \frac{q_c \times A}{Fk}$$

Keterangan:

- q_{all} = Daya dukung yang diizinkan
- q_c = nilai konus rata-rata dari dalam 4D diatas ujung sumuran sampai 4D dibawah ujung sumuran, dimana D adalah diameter sumuran
- A = luas dasar sumuran
- Fk = Faktor keamanan

(b) Pondasi Tiang Pancang

Besar daya dukung untuk pondasi tiang pancang dapat dihitung berdasarkan data-data lapangan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$q_{all} = \frac{q_c \times A}{Fk_1} + \frac{T_f \times O}{Fk_2}$$

Keterangan:

- q_{all} = Daya dukung tiang yang diizinkan
- q_c = nilai konus rata-rata dari dalam 4D diatas dimana D ujung tiang sampai 4D dibawah ujung sumuran adalah diameter atau dimensi tiang
- A = luas penampang tiang
- Tf = jumlah hambatan lekat
- O = Keliling tiang
- Fk1 = faktor keamanan = 3 – 5
- Fk2 = faktor keamanan = 5 – 7

Daya dukung kelompok tiang harus dikoreksi dengan faktor koreksi sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \theta \left[\frac{(n - 1)m + (m - 1)n}{90 \times m \times n} \right]$$

Keterangan:

- Eg = efisiensi kelompok tiang
- m = jumlah tiang kearah panjang
- n = jumlah tiang kearah lebar
- θ = arc tan (D/s) (deg)
- D = Diameter
- s = Jarak antar tiang

Maka daya dukung kelompok tiang sebagai berikut:

$$\sum Q_u = m \cdot n (Q_p + Q_s)$$
$$\sum Q_u = m \cdot n \left[A_p \cdot 9 \cdot c_u + \sum \alpha \cdot c_u \cdot p \cdot \Delta L \right]$$

Keterangan:

- A_p = Luas penampang tiang tunggal (m²)
- P = Keliling tiang (m)
- ΔL = Panjang segmen tiang
- Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton/m²)
- Q_s = Tahanan selimut (ton/m²)

c) Perbaikan Tanah Bawah

Apabila kondisi tanah dasar tidak baik dan muka air tanah tinggi, perlu dilakukan perbaikan tanah dasar (stabilisasi) untuk menghindari penurunan. Sedangkan untuk mengatasi muka air tanah yang tinggi perlu dipasang sistem drain dibawah bangunan dengan menggunakan lapisan kerikil dan pipa pvc yang dilubangi.

1) Penurunan dan Konsolidasi Tanah

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemadatan. Pemadatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara di dalam pori, dan sebab lain. Beberapa atau semua faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan.

Perhitungan penurunan tanah akibat konsolidasi:

- (a) Cari parameter tanah yang dibutuhkan dari grafik hasil uji konsolidasi laboratorium seperti C_c, c_r, σ_p' .
- (b) Hitung OCR untuk menentukan apakah tanah lempung termasuk OC atau NC *clay*.
- (c) Hitung S_c dengan rumus berikut:

$$\text{Tanah NC clay} \quad S_c = c_c \frac{H_o}{1+e_o} \log \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma'}{\sigma_o'} :$$

Tanah OC Clay :

Jika a) $\sigma_o' + \Delta\sigma' \leq \sigma_p'$ maka

$$S_c = c_r \frac{H_o}{1+e_o} \log \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma'}{\sigma_o'}$$

Jika a) $\sigma_o' + \Delta\sigma' > \sigma_p'$ maka

$$S_c = c_r \frac{H_o}{1+e_o} \log \frac{\sigma_p'}{\sigma_o} + c_c \frac{H_o}{1+e_o} \log \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma'}{\sigma_o'}$$

Keterangan:

- OCR = Over Consolidation Ratio= $\frac{\sigma p'}{\sigma o}$
- $\sigma p'$ = preconsolidation pressure (t/m²)
- $\sigma o'$ = effective overburden pressure
(beban karena lapisan di atas
pertengahan *clay* yang dihitung
kondisi *settlement* (t/m²)
- $\Delta \sigma'$ = beban yang ditambahkan pada
lapisan tanah tersebut (timbunan,
struktur). (t/m²)
- eo = angka pori awal .
- cc = indeks kompresi tanah
- cr = indeks pengembangan tanah,
- H = tebal lapisan tanah lembek yang
memampat (m)

2) Koefisien Konsolidasi Vertikal (Cv)

Koefisien konsolidasi vertikal (Cv) menentukan kecepatan pengaliran air pada arah vertikal dalam tanah. Karena pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah saja, yaitu arah vertikal, maka koefisien konsolidasi sangat berpengaruh terhadap kecepatan konsolidasi yang akan terjadi.

