

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Domestik

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2016), air limbah domestik merupakan air limbah yang berasal dari kegiatan sehari-hari manusia yang terkait dengan pemakaian air seperti kegiatan rumah tangga, perdagangan, perkantoran, pelayanan kesehatan, dan lain-lainnya. Air limbah domestik dari kegiatan rumah tangga diklasifikasikan menjadi dua (2) jenis yaitu (Mara, 2004) :

- a. *Grey water* : Air yang berasal dari dapur serta kamar mandi dengan buangnya dibuang ke sungai melalui saluran.
- b. *Black water* : Air yang berasal dari limbah cair kakus dengan buangnya dibuang ke tangki septik atau dibuang langsung ke sungai.

Air limbah domestik dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan jika tidak ditangani dengan baik. Menurut Eddy (2008), dampak negatif yang dapat timbul akibat air limbah domestik diantaranya :

- a. Gangguan terhadap lingkungan
Mengakibatkan timbulnya eutrofikasi yang akan merusak kehidupan tanaman dan binatang di perairan tersebut.
- b. Gangguan terhadap kesehatan manusia
Hal ini disebabkan karena adanya kontaminan berupa bakteri, virus, senyawa nitrat, beberapa kandungan logam serta beberapa bahan kimia di dalam air limbah domestik.
- c. Gangguan terhadap estetika dan benda
Mengakibatkan perubahan warna, bau, dan rasa yang akan mengganggu kenyamanan serta dapat merusak benda seperti terjadinya korosi. Selain itu juga dapat menurunkan kualitas dari tempat rekreasi.

2.2 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD)

Pemilihan jenis SPALD ada dua penanganan yaitu SPALD Terpusat (SPALD-T) dan SPALD Setempat (SPALD-S), yang sesuai untuk diterapkan pada daerah

perencanaan memiliki beberapa pertimbangan yang diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Rakyat (PUPR) No 04 Tahun 2017, diantaranya adalah :

1. Kepadatan Penduduk

Kepadatan penduduk untuk SPALD-T yaitu >150 jiwa/Ha, sedangkan SPALD-S yaitu <150 jiwa/Ha yang digunakan dalam perencanaan SPALD.

2. Kedalaman Muka Air Tanah

Kedalaman muka air tanah jika >2 m yaitu menggunakan SPALD-S dikarenakan jika tangki septik bocor kemungkinan akan menyebabkan terjadinya pencemaran terhadap pencemaran air tanah. Kedalaman muka air tanah untuk SPALD-T yaitu <2 m dikarenakan untuk menghindari pencemaran air tanah.

3. Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah merupakan sifat kemampuan tanah untuk melewatkan air. Permeabilitas tanah sangat mempengaruhi penentuan jenis SPALD khususnya untuk penerapan Sub-sistem Pengolahan Setempat (cubluk maupun tangki septik dengan bidang resapan). Persyaratan yang ditetapkan yaitu $< 5 \times 10^{-4}$ m/s dengan jenis tanah pasir halus sampai dengan pasir lempung.

4. Kemampuan Pembiayaan

Pemilihan jenis SPALD mempengaruhi kemampuan pembiayaan terutama jenis SPALD-T yang membutuhkan biaya untuk operasional dan pemeliharaan.

5. Kemiringan Tanah

Persyaratan yang ditetapkan untuk jaringan pengumpul air limbah domestik yaitu sebesar $\geq 2\%$ untuk mempermudah pemasangan pipa pada SPALD-T, sedangkan *shallow sewer* dan *small bore sewer* dapat menggunakan berbagai kemiringan tanah.

2.2.1 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S)

Menurut Direktorat Jenderal (Dirjen) Cipta Karya (2016), sistem pengelolaan air limbah domestik setempat (SPALD-S) adalah sistem pengelolaan air limbah di perkotaan, dimana sebagian rumah tangga menggunakan sistem setempat berupa tangki septik. Sistem ini terdiri dari 5 komponen, diantaranya :

- a. Air limbah domestik yang dihasilkan berasal dari kegiatan
- b. Rumah tangga seperti kegiatan dari dapur, kamar mandi, tempat cuci, dan

WC. Tangki septik sebagai tempat penampungan dan pengolahan air limbah domestik sesuai dengan SNI yang berlaku.

- c. Penyedotan lumpur biasanya dilakukan 3 tahun sekali menggunakan jasa penyedotan resmi yang telah diakui dan terdaftar oleh pemerintah setempat.
- d. Lumpur tinja diangkut ke IPLT untuk diolah lebih lanjut. Pengangkutannya harus memenuhi standar sehingga tidak terjadi tumpuhan atau ceceran selama perjalanan ke IPLT.
- e. Pengolahan lumpur tinja di IPLT harus mengikuti SOP.

Kapasitas pengolahan untuk sistem setempat terbagi atas dua (2), yaitu (PUPR, 2017) :

1. Skala individual

Skala ini menggunakan sistem berupa cubluk kembar, tangki septik dengan bidang resapan, biofilter, dan unit pengolahan limbah fabrikasi.

2. Skala komunal

Skala ini diperuntukkan untuk rumah tinggal yang sebanyak dua (2) sampai dengan sepuluh (10) serta memiliki mandi cuci kakus (MCK) yang permanen dan non permanen (*mobile toilet*).

Penerapan sistem pengelolaan air limbah domestik setempat pada daerah perencanaan tentunya memiliki keuntungan maupun kerugian. Berikut merupakan keuntungan beserta kerugian dari SPALD-S :

1. Teknologi dan pembangunannya sederhana.
2. Biaya pembuatannya murah.
3. Operasi dan pemeliharaannya mudah.
4. Tidak cocok untuk daerah dengan kepadatan penduduk tinggi.
5. Membutuhkan lahan yang luas.
6. Fungsinya terbatas hanya dari limbah padat manusia (*black water*).
7. Berisiko mencemari air tanah apabila tidak dilakukan pemeliharaan dengan baik.

2.2.2 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T)

Menurut Hardjosuprpto, 2000 SPALD-T yaitu sistem yang membawa air limbah dari seluruh daerah pelayanan yang kemudian dikumpulkan melalui riol pengumpul dan dialirkan ke riol kota menuju IPAL dan/atau pengenceran tertentu

(*intercepting sewer*) yang dapat memenuhi standar mutu sehingga dapat dibuang ke badan air penerima.

Sistem jaringan pengumpul air limbah domestik terbagi menjadi 3 (tiga) jenis antara lain adalah (Hardjosuprpto, 2000) :

A. Sistem terpisah (*separate system*)

Sistem ini menyalurkan air limbah domestik sendiri dengan jaringan pipa tertutup, sedangkan air hujan disalurkan sendiri dengan saluran drainase yang terbuka. Pertimbangan untuk penerapan sistem ini adalah daerah perencanaan yang memiliki fluktuasi debit air limbah dan air hujan di musim kemarau dan musim hujan relatif besar. Pertimbangan pemilihan sistem ini antara lain :

1. Fluktuasi debit (air limbah domestik dan limpasan air hujan) pada musim kemarau dan musim hujan relatif besar.
2. Air limbah domestik umumnya memerlukan pengolahan terlebih dahulu, sedangkan air hujan harus secepatnya dibuang ke badan penerima.
3. Kuantitas aliran yang jauh berbeda antara air hujan dan air limbah domestik.
4. Saluran air limbah dalam jaringan riol tertutup, sedangkan air hujan dapat berupa polongan (*conduit*) atau berupa parit terbuka (*ditch*).

Sistem penyaluran air limbah dengan terpisah memiliki beberapa jenis, yaitu:

1. Sistem penyaluran konvensional (*conventional sewerage*)
Merupakan sistem jaringan perpipaan yang membawa air limbah dari riol pengumpul menuju badan air penerima atau tempat pengolahan.
2. Sistem riol dangkal (*shallow sewer*)
Merupakan sistem jaringan perpipaan dengan fungsi yang sama terhadap sistem konvensional, tetapi untuk skala kecil dan kemiringan yang landai.
3. Sistem riol ukuran kecil (*small bore sewer*)
Merupakan sistem jaringan perpipaan yang memiliki fungsi sama dengan sistem konvensional, tetapi hanya menampung air limbah dari kamar mandi, cuci, dapur, limpahan air dari tangki septik tanpa adanya padatan, serta lebih murah dari sistem konvensional.

B. Sistem tercampur (*combined system*)

Sistem yang menyalurkan air limbah dan air hujan pada satu saluran tertutup.

Penerapan terhadap sistem ini untuk daerah yang memiliki fluktuasi debit air limbah dan air hujan yang relatif kecil pada musim kemarau dan musim hujan.

Pemilihan sistem ini didasarkan atas beberapa pertimbangan antara lain :

1. Debit air limbah dan air hujan relatif kecil sehingga dapat disatukan.
2. Kuantitas air hujan dan air limbah tidak jauh berbeda.
3. Fluktuasi air hujan dari tahun ke tahun relatif kecil.
4. Daerah pelayanan merupakan daerah padat dan sangat terbatas untuk membangun saluran air limbah domestik yang terpisah dengan saluran air hujan.