Nilai Cv dapat dicari mempergunakan persamaan berikut ini:

$$Cv = \frac{T_v \times H^2}{t}$$

Keterangan:

- Cv = koefisien konsolidasi (cm²/dtk)
- Tv = faktor waktu tergantung dari
derajat konsolidasi
- t = waktu yang dibutuhkan untuk
mencapai derajat konsolidasi U%
(dtk)
- H = tebal tanah (cm)

3) Derajat Konsolidasi

Derajat konsolidasi tanah (U) merupakan perbandingan penurunan tanah pada waktu tertentu dengan penurunan tanah total.

$$\text{Untuk } U < 60\% \text{ maka : } Tv = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2$$

$$\text{Untuk } U > 60\% \text{ maka : } Tv = 1,781 - 0,933 \log (100 - U\%)$$

4) Waktu Konsolidasi

Pada tanah yang tidak dikonsolidasi dengan penggunaan PVD, pengaliran yang terjadi hanyalah pada arah vertikal saja. Perhitungan lamanya waktu konsolidasi dilapangan dapat mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$t = \frac{Tv \times H^2}{Cv}$$

Keterangan:

- Cv = koefisien konsolidasi (cm²/dtk)
- Tv = faktor waktu tergantung dari derajat konsolidasi
- t = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi U% (dtk)
- H = tebal tanah (cm)

5) Tekanan Tanah Aktif

Tekanan tanah aktif yang akan terjadi di belakang dinding sebesar:

$$\sigma_{t1} = \frac{1}{2} \gamma_{sub} H_2 K_a$$

$$\sigma_{t2} = \frac{1}{2} \gamma_t H_1 K_a$$

Keterangan:

- H = kedalaman total (m)
- γ_t = berat jenis tanah (t/m³)
- σ = sudut geser tanah

Perhitungan nilai K_a :

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\theta}{2}\right)$$

Keterangan:

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

θ = sudut geser tanah

d) Perencanaan Konstruksi Bangunan Atas

1) Konstruksi Beton Bertulang

- (a) Struktur bangunan pengolahan fisik menggunakan beton bertulang minimal K225, dengan kuat tekan karakteristik min. 225 kg/cm² untuk benda uji kubus dan 190 kg/cm² benda uji silinder pada umur 28 hari. SNI 03-1974-1990 (metode pengujian kuat tekan beton).
- (b) Batasan proporsi campuran rasio air/semen maks. 0,5 liter/kg dengan kadar semen min. 300 kg/m³.
- (c) Pengujian *slump test* untuk beton tak bertulang 50-75mm dan beton bertulang 75-100mm. JIS A1101 (*method of slump test for concrete*).
- (d) Persyaratan bahan semen, pasir dan air sama dengan ketentuan dalam pekerjaan beton.
- (e) Baja tulangan yang digunakan dapat menggunakan U39(3900kg/cm²) atau U24(2400kg/cm²) JIS G 3112 (*steel bars for concrete reinforcement*).
- (f) Selimut beton 3,5 cm untuk beton yang tidak terekspos dan 7,5cm untuk beton yang terendam/tertanam.
- (g) Bekisting dan perancah yang digunakan mampu menahan beban, dengan ketebalan *plywood* minimal 12mm dan jarak antar tiang penopang diatur sedemikian rupa.
- (h) Bekisting baru dapat dibuka setelah 2 hari untuk pondasi, 4 hari dinding, kolom dan balok samping, 7 hari plat dan balok.

- (i) Sambungan beton (*Water Stop*) dengan tebal 200mm menggunakan lebar *water stop* 230mm dan tebal diatas 200mm dengan lebar 300mm material jenis *polyvinyl compound*. JIS K6773.
 - (j) Untuk pembatas beton menggunakan *joint filler (sponge rubber)* dan *sealing compound* jenis *polyurethane based elastic joint filling*.
- 2) Pelat Atap Beton Bertulang
- (a) Pembebanan
Beban yang bekerja:
 - (a) Beban Mati (Q_D)
Berat sendiri pelat dan/atau plafon.
 - (b) Beban hidup (Q_L)
Beban hidup $Q_L = 100 \text{ kg/m}^2$
$$Q_u = 1.2Q_D + 1.6Q_L$$
 - (b) Perhitungan Momen
Panjang bentang plat arah x, L_x
Panjang bentang plat arah y, L_y
Koefisien momen plat untuk:
dari nilai perbandingan L_y/L_x , didapat nilai C_{lx} , C_{ly} , C_{tx} , C_{ty}

MOMEN PLAT AKIBAT BEBAN TERFAKTOR:

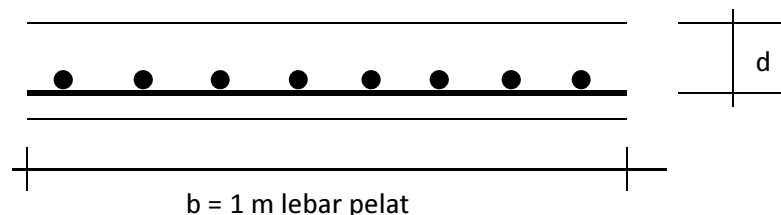
Momen Lapangan arah x: $M_{ulx} = C_{lx} \times 0.001 \times Q_u \times L_x^2$

Momen Lapangan arah y: $M_{uly} = C_{ly} \times 0.001 \times Q_u \times L_x^2$

Momen tumpuan arah x: $M_{utx} = C_{tx} \times 0.001 \times Q_u \times L_x^2$

Momen tumpuan arah y: $M_{uty} = C_{ty} \times 0.001 \times Q_u \times L_x^2$

- (c) Perhitungan Penulangan



Gambar 63 Penulangan Pelat

Untuk: $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$, $\beta_1 = 0.85$

Untuk: $f'_c > 30 \text{ MPa}$, $\beta_1 = 0.85 - 0.05 \times (f'_c - 30)/7$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*,

$$\rho_b = \frac{0.85 \beta_1 f'_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

Faktor tahanan momen maksimum,

$$\rho_{max} = 0.75 \times \rho_b$$

Momen nominal rencana: $M_n = M_u / \phi$

Faktor tahanan momen: $R_n = \frac{M_n \times 10^{-6}}{(b \times d^2)}$

$$R_n < R_{max}$$

Rasio tulangan minimum $\rho_{min} = 0,0025$

Rasio tulangan yang diperlukan:

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{2k}{0.85 \cdot f'_c}} \right)$$

Luas tulangan yang diperlukan:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

Keterangan:

b = lebar pelat

d = jarak as tulangan ke tepi beton

f'_c = kuat tekan karakteristik beton

f_y = tegangan leleh baja

3) Balok Beton Bertulang

Langkah desain penulangan:

(a) Gaya Aksial Tekan terfaktor

Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi $0,1 A_g f'_c$.

Keterangan:

A_g = Luas penampang beton

f'_c = kuat tekan karakteristik beton

(b) Bentang Bersih

Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektif elemen struktur.

(c) *b/d ratio*

Perbandingan lebar terhadap tinggi balok tidak boleh kurang dari 0,3.

(d) Lebar Balok

Tidak boleh kurang dari 250 mm.

(e) Tidak boleh lebih dari lebar kolom penumpu (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi kolom penumpu yang tidak melebihi $3/4$ tinggi komponen struktur lentur.

4) Kolom Beton Bertulang

Dalam merencanakan kolom, SNI yang digunakan yaitu SNI 03-2847 2002 mengenai definisi kolom. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain:

(a) gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom melebihi $ag f_c' / 10$;

(b) sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm; dan

(c) rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4.

Setelah itu kemudian periksa konfigurasi penulangan. Dari hasil desain berdasarkan gaya dalam, tentukan dimensi kolom dan rencana penulangan. Rasio penulangan ρ_g dibatasi tidak kurang dari 0,01 dan tidak lebih dari 0,06. Sementara SNI yang digunakan untuk kuat kolom adalah SNI 03-2847-2002.