C. Sistem kombinasi (*interceptor*)

Sistem penyaluran ini membawa air limbah dan air hujan bersamaan dengan saluran terbuka atau tertutup, tetapi sebelum menuju pengolahan akan dipisahkan melalui bangunan regulator. Sistem ini untuk diterapkan untuk daerah yang dilalui sungai tetapi tidak digunakan. Beberapa faktor yang digunakan dalam menentukan pemilihan sistem adalah :

1. Perbedaan yang besar antara kuantitas air limbah dan kuantitas air hujan pada daerah perencanaan.
2. Umumnya di dalam kota dilalui oleh sungai-sungai, dimana air hujan secepatnya dibuang ke sungai-sungai tersebut.
3. Periode musim kemarau dan musim hujan yang lama dan fluktuasi air hujan yang tidak tetap.

2.3 Dasar-dasar Perencanaan

Pertimbangan dalam perencanaan sistem penyaluran air limbah menurut Hardjosuprpto,2000 :

- a. Aliran air limbah harus mampu membawa kotoran dan tidak boleh merusak saluran.
- b. Jalur saluran diusahakan melalui daerah pelayanan sebanyak-banyaknya sehingga jalur saluran sambung menyambung mulai dari saluran awal hingga saluran induk, yang selanjutnya dialirkan ke IPAL.
- c. Air limbah disalurkan dalam saluran tertutup dan harus rapat.
- d. Dapat menggunakan pompa jika tidak memungkinkan pengaliran secara gravitasi.

- e. Aliran air limbah dapat terus menerus membawa kotoran di dalamnya tanpa ada yang mengendap sehingga tidak terjadi pembusukan yang menghasilkan gas yang bau dan berbahaya.
- f. Kedalaman air limbah mampu digunakan untuk berenang benda-benda yang ada di dalamnya dan tidak boleh penuh.

2.3.1 Syarat Pengaliran

Perencanaan penyaluran air limbah harus memperhitungkan syarat pengaliran agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan kriteria, syarat pengaliran tersebut antara lain (Hardjosuprpto, 2000) :

- a. Pengaliran di dalam pipa air limbah secara gravitasi, tetapi dapat terjadi dalam keadaan tertekan dan penuh yang memungkinkan untuk menggunakan pompa.
- b. Sistem penyaluran air limbah yang direncanakan dengan sistem terpisah.
- c. Aliran di dalam pipa harus dapat membawa padatan dan partikel lain yang terkandung pada air limbah saat terjadi debit minimum.
- d. Dianjurkan aliran di dalam pipa memiliki kecepatan membersihkan sendiri (*self cleansing velocity*) agar tidak terjadi pembusukan dan penyumbatan. Kecepatan minimum yang dipersyaratkan pada kondisi normal adalah 0,6 m/detik, sedangkan untuk daerah yang relatif datar adalah 0,3 m/detik. Kecepatan maksimum untuk air limbah yang mengandung pasir dan kerikil besar sebesar 2 m/detik, sedangkan untuk air limbah yang mengandung pasir dan kerikil kecil sebesar 3 m/detik.
- e. Perbandingan kedalaman air (d) dan diameter pipa (D) untuk diameter < 600 mm adalah $d/D = 0,6$ sedangkan diameter > 600 mm adalah $d/D = 0,8$. Hal ini berguna untuk mengurangi kondisi anaerob dan pembusukan dengan sedikitnya ruang udara yang terdapat pada pipa.
- f. Kecepatan aliran yang direncanakan dapat mengurangi terjadinya penggerusan, pengendapan.
- g. Kedalaman maksimal untuk pembenaman pipa riol air limbah domestik sebesar 7 m dengan dasar pertimbangan biaya serta kemudahan dalam pengoperasian dan pemeliharaan.

2.3.2 Pengumpulan Air Limbah Domestik

Menurut Hardjosuprpto (2000), pipa penyaluran air limbah dibedakan menjadi pipa persil, pipa servis, pipa lateral, dan pipa induk dengan fungsi sebagai berikut:

a. Pipa persil

Berfungsi untuk menerima air limbah domestik dari alat plambing yang sebelumnya ditampung pada bak kontrol. Kemiringan untuk pipa persil dianjurkan 2% dengan diameter pipa berkisar 100–150 mm memiliki kedalaman saat pembenaman pipa 0,45–0,6 m. Pipa persil umumnya digunakan pipa tanah liat atau PVC.

b. Pipa Servis

Merupakan pipa yang menerima sambungan air limbah domestik dari pipa persil dan disambungkan langsung ke pipa lateral melalui manhole. Kemiringan untuk pipa lateral berkisar 0,6%-1% dengan diameter awal 150 mm memiliki kedalaman awal saat pembenaman pipa 0,6 m serta lebar galian minimum sebesar 0,45 m. Pipa servis terletak memanjang di depan atau bagian belakang rumah dan diluar pekarangan rumah.

c. Pipa Lateral

Pipa ini berfungsi untuk menerima air limbah domestik dari pipa–pipa servis dialirkan ke pipa cabang. Kemiringan pipa *service* berkisar 0,5%-1% dengan diameter pipanya sebesar 200 mm, pembenaman awal 1,2 m. Pipa lateral terletak di sepanjang perumahan

d. Pipa Induk

Pipa induk merupakan pipa utama yang menerima percabangan dari pipa–pipa lateral menuju tempat pengolahan akhir (IPAL) dengan kemiringan pipa sebesar 0,2% - 1%.

e. Pipa cabang

Pipa saluran yang menerima air limbah dari pipa-pipa lateral. Umumnya digunakan pipa bulat lingkaran. Diameternya bervariasi tergantung dari debit yang mengalir pada masing-masing pipa. Kemiringan pipa sekitar 0,2%-1%.

2.3.3 Bahan Pipa

Menurut Lampiran II Permen PUPR No. 04 tahun 2017, faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan bahan pipa yaitu :

1. Kekuatan struktur.
2. Ketersediaan di lapangan.
3. Kekedapan dinding.
4. Umur ekonomis.
5. Koefisien kekasaran
6. Ketahanan terhadap disolusi di dalam air.
7. Kemudahan pengangkutan dan penanganan di lapangan.
8. Biaya suplai, transport dan pemasangan.
9. Kemudahan pemasangan sambungan.
10. Resistensi terhadap korosi (kimia) atau abrasi (fisik).

2.3.4 Bentuk Pipa

Bentuk pipa yang digunakan untuk jaringan perpipaan air limbah adalah (Zevri, 2010) :

a. Saluran terbuka

Terdiri dari dua (2) jenis yaitu saluran terbuka dengan aliran yang berfluktuasi kecil dan berfluktuasi besar. Kedua jenis saluran ini berbentuk persegi. Bentuk saluran persegi memiliki keuntungan dan kerugian yaitu bisa dibangun ditempat, kurang kuat, lebih tebal, dan adanya *death zone*.

b. Saluran tertutup

Terdiri dari dua (2) jenis yaitu berbentuk lingkaran dan bulat telur. Bentuk lingkaran digunakan saat debit konstan dan aliran tertutup, selain itu saluran berbentuk lingkaran digunakan pada pipa persil dan servis. Kriteria untuk pengaliran saluran berbentuk lingkaran adalah :

1. V_{maks} pada saat $d = 0,815 D$.
2. Q_{maks} pada saat $d = 0,925 D$.

Keuntungan saluran berbentuk lingkaran yaitu lebih kuat, mudah di dapat, gaya yang terjadi pada saluran lebih merata, tetapi kerugiannya yaitu diameter dan panjangnya terbatas.

Bentuk bulat telur pada saluran digunakan saat debit tidak konstan dan alirannya tertutup, biasanya digunakan untuk pipa lateral, cabang, dan induk. Kriteria untuk pengaliran saluran berbentuk telur adalah :

1. V_{maks} pada saat $d = 0,89 D$.
2. Q_{maks} pada saat $d = 0,94 D$.

Saluran berbentuk telur ini memiliki keuntungan adalah kedalaman renang lebih tinggi serta dapat mengatasi fluktuasi aliran tetapi kerugiannya adalah sulit diperoleh di pasaran, harganya mahal, dan pemasangannya susah dan lama.

Pemilihan bentuk pipa untuk air limbah, harus berdasarkan beberapa pertimbangan berikut (Hakim, 2017) :

1. Topografi, apabila kemiringannya cukup untuk mengalirkan maka menggunakan saluran terbuka dalam saluran tertutup. Sedangkan kemiringan yang datar menggunakan saluran tertutup tetapi biayanya jadi meningkat.
2. Ketersediaan tempat dalam penempatan pipa, apabila tersedia lahan yang cukup dapat menggunakan saluran berbentuk trapesium. Sedangkan untuk lahan yang kecil menggunakan saluran berbentuk segitiga atau segiempat.
3. Hidrolis pengaliran, mempertimbangkan kedalaman renang dan kecepatan yang minimum.
4. Konstruksi dari pipa harus memiliki kekuatan dan daya tahan yang cukup besar untuk menampung beban air limbah, kedap air, dan tertutup.
5. Ekonomis dan teknis, pertimbangan biaya sangat penting untuk perencanaan dan memberikan kemudahan saat konstruksi.