Kuat kolom ϕM_n harus memenuhi $\Sigma M_c \geq 1,2 \Sigma M_g$:

(a) ΣM_c = jumlah M_n dua kolom yang bertemu di joint.

(b) ΣM_g = jumlah M_n dua balok yang bertemu di joint (termasuk sumbangan tulangan pelat diselebar efektif pelat).

(c) M_n = momen nominal rencana.

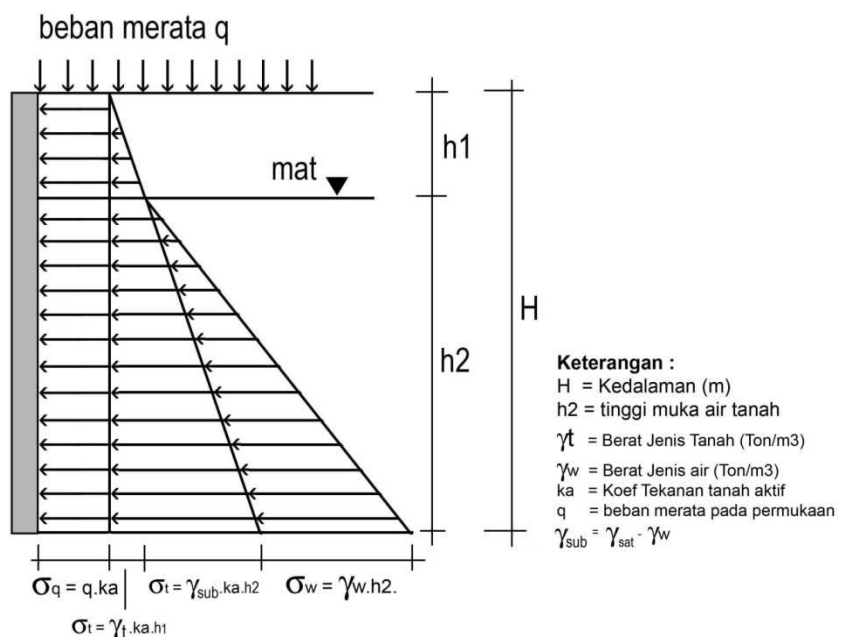
5) Dinding Beton Bertulang

(a) Penentuan Tebal Dinding

Berdasarkan “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Gedung” SNI 03-1728-2002, Ketebalan dinding luar ruang bawah tanah dan dinding pondasi tidak boleh kurang dari 190 mm.

(b) Pembebanan pada Dinding

Beban yang bekerja pada dinding *basement* berupa tekanan tanah + tekanan air + beban merata di permukaan. Beban tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 64 Diagram Tekanan Tanah pada Dinding

(1) Perhitungan Tekanan Tanah

Tekanan tanah aktif yang akan terjadi di belakang dinding sebesar

$$\sigma \cdot t = \frac{1}{2} \gamma_t H_2 K_a$$

Keterangan:

H = kedalaman total lantai basement (m)

γ_t = berat jenis tanah (t/m³)

Ka = koefisien tekanan tanah aktif

Perhitungan nilai Ka:

$$Ka = \tan^2(45 - \frac{\theta}{2})$$

Keterangan:

Ka = koefisien tekanan tanah aktif

θ = sudut geser tanah

(2) Perhitungan Tekanan Air

Tegangan yang disebabkan oleh air pori:

$$\sigma = \gamma_w H_2$$

(3) Perhitungan Tekanan Tanah akibat Beban Merata

Menurut Peraturan Pembebanan untuk Bangunan, beban untuk lantai parkir diambil sebesar $q = 400 \text{ kg/m}^2$.

Tegangan yang disebabkan oleh beban merata:

$$\sigma = q \times Ka$$

(c) Analisis Dinding

Momen yang terjadi akibat beban tekanan tanah dihitung dengan memodelkan struktur dinding basement sebagai pelat per meter panjang yang menerima beban segitiga akibat tekanan total (tanah+air+beban merata). Untuk perhitungan analisa struktur dapat menggunakan aplikasi yang sesuai dengan perkembangan teknologi, beban tekanan total (tanah+air+beban merata) yang berbentuk segitiga tersebut dilimpahkan merata ke pelat yang dijepit di sisi bawah elemen dinding. Bagian atas dinding juga terjepit. Struktur dinding dianggap sebagai elemen shell dengan ketebalan sesuai rencana.

Dari hasil analisis diperoleh besarnya gaya dalam dan deformasi struktur sebagai berikut:

- (1) Deformasi Horizontal Terbesar;
- (2) Moment arah 1-1 maksimum;
- (3) Moment arah 1-1 minimum;
- (4) Moment arah 2-2 maksimum;

(5) Moment arah 2-2 minimum.

(d) Perhitungan Tulangan Dinding

Perhitungan luas tulangan yang dibutuhkan pada dinding sama dengan perhitungan penulangan pelat lantai.

6) Konstruksi Baja

(a) Peraturan dan Standar Perencanaan:

(1) Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Gedung SNI 03-1729-2002.

(2) Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung PPPURG 1987.

(3) Tabel Profil Baja.

(b) Pembebanan

Beban yang bekerja yaitu beban mati (D), beban hidup (L) dan beban angin. Beban mati: berat sendiri rangka baja, berat penutup atap; beban hidup: berat pekerja (100 kg), berat air hujan.

Kombinasi pembebanan:

(1) 1,4D;

(2) 1,4D + 1,6L;

(3) 1,2D + 0,5L + 0,8 Angin Kanan;

(4) 1,2D + 0,5L – 0,8 Angin Kanan;

(5) 1,2D + 0,5L + 0,8 Angin Kiri; dan

(6) 1,2D + 0,5L – 0,8 Angin Kiri.

(c) Perhitungan Struktur

Perhitungan struktur konstruksi baja dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi yang sesuai dengan perkembangan teknologi.

(d) Kontrol Kekuatan

(1) Analisis Batang Tarik

a. Cek kekuatan batang tarik (*Strenght*)

Tegangan tarik yang terjadi: $\sigma = P_u / A_n$

Tegangan tarik rencana: $\sigma_r = \phi \times f_y$

Rasio tegangan = $\sigma / \sigma_r < 1$

Keterangan:

Pu = gaya tarik
An = luas penampang
fy = tegangan leleh minimum
Fc = faktor reduksi kekuatan
0.90 untuk komponen struktur tarik

- b. Cek kekuatan batang tarik (*Stiffness*)
c. Jari inersia batang:

$$\sqrt{i} = I/A$$

Nilai kelangsingan: $\lambda = L_k/i$

Syarat: $\lambda < 300$

Keterangan:

I = momen Inersia
penampang
A = luas penampang
Lk = panjang batang

(2) Analisis batang Tekan

- a. Cek kekuatan batang tekan (*Strenghth*)

Panjang tekuk batang $L_k = k \times L$

Jari-jari inersia batang: $\sqrt{i} = I/A$

Kelangsingan batang tekan:

$$\lambda_c = (1/\pi) \times (L_k/i) \times \sqrt{f_y/E}$$

Faktor tekuk:

$$\omega = 1.25 \times (\lambda_c)^2$$

Keterangan:

L = panjang batang
k = faktor panjang efektif
batang = 1 (ujung sendi)
I = momen Inersia
penampang
fy = tegangan leleh minimum
E = modulus elastisitas

Tegangan tarik yang terjadi: $\sigma = P_u / A_n$

Tegangan tarik rencana: $\sigma_r = \phi \times f_y$

Rasio tegangan = $\sigma / \sigma_r < 1$

Keterangan:

P_u = Gaya tarik

A_n = Luas penampang

f_y = Tegangan leleh minimum

ϕ = Faktor reduksi kekuatan
0.9 untuk komponen struktur tarik

b. Cek kekuatan batang tekan (*Stiffness*)

Jari-jari inersia batang: $\sqrt{I} = I / A$

Nilai kelangsingan: $\lambda = L_k / i$

Syarat: $\lambda < 200$

Keterangan:

I = momen Inersia
penampang

A = luas penampang

L_k = panjang batang

7) Konstruksi Pasangan Batu Kali

- (a) Batu harus keras, tanpa bagian yang tipis atau retak dan dari jenis yang awet.
- (b) Batu sebaiknya rata, lancip atau lonjong bentuknya dan dapat ditempatkan saling mengunci.
- (c) Batu memiliki ketebalan yang tidak kurang dari 150mm dan lebar tidak kurang dari 1.5 kali tebalnya dan panjang tidak kurang dari 1.5 kali lebarnya.
- (d) Batu kali yang dipergunakan berupa batu kali yang sudah dipecah, keras, tidak porous, bersih dan besarnya antara 15- 20 cm.
- (e) Tidak diperkenankan menggunakan batu kali bulat atau batu endapan.