Bentuk penampangan pipa menurut Lampiran II Permen PUPR No.04 tahun 2017 yaitu :

A. Pipa Plastik (PVC)

Pipa bahan PVC untuk sambungan rumah dan pipa cabang. Ukuran diameter 300 mm dengan panjang standar 6 m.

B. Pipa Beton

Pada pipa induk, beton bertulang juga dipakai dengan diameter lebih besar dari pada PVC maksimal, dengan *lining* plastik atau epoksi (diproses monolit di pabrik) atau cat bitumen (*coal tar epoxy*) (dilakukan setelah instalasi di lapangan)

C. Pipa *Cast Iron*

Untuk bangunan layang di atas tanah (perlintasan sungai, jembatan, dan sebagainya) tidak cocok apabila diaplikasikan pada daerah payau, sambungan rumah karena biaya mahal dan daerah dengan tanah mengandung sulfat.

D. *Vitrified Clay Pipe* (VCP)

Untuk pipa pengaliran gravitasi dan sebagai sambungan rumah. Ukuran diameter 100-1.050 mm dan 100-375 mm dengan Panjang 0,6-1,5 m.

2.4 Perencanaan Teknis

2.4.1 Jenis Pengaliran

Jenis pengaliran dalam penyaluran air limbah ada 2 yaitu (Hardjosuprpto, 2000):

1. Pengaliran bertekanan, yaitu pengaliran yang terjadi dalam pipa akibat adanya pemompaan (tekanan hidrolis) dalam saluran tertutup.
2. Pengaliran tanpa tekanan, yaitu pengaliran bersifat terbuka dalam saluran tertutup, dimana sifat pengaliran secara gravitasi karena permukaan air limbah pada saluran berhubungan dengan udara bebas.

2.4.2 Kedalaman Aliran

Kedalaman aliran perlu diperhatikan karena kedalaman aliran akan menentukan kelancaran aliran, oleh sebab itu ditetapkan kedalaman minimum yang harus dipenuhi dalam penyaluran air limbah. Kedalaman minimum diartikan dengan kedalaman berenang tinja. Kedalaman aliran di Indonesia ditetapkan, yaitu:

1. $d_{min} = 5$ cm, pada pipa halus
2. $d_{min} = 7,5$ cm, pada pipa kasar

Perolehan harga d_{min} didapat dari Nomogram Design Main Sewer yaitu dengan cara mengetahui debit minimum (Q_{min}). Jika debit minimum kurang dari debit berenang maka saluran tersebut harus digelontor. (Hardjosuprpto, 2000).

Aliran air limbah harus selalu bersifat terbuka, jadi aliran dalam pipa tidak boleh penuh. Untuk memenuhi keadaan ini maka diameter aliran dalam pipa dibatasi 0,6 D sampai 0,8 D pada debit puncak, bila diameter aliran telah melewati 0,8 D maka

diameter pipa harus diperbesar atau kemiringan saluran harus diperbesar. (Hardjosuprpto, 2000)

Perlu ada ruang udara di dalam pipa agar air limbah dalam pipa riol tidak cepat mengurai. Jika di dalam pipa tidak ada udara, keadaan akan menjadi anaerob dan kemudian akan membusuk sehingga timbul H_2S . Pipa dengan diameter kurang dari 600 mm, angka d/D disyaratkan maksimum 0,6, sedangkan untuk pipa yang berdiameter lebih dari 600 mm, angka d/D dianjurkan maksimum 0,8.

2.4.3 Kecepatan Aliran (*Self Cleansing Velocity*)

Kecepatan aliran dalam pipa air limbah mampu membersihkan diri dari padatan dan material pengganggu yang terbawa oleh air limbah. Hal ini berguna untuk menghindari terjadinya pembusukan, endapan, dan penyumbatan.

Kriteria yang dianjurkan dalam *self cleansing velocity*, sebagai berikut (Hardjosuprpto, 2000) :

- a. Kecepatan minimum (V_{min}) harus $> 0,3$ m/detik untuk daerah yang relatif datar karena dapat menghemat kemiringan dari jalur pipa sedangkan untuk daerah yang beriklim panas sebesar 0,9 m/detik.
- b. Kondisi normal air limbah didalam pipa memiliki kecepatan rerata sebesar 0,6 m/detik.
- c. Kecepatan maksimum (V_{maks}) untuk air limbah yang mengandung banyak pasir adalah 2,0 m/detik agar tidak terjadi pengerusan pada dinding pipa.
- d. Kecepatan maksimum (V_{maks}) untuk air limbah yang mengandung sedikit pasir adalah 3,0 m/detik.
- e. Kecepatan penggelontor berkala (V_g) $> 0,75$ m/detik.

2.4.4 Fluktuasi Pengairan Air Limbah

Fluktuasi air limbah sama dengan fluktuasi air bersih yaitu memiliki variasi berdasarkan tahunan, harian dalam seminggu, dan jam dalam sehari. Fluktuasi air limbah mempunyai kurva yang sejenis dengan kurva pemakaian air bersih, karena 50-80% dari air bersih yang digunakan menjadi air limbah terhadap fungsi waktu (Hardjosuprpto, 2000). Timbulan air limbah memiliki aliran puncak yang terjadi pada siang hari dan aliran minimum pada jam 2-6 pagi saat aktivitas dalam

pemakaian air bersih sedikit. Pada jam puncak terdapat infiltrasi air permukaan dan air tanah yang masuk ke dalam timbulan air limbah secara konstan.

Faktor hari maksimum pada air bersih memiliki nilai 1,1-1,25 diasumsikan sama dengan faktor hari maksimum pada air limbah. Faktor-faktor air limbah yang ditetapkan berada pada nilai minimum dan maksimum. Nilai tersebut dipengaruhi oleh luas daerah dan pendapatan dari masyarakat (Hardjosuprpto, 2000).

2.4.5 Kekasaran Pipa

Pemilihan bahan pipa akan berpengaruh dengan nilai kekasaran pipa (koefisien *Manning*). Kekasaran pipa merupakan hal yang perlu diperhatikan karena berpengaruh dalam penentuan diameter saluran dengan memperhitungkan kecepatan dan kemiringan saluran. **Tabel 4.3** menunjukkan koefisien *Manning* untuk bahan pipa yang berbeda.

Tabel 2. 1 Koefisien Kekasaran Manning

No	Jenis Saluran	Koefisien Kekasaran <i>Manning</i> (n)
1	Pipa Besi Tanpa Lapisam	0,012-0,015
	Dengan Lapisan Semen	0,012-0,013
2	Pipa Berlapis Gelas	0,011-0,017
	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	0,013-0,017
6	Pipa plastic halus (PVC)	0,002-0,012
7	Pipa tanah liat (<i>Vitrified Clay</i>)	0,011-0,015

Sumber : PerMen PUPR No.04 Tahun 2017

2.4.6 Penempatan dan Pemasangan Saluran

Menurut Rosadi (2017), penempatan pipa pada sistem penyaluran air limbah domestik adalah sebagai berikut:

- a. Pipa Persil sebaiknya ditempatkan di luar rumah, artinya tidak ditempatkan di bawah lantai ruangan rumah. Hal ini dimaksudkan dengan pertimbangan jika terjadi kerusakan atau penggantian pipa tidak perlu membongkar lantai.

- b. Pipa Lateral sebaiknya ditempatkan di belakang rumah, karena pipa lateral ini akan menampung air limbah dari kamar mandi, bak cuci dan lain-lain yang umumnya terletak di belakang rumah.
- c. Pipa Servis
Pipa servis dan saluran umum (*public sewer*) lainnya sebaiknya ditempatkan di:
 1. Untuk di tepi jalan, sebaiknya di bawah trotoar atau tanggul jalan.
 2. Untuk penempatan di tengah jalan, dilakukan untuk jalan yang tidak lebar dan bila jumlah rumah bagian kiri dan kanan hampir sama banyak.
 3. Bila air limbah dari bagian kiri dan kanan tidak sama, maka penempatan dilakukan di sisi yang paling banyak rumahnya.
 4. Bila jumlah rumah di kedua sisi sama dan elevasi lebih tinggi dari jalan, maka penempatan di lakukan di tengah jalan.
 5. Bila jumlah rumah di kedua sisi banyak sekali, maka penempatan dapat di lakukan baik di sisi kiri dan kanan jalan.
 6. Jalan dengan bangunan/rumah lebih tinggi elevasinya dari sisi lain, maka penempatan dilakukan di sisi yang elevasinya lebih tinggi.

2.5 Bangunan Pelengkap Air Limbah

2.5.1 Manhole

Berdasarkan DPU Cipta Karya (2000), fungsi dari manhole adalah digunakan untuk mengadakan pemeriksaan dan pembersihan pada saluran bila ada penyumbatan. Persyaratan *manhole* menurut PerMen PUPR No. 4,2017 yang baik adalah:

- a. Bersifat padat.
- b. Dinding dan pondasi kedap air.
- c. Kuat menahan gaya-gaya dari luar.
- d. Cukup luas agar petugas dapat masuk ke dalam *manhole*.
- e. Terbuat dari beton atau pasangan batu bata dan batu kali.

Jika diameter pipa besar dan kedalaman lebih besar atau sama dengan 2,50 m digunakan beton bertulang. Bagian atas dinding manhole perlu diberi konstruksi yang fleksibel.

A) Penempatan *Manhole*

Bangunan *manhole* ditempatkan pada:

- a. Jalur saluran yang lurus, dengan jarak tertentu tergantung diameter saluran. Jarak *manhole* dapat dilihat pada **Tabel 2.2**
- b. Setiap perubahan kemiringan saluran, diameter dan arah aliran, baik vertikal maupun horizontal.
- c. Setiap lokasi sambungan persilangan atau percabangan dengan pipa atau bangunan lain.

Tabel 2. 2 Jarak *Manhole* Pada Jalur Lurus

Diameter (mm)	Jarak (m)
<200	50-100
200-500	100-125
500-1.000	125-150
>1.000	150-200

Sumber : PerMen PUPR No.04/2017

Bagian atas dinding *manhole* perlu diberi konstruksi yang fleksibel. Komponen dilengkapi dengan anak tangga untuk memanjat atau menuruni saat inspeksi atau perawatan seperti pada **Gambar 2.1**

B) Bentuk dan dimensi *manhole*

Berdasarkan DPU Cipta Karya (2000), bentuk-bentuk *manhole* terdiri dari:

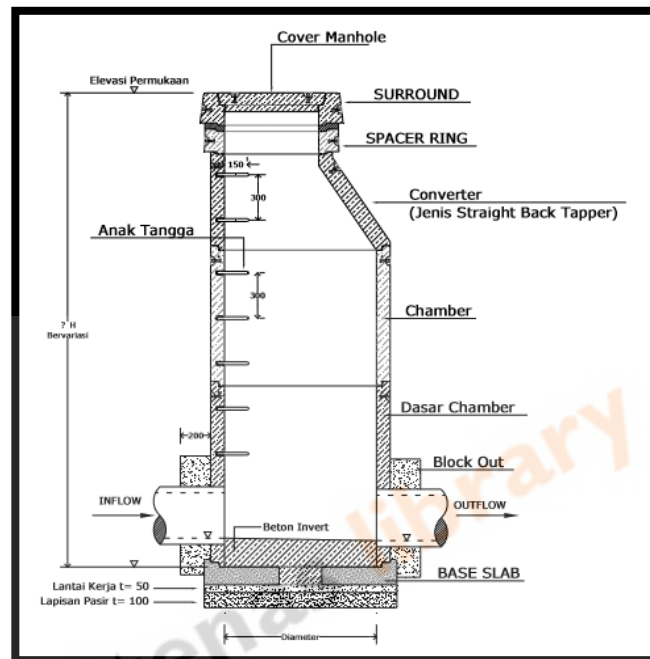
- 1) Bentuk persegi panjang atau bujur sangkar, digunakan bila:
 - a. Kedalaman kecil (75-90) cm
 - b. Beban yang diterima kecil
 - c. Pada bangunan *shipon*
 - d. Dimensi: (60 x 75 cm) dan (75 x 75 cm) Bentuk ini tidak memerlukan tangga karena pengoperasian dilakukan dari permukaan tanah.
- 2) Bentuk bulat, digunakan bila:
 - a. Beban yang diterima besar
 - b. Kedalaman besar

Kedalaman jenis *manhole* ada 3 yaitu *manhole* dangkal, normal dan dalam. Dapat dilihat pada Tabel

Tabel 2. 3 Kedalaman Manhole

Kedalaman (m)	Jenis <i>Manhole</i>
0,75-0,9	<i>Manhole</i> Dangkal
1,5	<i>Manhole</i> Normal
>1,5	<i>Manhole</i> Dalam

Sumber: Permen PUPR 04/2017

**Gambar 2. 1 Tipikal *Manhole***

Sumber: Permen PUPR 04/2017

3) Tipe *Manhole*

a. Tipe A

1. Untuk pipa lateral dan cabang.
2. Kedalaman 0,45-1,5 m.
3. Bentuk segi empat dengan tebal dinding 150 mm.
4. Lebar 1,1 meter agar dapat digunakan di jalan.

b. Tipe B

1. Untuk semua pipa dengan ukuran hingga 1.200 mm.
2. Kedalaman 1,5-2,7 m.
3. Bentuk bulat dengan tebal dinding 200 mm, dengan diameter 1.200-2.100 mm.

c. Tipe C

1. Untuk semua pipa dengan ukuran hingga 1.200 mm.
2. Kedalaman 2,7-5 m
3. Bentuk bulat dengan tebal dinding 200 mm, dengan diameter 1200-2100 mm

d. Tipe D

1. Untuk semua pipa dengan ukuran hingga 1.200 mm
2. Kedalaman >5 m
3. Bentuk bulat dengan tebal, dinding 250 mm, dengan diameter 1.500-2.100 mm

C) Ketebalan Dinding *Manhole*

Ketebalan dinding manhole serta ketebalan lantai tergantung dari adalah (DPU Cipta Karya, 2000):

1. Kedalaman.
2. Kondisi tanah.
3. Beban yang diterima.
4. Material yang digunakan.

Ketebalan dinding manhole umumnya 125-225 mm tergantung material yang digunakan.

D) Lantai Kerja *Manhole*

Persyaratan lantai kerja manhole yang baik adalah (DPU Cipta Karya, 2000):

1. Mempunyai luas yang cukup untuk petugas berdiri dan meletakkan alat pembersih.
2. Kemiringan lantai 8%.
3. Sisi *U-shaped* harus cukup tinggi untuk mencegah overflow air buangan ke lantai.

E) Tutup *Manhole*

Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan tutup *manhole* antara lain (DPU Cipta Karya, 2000):

1. Mudah diperbaiki atau diganti.
2. Kuat menahan beban di atasnya..
3. Terdapat di pasaran dengan harga murah.

4. Tertutup rapat, kecuali jika berfungsi sebagai ventilasi .
5. Bahan yang digunakan adalah baja, besi atau plat beton. Diameter minimum adalah 0,6 meter.

F) Tangga *Manhole*

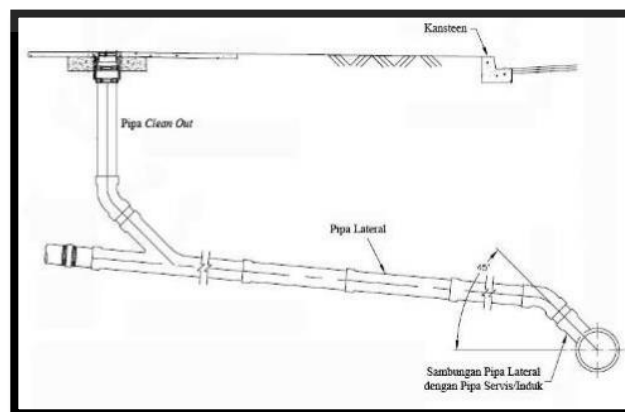
Tangga manhole yang diperlukan cukup hanya untuk berpijak sepasang kaki. Terbuat dari besi atau alumunium. Bentuk tangga adalah U dengan diameter 3/4-1 inch. Jarak antar anak tangga 30-50 cm (DPU Cipta Karya, 2000).

2.5.2 Terminal *Clean Out*

Saluran penggelontor (*terminal clean out*) dipasang diujung pipa lateral dengan menggunakan pipa PVC. Konstruksi berbentuk pipa seperti busur seperempat lingkaran dilengkapi penutup yang dapat dibuka. Pemasangan saluran penggelontor sebagai berikut (PerMen PUPR No. 4,2017) :

- a. Saluran penggelontor dipasang bersamaan dengan pemasangan pipa lateral;
- b. Sambungan pada saluran penggelontor dengan pipa lateral menggunakan sambungan pipa cabang (T) dan material sambungan tipe *solvent cement*;
- c. Pada bagian atas saluran penggelontor menggunakan penutup sistem ulir agar mudah dibuka dan diperkuat dengan cover beton; dan
- d. Selanjutnya dilakukan pekerjaan urukan kembali sesuai dengan kondisi awal.

Contoh gambar saluran penggelontor (*terminal clean out*) dapat dilihat pada **Gambar 2.2.**



Gambar 2. 2 Saluran Penggelontor (*terminal clean out*)

Sumber: Permen PUPR 04/2017

2.6 Perhitungan Debit Air Limbah

Penentuan besar debit air limbah di daerah pelayanan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya:

1. Sumber air limbah;
2. Besarnya pemakaian air bersih;
3. Besarnya curah hujan;
4. Jenis material yang digunakan, penyambungan, jenis dan banyaknya bangunan pelengkap.