- (f) Pemecahan batu harus dilakukan di luar batas *bouwplank* bangunan.
- (g) Persyaratan bahan semen, pasir, dan air sama dengan ketentuan dalam pekerjaan beton.
- (h) Adukan semen untuk pasangan batu kali harus mempunyai kuat tekan paling sedikit 70 kg/cm² pada umur 28 hari .

Analisa stabilitas dinding penahan tanah harus meninjau hal-hal sebagai berikut:

- (a) faktor aman terhadap pengulingan dan penggeseran harus memenuhi syarat;
- (b) tekanan yang terjadi pada tanah dasar pondasi tidak melebihi kapasitas dukung izin; dan
- (c) stabilitas lereng secara keseluruhan harus memenuhi syarat.

Adapun proses dalam perencanaan dinding penahan tanah tipe gravitasi (pasangan batu) antara lain sebagai berikut:

- (a) menentukan dimensi dinding penahan tanah;
- (b) menghitung tekanan tanah, dalam hal ini menggunakan teori Rankine:

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$P_a = 0,5H^2 \gamma K_a - 2cH \sqrt{K_a}$$

$$P_p = 0,5H^2 \gamma K_p - 2cH \sqrt{K_p}$$

Keterangan:

- ϕ = sudut gesek dalam tanah (o)
- H = tinggi dinding (m)
- γ = berat isi tanah (kN/m³)
- K_a = koefisien tekanan tanah aktif
- K_p = koefisien tekanan tanah pasif
- P_a = tekanan tanah aktif (kN)
- P_p = tekanan tanah pasif (kN)

- (c) Menghitung gaya vertikal dan gaya momen terhadap kaki depan pondasi. Pada perhitungan ini diperoleh berat dinding W dan jumlah gaya momen ΣM_w dari setiap bagian dinding dan tanah di atas plat pondasi yang dimasukkan dalam perhitungan stabilitas dinding.
- (d) Menghitung stabilitas terhadap penggulingan
Tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urukan di belakang dinding penahan cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pondasi. Momen penggulingan ini, dilawan oleh momen akibat berat sendiri dinding penahan dan momen akibat berat tanah di atas plat pondasi.

Faktor aman terhadap penggulingan (F_{gl}) didefinisikan sebagai:

$$F_{gl} = \frac{\Sigma M_w}{\Sigma M_{gl}} \geq 1,5$$

Keterangan:

$$\Sigma M_w = W_{bl}$$

$$\Sigma M_{gl} = \Sigma P_{ah}h_1 + \Sigma P_{av}B$$

ΣM_w = momen yang melawan pengulingan (kN.m)

ΣM_{gl} = momen yang mengakibatkan pengulingan (kN.m)

W = berat dinding + berat tanah di atas plat pondasi (kN)

B = lebar kaki dinding penahan (m)

ΣP_{ah} = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

ΣP_{av} = jumlah gaya-gaya vertikal (kN)

Faktor aman terhadap (F_{gl}) bergantung pada jenis tanah, yaitu:

- (1) $F_{gl} \geq 1,5$ untuk tanah dasar berbutir/granular;
- (2) $F_{gl} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif.

- (e) Menghitung stabilitas terhadap penggeseran

Gaya yang mengeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh gesekan antara tanah dan dasar pondasi dan tekanan tanah pasif apabila di depan dinding penahan terdapat tanah timbunan.

Faktor aman terhadap penggeseran (F_{gs}) didefinisikan sebagai :

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5$$

Keterangan:

$\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran (kN)

$$= cd \times B + W \times \tan \delta_h$$

W = berat total dinding penahan dan tanah di atas plat pondasi (kN)

δ_h = sudut gesek antara tanah dan dasar pondasi, $(1/3 - 2/3)\phi$

$$Ca = ad \times c$$

C = kohesi tanah dasar (kN/m²)

ad = Faktor adhesi

B = Lebar pondasi (m)