Berdasarkan faktor-faktor diatas, maka dalam penentuan dimensi air limbah ada beberapa jenis debit air limbah yang harus di perhatikan, diantaranya :

2.6.1 Debit Rata–Rata Air Limbah (Qr)

Debit rata-rata air limbah adalah debit dari rumah tangga yang akan dibuang ke saluran pengumpul. Selain dari rumah tangga dapat juga berasal dari fasilitas umum, komersial, dan industri tetapi tidak semua dibuang ke saluran pengumpul karena adanya variasi aktivitas manusia. Kebutuhan domestik didapat dari kebutuhan air bersih sambungan langsung dan hidran umum, non domestik di asumsikan 20% dari kebutuhan domestik.

Perhitungan pemakaian air limbah domestik pada SPALD-T dapat dilihat pada persamaan 2.1 (Hardjosuprpto,2000):

$$Q_d = f_{ab} \times \text{std. air bersih} \times \text{Peksisting} \quad (2.1)$$

Keterangan:

Q_d = Pemakaian air domestik (L/detik)

f_{ab} = Faktor timbulan air limbah (60-80%)

Std.air bersih = Standar kebutuhan air bersih (L/or)

Peksisting = Jumlah penduduk nyata (ribuan jiwa)

Perhitungan air limbah non domestik pada SPALD-T dapat dilihat pada persamaan 2.2 (Hardjosuprpto,2000):

$$Q_{nd} = 20\% \times Q_d \quad (2.2)$$

Keterangan :

Q_{nd} = Pemakaian air bersih non domestik (L/detik)

Penduduk ekivalen untuk mengetahui jumlah penduduk non domestik SPALD-T dapat dilihat pada persamaan 2.3 (Hardjosuprpto,2000):

$$Pe = \frac{Q_{nd}}{\text{Std.air bersih}} \quad (2.3)$$

Pe = Jumlah penduduk ekivalen (ribuan kapita)

Penduduk total yaitu jumlah penduduk domestik dan penduduk non domestik pada SPALD-T dapat dilihat pada persamaan 2.4 (Hardjosuprpto,2000):

$$P_{total} = P_{eksisting} + Pe \quad (2.4)$$

Keterangan :

P total = Penjumlahan penduduk eksisting dan penduduk ekivalen (jiwa)

Debit rata-rata air limbah didapatkan dari persentase pemakaian air bersih yang telah di tetapkan yaitu 50-80% dari pemakaian bersih rata-rata (Liter/orang/hari) (Hardjosuprpto, 2000). Persentase kehilangan sekitar 20-50% disebabkan pemakaian untuk kegiatan rumah tangga seperti mandi, cuci, makan, menyiram tanaman, dan mencuci kendaraan.

Persamaan untuk menghitung pemakaian air satuan rata-rata air limbah dapat dilihat pada persamaan 2.5 (Hardjosuprpto, 2000):

$$qr = fab \times \text{Std. air bersih} \quad (2.5)$$

Keterangan :

qr = Debit satuan rata-rata air limbah (L/detik/.1.000k)

Persamaan untuk menentukan besarnya debit rata-rata air limbah pada SPALD-S dapat dilihat pada persamaan 2.6 (Hardjosuprpto, 2000):

$$Qr = P_{eksisting} \times qr \quad (2.6)$$

Keterangan :

Qr = Debit rata-rata air limbah (L/detik)

2.6.2 Debit Hari Maksimum (Qmd)

Debit hari maksimum adalah debit air limbah domestik pada kondisi pemakaian air maksimum dalam satu hari selama satu tahun. Faktor debit hari maksimum bervariasi berkisar 1,1-1,25 dari debit rata-rata air limbah. Persamaan tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.7 (Hardjosuprpto, 2000):

$$q_{md} = f_{md} \times qr \quad (2.7)$$

Keterangan :

qmd = Debit rata-rata hari maksimum (L/detik)

fmd = Faktor debit hari maksimum (1,1-1,25)
 qr = Debit rata-rata air limbah (L/detik)

2.6.3 Debit Puncak (Qpeak)

Debit puncak yaitu perkiraan debit air limbah sesuai dengan perkiraan pemakaian air bersih yang paling b dalam jam tertentu selama 1 (satu) hari. Qpeak digunakan untuk penentuan dimensi saluran air limbah pada akhir tahap perencanaan karena dapat melayani beban air limbah dalam keadaan berfluktuasi. Debit puncak musim kering pada hari maksimum untuk riol persil sampai servis perlu dicari karena debit infiltrasi musim hujan relatif sangat kecil dan sudah diantisipasi dengan adanya faktor hari maksimum (Hardjosuprpto, 2000). Dapat dilihat pada persamaan 2.8 :

$$Q_{pp} = 5 \times P^{\frac{1}{2}} \times q_{md} \quad (2.8)$$

Keterangan :

Q_{pp} = Debit puncak desain pipa persil (L/detik)
 P = Jumlah penduduk (ribuan jiwa)
 q_{md} = Debit satuan air limbah hari maksimum (L/detik/1.000)

Jika debit puncak akhir pipa servis dari ± 50 rumah dapat dilihat pada persamaan 2.9 (Hardjosuprpto, 2000).

$$Q_{ps} = 0,7 \times n \times q_{pp} \quad (2.9)$$

Keterangan :

Q_{ps} = Debit ujung akhir pipa servis (L/detik)
 n = Jumlah rumah atau sambungan pipa persil (buah)

Menurut Hardjosuprpto, 2000. Penentuan debit puncak musim kering pada persamaan Babbit berlaku dari jumlah penduduk (2.000-4.000) jiwa sampai 1.000.000 jiwa. Dapat dilihat pada persamaan 2.10.

$$Q_{pk} = 5 \times P^{0,8} \times q_{md} \quad (2.10)$$

Keterangan:

Q_{pk} = Debit puncak musim kering riol lateral atau riol mayor (L/detik)
 $5 \times P^{0,8}$ = Faktor puncak
 P = Jumlah penduduk total (jiwa)
 q_{md} = Debit satuan air limbah hari maksimum (L/detik/1.000)

2.6.4 Debit Infiltrasi (Q_{inf}) dan Debit *Surface* Infiltrasi (Q_{sf})

- a. Debit infiltrasi adalah debit air limbah domestik yang menerima masukan dari air permukaan dan air hujan pada saluran air limbah. Masukan tersebut disebabkan karena kondisi tanah dan aliran air tanah, adanya celah dari manhole dan bangunan pelengkap serta pekerjaan pada sambungan pipa yang kurang sempurna. Rumus yang digunakan untuk menentukan besarnya debit infiltrasi dapat dilihat pada persamaan 2.11 (Hardjosuprpto, 2000):

$$Q_{inf} = \left(\frac{L}{1000} \right) \times q_{inf} \quad (2.11)$$

Keterangan :

q_{inf} = Debit infiltrasi (1-3 L/detik/1.000 m)

L = Panjang saluran

- b. Debit *surface* infiltrasi (Q_{sf}), adalah infiltrasi yang berasal dari air tanah daerah pelayanan. Rumus yang digunakan untuk menentukan besarnya debit *surface* infiltrasi dapat dilihat pada persamaan 2.12 (Hardjosuprpto, 2000):

$$Q_{sf} = C_r \times P \times Q_r \quad (2.12)$$

Keterangan :

Q_{sf} = Debit *surface* infiltrasi (L/detik)

C_r = Koefisien infiltrasi (0,1-0,3)

P = Jumlah penduduk total (ribuan kapita)

Q_r = Debit rata-rata air limbah (L/detik)

Koefisien inflow beragam berdasarkan daerah pelayanannya. Namun, koefisien faktor sebesar 0,2 umum dipakai pada perhitungan. Koefisien dari tiap daerah yaitu (Hardjosuprpto, 2000):

1. Daerah elit = 0,1
2. Daerah sedang = 0,2
3. Daerah jelek = 0,3

2.6.5 Debit Minimum (Q_{min})

Debit minimum adalah debit air limbah saat kondisi minimum yang berpengaruh terhadap keperluan adanya penggelontoran jika kecepatan aliran mengecil yang disebabkan oleh pengendapan zat-zat organik. Perhitungan debit

minimum dapat dilihat pada persamaan 2.13 untuk seluruh jaringan riol jika tidak ada debit tambahan infiltrasi saat musim kering (Hardjosuprpto, 2000):

$$Q_{\min} = \frac{Q_r^2}{Q_p} \quad (2.13)$$

Keterangan :

- Q_{\min} = Debit minimum (L/detik)
 Q_r = Debit rata-rata air limbah (L/detik)
 Q_p = Debit puncak (L/detik)

Menurut Hardjosuprpto, 2000. Persamaan Babbitt berlaku dari mulai jumlah penduduk (2.000-4.000) jiwa sampai 1.000.000 jiwa, sehingga untuk menentukan besarnya debit puncak musim kering rata-rata dapat dilihat pada persamaan 2.14:

$$q_{\min} = 0,8 \times q_r \quad (2.14)$$

Perhitungan debit puncak musim kering dapat dilihat pada persamaan 2.15 (Hardjosuprpto, 2000).

$$Q_{\min} = P^{1,2} \times \frac{q_{\min}}{5} \quad (2.15)$$

Keterangan :

- Q_{\min} = Debit minimum (L/detik)
 P = Jumlah penduduk total (jiwa)
 q_{\min} = Debit satuan minimum (L/detik/1.000)

2.6.6 Debit Puncak Desain (Q_{pd})

Debit puncak desain merupakan penjumlahan dari debit puncak (Q_{peak}) dengan debit infiltrasi (Q_{inf} dan Q_{sf}) yang terjadi pada saat aliran penuh pada pipa. Debit puncak desain digunakan untuk menghitung dimensi pipa pada perhitungan selanjutnya. Dapat dilihat pada persamaan 2.16 (Hardjosuprpto, 2000).

$$Q_{pd} = (Q_{peak} + Q_{inf} + Q_{sf}) \quad (2.16)$$

Keterangan :

- Q_{pd} = Debit puncak desain (L/detik)
 Q_{peak} = Debit puncak (L/detik)
 Q_{inf} = Debit infiltrasi (1-3 L/detik/1.000 m)
 Q_{sf} = Debit infiltrasi *surface* (L/detik)
 d/D = Perbandingan kedalaman air dengan diameter pipa

2.7 Prinsip-prinsip Hidrolika

Pengaliran pada sistem penyaluran air limbah mengacu pada hukum-hukum fluida terutama yang menyangkut energi.

2.7.1 Jenis Pengaliran

Jenis pengaliran yang dikenal dalam hukum fluida yaitu (Hardjosuprpto, 2000):

1. Aliran *steady*, yaitu pengaliran dengan kecepatan yang tetap (tidak berubah terhadap waktu)
2. Aliran *unsteady*, yaitu pengaliran dengan kecepatan yang berubah-ubah sesuai dengan perubahan waktu.
3. Aliran *uniform*, yaitu pengaliran yang terjadi bila kedalaman, luas penampang dan elemen lain dari pengaliran tetap konstan pada setiap bagian saluran.
4. Aliran *non uniform*, yaitu aliran yang sering terjadi bila kemiringan, luas penampang, dan kecepatan berubah-ubah di setiap bagian saluran.

Menurut Hardjosuprpto (2000), pengaliran dalam saluran air buangan umumnya bersifat *unsteady* dan kadang-kadang *non uniform*. Hal tersebut dipermudah dengan mengasumsikan aliran bersifat *steady*, kecuali pada saat mendesain pompa dan peralatan utama lainnya. Demikian pula dengan *non uniform*, sering diasumsikan *uniform* kecuali pada perubahan kecepatan yang besar, *outfall* dan saluran stasiun pompa yang besar.

2.7.2 Persamaan Pengaliran Fluida

Menurut Hardjosuprpto (2000), terdapat beberapa persamaan dalam pengaliran fluida secara empiris. Persamaan-persamaan tersebut diterapkan untuk aliran *steady uniform* dan hanya mempertimbangkan kehilangan tekanan akibat gesekan sepanjang pipa. Pada umumnya persamaan yang digunakan dalam penyaluran air limbah adalah persamaan *manning* karena sederhana, keakuratan, dan dapat diterapkan pada aliran terbuka. Persamaan ini digunakan untuk menghitung kecepatan dan debit dari data yang diberikan yaitu kemiringan, kedalaman aliran, dan faktor-faktor lain yang berhubungan dengan pipa.

2.7.3 Hidrolika Pipa

Persamaan yang digunakan adalah persamaan *manning* (persamaan hidrolis) untuk menghitung dimensi dari pipa setelah kecepatan aliran memenuhi syarat serta cocok dipakai pada pipa dengan aliran terbuka atau aliran penuh. Persamaan *manning* yang digunakan untuk perhitungan dimensi pipa dan kecepatan aliran antara lain (Hardjosuprpto, 2000):

$$V_{full} = \frac{R^{\frac{2}{3}} \times s^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (2.17)$$

$$Q_{full} = \frac{Q_{pd}}{\frac{Q_{pd}}{Q_{full}}} \quad (2.18)$$

$$s = \frac{\Delta H}{L} \quad (2.19)$$

$$D = \left(\frac{Q_{full} \times n}{0,312 \times s^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (2.20)$$

$$V_{min} = \frac{V_{min}}{V_{full}} \times V_{full} \quad (2.21)$$

Keterangan :

Q_{full} = Debit yang mengalir di saluran (m³/detik)

Q_{pd} = Debit desain (m³/detik)

V_{full} = Kecepatan aliran (m/detik)

R = Jari-jari hidrolis (m)

s = Slope

n = Koefisien kekasaran dinding saluran (koefisien *manning*)

ΔH = Selisih ketinggian/elevasi (m)

L = Panjang pipa (m)

V_{min} = Kecepatan minimum aliran (m/detik)

Persamaan di atas dapat digunakan untuk berbagai koefisien Manning tergantung pemilihan bahan pipa. Persamaan Q_{full} dan V_{min} didapatkan dari “*Hydraulic Element Graph For Circular Sewer*” yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1**. Perhitungan Q_{full} didapat dengan menentukan terlebih dahulu d/D dengan perencanaan teknis yang tidak boleh melebihi 0,8 dari diameter pipa untuk mengetahui nilai perbandingan Q_{peakl}/Q_{full} . Nilai perbandingan Q_{min}/Q_{full} untuk mencari nilai perbandingan D_{min}/D_{full} untuk mendapatkan nilai perbandingan

V_{\min}/V_{full} sehingga di dapatkan nilai V_{\min} . Kriteria desain dalam perencanaan yang harus dipenuhi pada SPALD dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2. 4 Kriteria Desain dalam Syarat Pengaliran SPALD-S

No	Parameter	Kriteria Desain	Sumber
1	Kebutuhan air minum untuk kota sedang	190 L/O/H	SK SNI Air Minum,2000
2	Faktor air limbah	60-80%	PerMen PUPR No.4, 2017
3	<i>Slope</i> /kemiringan	Pipa Lateral minimal 2%	PerMen PUPR No.4, 2017
4	d/D	0,6-0,8 dari diameter pipa	Hardjosuprpto, 2000
5	Diameter pipa	Min. 100 mm untuk pipa lateral	PerMen PUPR No.4, 2017
6	Galian awal untuk pipa lateral	0,6 m	Hardjosuprpto, 2000
7	V_{\min}	0,3-3 m/detik	Hardjosuprpto, 2000

2.8 Pembenaman Pipa

Pembenaman pipa memperhitungkan *slope* pipa, hal ini agar air limbah yang disalurkan mengalir secara gravitasi. Selain itu pembenaman pipa berpengaruh terhadap peletakan pipa yang akan dipasang, sehingga perlu diketahui kedalaman galian serta kebutuhan *manhole* pada perencanaan pipa penyaluran air limbah. Perhitungan pembenaman pipa menggunakan persamaan 2.22 hingga 2.31 sebagai berikut (Hardjosuprpto, 2000) :

$$1. \text{ Elevasi Puncak Awal} = \text{Elevasi tanah awal-pembenaman awal} \quad (2.22)$$

$$2. \text{ Elevasi Puncak Akhir} = \text{Elevasi atas pipa awal} - \text{headloss} \quad (2.23)$$

Keterangan :

$$\text{Headloss} = L \text{ ekivalen} \times \text{slope} \quad (2.24)$$

$$3. \text{ Elevasi Dasar Awal} = \text{Elevasi puncak awal} - [\text{d pasaran} + (2 \times \text{tebal pipa})] \quad (2.25)$$

$$4. \text{ Elevasi Dasar Akhir} = \text{Elevasi puncak akhir} - [\text{d pasaran} + (2 \times \text{tebal pipa})] \quad (2.26)$$

$$5. \text{ Kedalaman Galian Awal} = \text{Elevasi tanah awal} - \text{elevasi dasar awal} - \text{tebal bantalan pipa} \quad (2.27)$$

$$6. \text{ Kedalaman Galian Akhir} = \text{Elevasi tanah akhir} - \text{elevasi dasar akhir} - \text{tebal bantalan pipa} \quad (2.18)$$

$$7. \Delta H \text{ Galian} = \text{Kedalaman galian awal} - \text{kedalaman galian akhir} \quad (2.19)$$

$$8. \text{Lebar Galian} = (1,5 \times D \text{ pasaran}) + 0,3 \quad (2.20)$$

$$9. \text{Volume Galian} = \frac{\text{Ked.Galian Awal} + \text{Ked.Galian Akhir}}{2} \times \text{Lebar galian} \times \text{Lekivalen} \quad (2.21)$$

2.9 Tangki Septik

Berdasarkan SNI 2398-2017, Tangki septik adalah suatu ruangan kedap air terdiri dari satu/beberapa kompartemen yang berfungsi menampung dan mengolah air limbah rumah tangga dengan kecepatan aliran yang lambat, sehingga memberi kesempatan untuk terjadi pengendapan terhadap suspensi benda-benda padat dan kesempatan untuk penguraian bahan-bahan organik oleh jasad anaerobik membentuk bahan-bahan larut air dan gas. Tangki septik dibagi menjadi dua jenis sistem, yaitu:

- a. Tangki septik dengan sistem terpisah
Merupakan tangki septik yang berfungsi untuk menampung buangan hanya dari kakus.
- b. Tangki septik dengan sistem tercampur
Merupakan tangki septik yang berfungsi untuk menampung buangan dari air limbah rumah tangga seperti berasal dari mandi, cuci, dan kakus.