$\sum P_h$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

$$f = tg \times \delta_b$$

koefisien gesek antara tanah dasar dan pondasi

- (f) Menghitung stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

Kapasitas dukung dihitung menggunakan persamaan Hansen (1970) untuk beban miring dan eksentris:

$$qu = d_c i_c \bar{c} N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0,5 B \gamma N_\gamma$$

Keterangan:

d_c, d_q, d_γ = faktor kedalaman

i_c, i_q, i_γ = faktor kemiringan beban

c	=	kohesi tanah (kN/m ²)
D _f	=	kedalaman pondasi (m)
γ	=	berat volume tanah (kN/m ³)
B	=	lebar pondasi dinding penahan tanah (m)
N _c ,N _q ,N _γ	=	faktor kapasitas dukung Terzaghi

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung didefinisikan sebagai:

$$F = \frac{q_u}{q} \geq 3$$

Keterangan:

F	=	Faktor keamanan
q _u	=	Kapasitas dukung ultimit
q	=	Kapasitas dukung zjin

4. Tahap Perencanaan Anggaran Biaya

- Penyusunan rencana anggaran biaya dilakukan setelah memperhatikan rencana kerja dan syarat-syarat/Spesifikasi Teknis dan gambar perencanaan teknis pengembangan SPALD-T. Sedangkan kualitas bahan yang digunakan mengacu kualitas yang disyaratkan dalam Spesifikasi Teknis dan gambar perencanaan teknis pengembangan SPALD-T.
- Rincian satuan pekerjaan dan pelaksanaan perhitungan volume pekerjaan memperhatikan kemungkinan adanya pekerjaan yang tidak terdapat dalam spesifikasi teknis dan gambar rencana tetapi diisyaratkan untuk dilaksanakan.
- Setelah item pekerjaan dan volume ditetapkan, kemudian metode pelaksanaan konstruksi harus dipilih yang paling sesuai untuk setiap item pekerjaan untuk menentukan Harga Satuan item pekerjaan.
- Analisa Harga Satuan dapat dilakukan setelah metode pelaksanaan ditetapkan dan *basic prise* (Harga Satuan bahan dan upah pekerja) serta harga satuan depresiasi alat berat/sewa alat berat dan bobot per item ditetapkan.

- e) Harga satuan pekerjaan dihitung menurut tata cara survei dan pengkajian harga satuan dan koefisien dasar bahan, tenaga kerja dan alat mengacu pada ketentuan yang berlaku.
- f) Pengadaan barang atau peralatan impor diperhitungkan sampai tiba di lokasi pekerjaan.
- g) Telah memperhitungkan terhadap metode *Clean Construction* serta mempertimbangkan aspek Sosialisasi dan *Traffic Management*.
- h) Rencana Anggaran Biaya merupakan perkalian antara besaran volume per Item pekerjaan dikalikan dengan harga satuan per item pekerjaan.
- i) Rencana Anggaran Biaya total merupakan total harga rencana anggaran biaya per item pekerjaan ditambah dengan PPN 10% dan hasilnya dibulatkan.
 - 1) *Engineer Estimate*
 - (a) Disiapkan setelah dilakukan evaluasi terhadap RAB dalam persiapan proses tender oleh Konsultan Perencana.
 - (b) EE dipakai dasar dalam penyusunan OE (*Owner Estimate*) oleh Panitia penyelenggara pelelangan.
 - (c) Menggunakan harga satuan bahan, upah dan peralatan yang dikeluarkan oleh Pemerintah Daerah, Kota/Kabupaten berupa SK terakhir.
 - 2) *Owner Estimate*
 - (a) OE disusun sebagai dasar untuk melakukan evaluasi terhadap harga satuan pekerjaan yang akan ditawarkan oleh Kontraktor pada saat pelelangan.
 - (b) OE juga memberikan harga satuan pekerjaan dari Kontraktor merupakan harga tumpang atau bukan.
 - (c) OE merupakan *reference*/acuan dari harga penawaran untuk diputuskan sebagai pemenang.

5. Penyusunan SOP (*Standar Operasional Prosedur*)

Setiap unit hasil perhitungan desain harus dilengkapi dengan standar operasional prosedur.

MENTERI PEKERJAAN UMUM DAN
PERUMAHAN RAKYAT REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

M. BASUKI HADIMULJONO

Salinan sesuai dengan aslinya
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT
Kepala Biro Hukum,



NIP. 195803311984122001