Karakteristik dari tangki septik sendiri adalah :

- a. Dapat dibuat dengan sistem kombinasi berupa anaerob dan aerob.
- b. Harus kedap air.
- c. Bahan dari tangki septik harus tahan terhadap asam.
- d. Pipa inlet dan outlet sesuai dengan ketentuan.
- e. Pipa ventilasi sesuai dengan ketentuan.
- f. Dilengkapi pengolahan lanjutan untuk effluent yang dihasilkan seperti bidang resapan, *constructed wetland*, dan lainnya.

2.9.1 Bentuk dan Ukuran Tangki Septik

Bentuk dan ukuran dari tangki septik dibedakan menjadi dua (2) jenis yaitu berbentuk segi empat serta bulat. Ketentuan dari kedua bentuk tersebut adalah sebagai berikut (SNI 2398-2017) :

1. Tangki septik berbentuk segi empat memiliki perbandingan terhadap panjang dan lebar sebesar 2 : 1 hingga 3 : 1, dengan lebar tangki minimal 0,75 m dan panjang tangki minimal 1,5 m, tinggi tangki minimal 1,5 m dan termasuk dengan ambang batas 0,3 m.
2. Tangki septik berbentuk bulat untuk melayani satu keluarga berdiameter minimal 1,20 m dengan tinggi minimal 1,50 m dengan ambang batas yang disesuaikan dengan dimensinya.

Berdasarkan SNI 2398-2017 telah ditetapkan ukuran tangki septik untuk sistem terpisah dan tercampur menurut jumlah pemakai yang menggunakan. **Tabel 2.5** menunjukkan ukuran tangki septik untuk sistem tercampur dengan periode pengurasan 3 tahun.

Tabel 2.5 Ukuran Tangki Septik untuk Sistem Tercampur dalam Periode Pengurasan 3 Tahun

Pemakai (KK)	Ruang Basah (m ³)	Ruang Lumpur (m ³)	Ruang Abang Bebas (m ³)	Ukuran (m)			Volume Total (m ³)
				P	L	T	
1	1,2	0,45	0,4	1,6	0,8	1,6	2,1
2	2,4	0,9	0,6	2,1	1,0	1,8	3,9
3	3,6	1,35	0,9	2,5	1,3	1,8	5,8
4	4,8	1,8	1,2	2,8	1,3	2	7,8
5	6,0	2,25	1,4	3,2	1,4	2	9,6
10	12,0	4,5	2,9	4,4	2,2	2	19,4

Sumber : SNI 2398-2017

Selain ukuran tangki septik untuk sistem tercampur terdapat juga untuk sistem terpisah dengan periode pengurasan yang sama yaitu 3 tahun. Ukuran tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.6**.

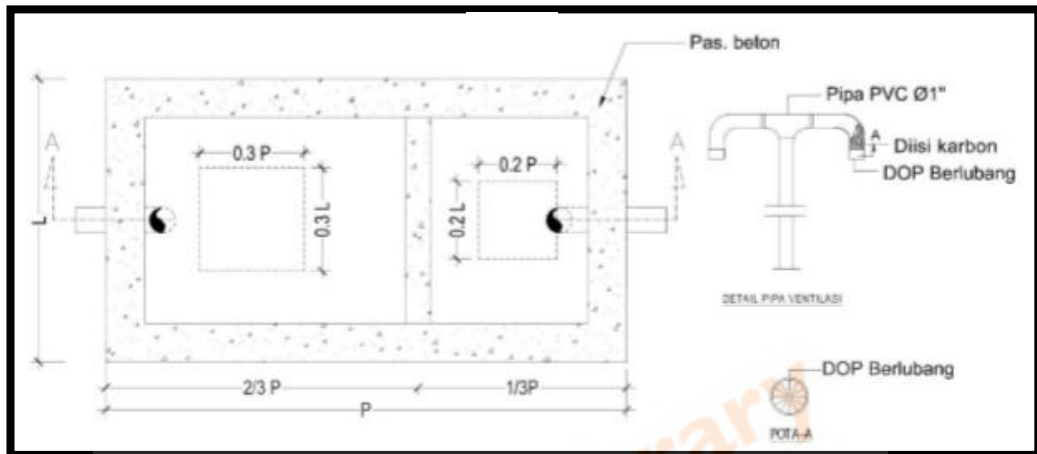
Tabel 2.6 Ukuran Tangki Septik untuk Sistem Terpisah dalam Periode Pengurasan 3 Tahun

Pemakai (KK)	Ruang Basah (m ³)	Ruang Lumpur (m ³)	Ruang Abang Bebas (m ³)	Ukuran (m)			Volume Total (m ³)
				P	L	T	
2	0,4	0,9	0,3	1,6	0,8	1,3	1,6
3	0,6	1,35	0,5	1,8	1,0	1,4	2,45
4	0,8	1,8	0,6	2,1	1,0	1,5	3,2

Pemakai (KK)	Ruang Basah (m ³)	Ruang Lumpur (m ³)	Ruang Ambang Bebas (m ³)	Ukuran (m)			Volume Total (m ³)
				P	L	T	
5	1,0	2,6	0,9	2,4	1,2	1,6	4,5
10	2,0	5,25	1,5	3,2	1,6	1,7	8,7

Sumber : SNI 2398-2017

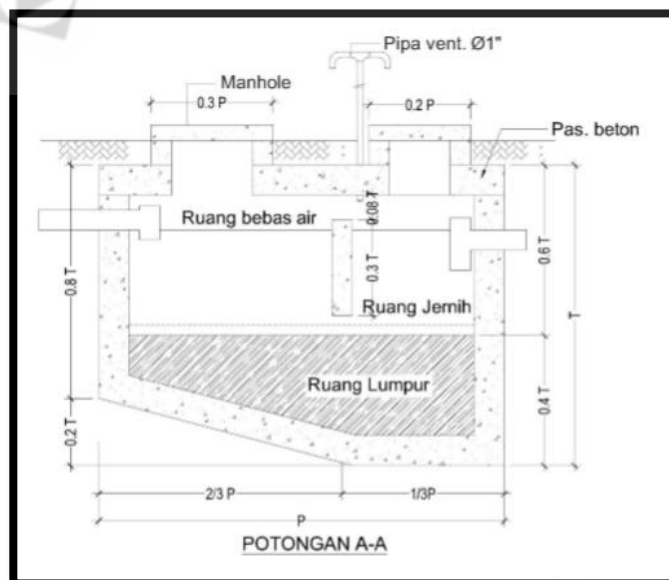
Bentuk denah tangki septik dengan 1 kompartemen beserta kriteria desain yang dipersyaratkan dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2. 3 Denah Tangki Septik dengan 1 Kompartemen

Sumber: SNI 2398-2017

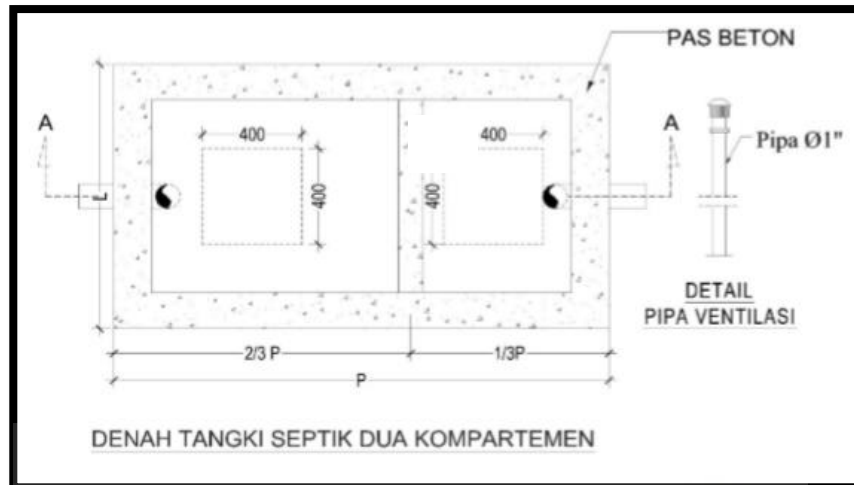
Bentuk potongan A-A tangki septik dengan 1 kompartemen beserta kriteria desain yang di persyaratkan dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2. 4 Potongan A-A Tangki Septik dengan 1 Kompartemen

Sumber: SNI 2398-2017

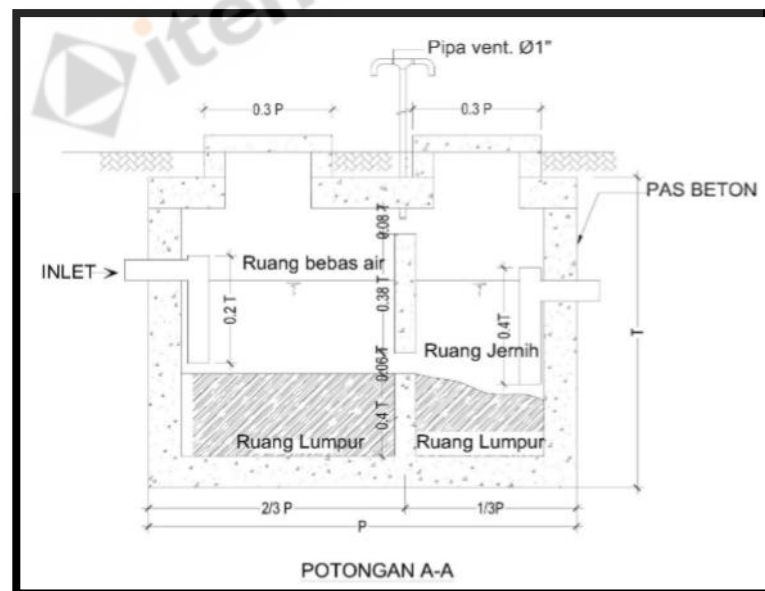
Bentuk denah tangki septik dengan 2 kompartemen beserta kriteria desain yang dipersyaratkan dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2. 5 Denah Tangki Septik dengan 2 Kompartemen

Sumber: SNI 2398-2017

Bentuk potongan A-A tangka septik dengan 2 kompartemen beserta kriteria desain yang dipersyaratkan dapat dilihat pada **gambar 2.6**.



Gambar 2. 6 Potongan A-A Tangki Septik dengan 2 Kompartemen

Sumber: SNI 2398-2017

Pemilihan bentuk tangki septik yang digunakan bergantung pada dimensinya, apabila panjang tangki > 2,4 m atau volume tangki > 5,6 m³ maka bentuk yang didesain adalah segi empat dengan interior dalamnya dibagi menjadi 2 kompartemen (*inlet* dan *outlet*). Interior dalam dari tangki septik bisa dibuat hanya 1 kompartemen tetapi dasar tangkinya harus memiliki kemiringan tertentu agar pengurasan lumpur menjadi mudah.

2.9.2 Jarak

Effluent dari tangki septik dialirkan melalui pengolahan lanjutan berupa sistem *up flow filter*, bidang resapan, dan taman sanita. Pengolahan lanjutan ini memerlukan ketersediaan lahan, sehingga diperlukan jarak minimum terhadap suatu bangunan tertentu yang ditunjukkan pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Jarak Minimum terhadap Unit Pengolahan Lanjutan dengan Bangunan Tertentu

Jarak dari	Sumur/bidang resapan (m)	<i>Up flow filter</i>	Taman sanita
Bangunan gedung/rumah	1,50	1,50	1,50
Sumur air bersih	10,00	1,50	1,50
Sumur resapan air hujan	5,00	1,50	1,50

Sumber : SNI 2398-2017

2.9.3 Pipa penyalur air limbah rumah tangga

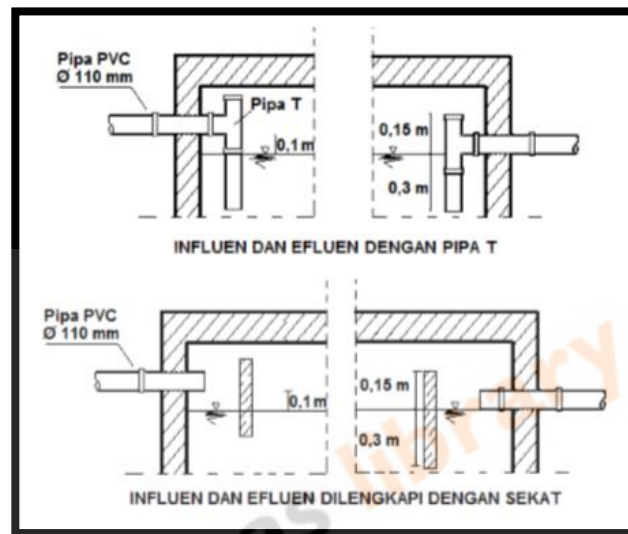
Ketentuan kriteria desain pipa penyalur air limbah rumah tangga adalah sebagai berikut (SNI 2398-2017) :

- Diameter minimum untuk pipa PVC adalah 110 mm (4 inch), dan diameter minimum untuk pipa beton atau pipa keramik adalah 150 mm (6 inch).
- Kemiringan minimum sebesar 2%
- Sambungan pipa antara tangki septik dengan unit pengolahan lanjutan harus kedap air.
- Setiap belokan yang > 45° dengan perubahan belokan 22,5° harus dipasang lubang pembersih (clean out) sebagai pengontrolan/pembersihan pipa. Pada belokan 90° dibuat dua kali belokan masing- masing 45° atau menggunakan bak kontrol.

2.9.4 Pipa inlet dan outlet

Ketentuan dari pipa inlet dan outlet yang harus dipenuhi yaitu (SNI 2398 - 2017

- Dapat berupa sambungan T atau sekat sesuai dengan **gambar 2.7**.
- Pipa *outlet* harus diletakkan 63–110 mm lebih rendah dari pipa inlet.
- Sambungan T atau sekat harus terbenam sekitar 200-315 mm dibawah permukaan air serta menonjol di permukaan air minimal 160 mm.



Gambar 2. 7 Bentuk Pipa Aliran Masuk dan Aliran Keluar

Sumber: SNI 2398-2017

2.9.5 Pipa udara

Pipa udara yang didesain pada tangki septik harus memenuhi ketentuan sebagai berikut (SNI 2398-2017) :

- Tangki septik harus dilengkapi dengan pipa udara yang berdiameter 63 mm, tinggi minimal 250 mm dari permukaan tanah.
- Ujung pipa udara perlu dilengkapi dengan pipa berbentuk U atau T, agar lubang pipa udara menghadap kebawah dan ditutup dengan kawat kasa. Serbuk arang juga dapat ditambahkan pada pipa U atau T untuk mengurangi bau.

2.9.6 Lubang pemeriksa

Ketentuan yang harus dipenuhi untuk lubang pemeriksa pada tangki septik, antara lain (SNI 2398:2017) :

- Permukaan lubang pemeriksa harus ditempatkan minimal 10 cm di atas permukaan tanah.

- b. Lubang pemeriksa berbentuk segi empat dengan ukuran minimal 0,4 x 0,4 m² dan berbentuk bulat yang berdiameter minimal 0,4 m.

2.9.7 Bahan Bangunan yang Digunakan untuk Tangki Septik

Bahan bangunan yang digunakan untuk tangka septik harus kedap air dan memenuhi SNI 2398-2017. Alternatif pemakaian bahan bangunan ditetapkan sesuai dengan **Tabel 2.8**.

Tabel 2. 8 Alternatif Bahan Bangunan Tangki Septik

Bahan Bangunan	Komponen Bangunan			
	Bangunan Penampung	Penutup	Pipa Penyalur Air Limbah	Pipa Udara
Batu kali dengan plesteran	✓			
Bata merah dengan plesteran	✓			
Batako dengan plesteran	✓			
Beton tanpa tulangan	✓	✓	✓	
FRP	✓	✓	✓	
Beton bertulang	✓	✓		
PVC			✓	✓
Plat Besi		✓		
Pipa Besi				✓

Sumber: SNI 2398-2017

2.10 Sistem Pengolahan Lanjutan

Sistem pengolahan lanjutan digunakan untuk meresapkan effluen yang berasal dari tangki septik. Effluen dari tangki septik tidak boleh langsung dibuang ke lingkungan. Sistem pengolahan lanjutan terdiri dari sistem resapan, *upflow filter*, dan kolam sanita (SNI 2398-2017).

2.10.1 Sistem Resapan

Sistem resapan terbagi menjadi 2 (dua), yaitu (SNI 2398-2017) :

1. Bidang Resapan

Rumus untuk mencari panjang pada bidang resapan yaitu dapat dilihat pada persamaan 2.22 dan 2.23.

$$Q_A = (60 - 80)\% \times q \times n \quad (2.22)$$

$$L = \frac{Q_A}{FDI} \quad (2.23)$$

Keterangan :

Q_A = Debit air limbah (L/hari)

q = Pemakaian air (L/org/hari)

n = Jumlah pemakai (orang)

L = Panjang bidang resapan (m)

F = Faktor (jumlah jalur) bidang resapan

D = Dalam/tinggi bidang resapan (m)

I = Daya serap tanah (L/m²/hari)

Ketentuan untuk bidang resapan yang harus dipenuhi sebagai berikut :

- Lebar galian minimum 500 mm dan kedalaman galian efektif 450 mm.
- Panjang pipa resapan yang melebihi 15 m dibuat 2 jalur.
- Jarak sumbu untuk 2 jalur galian minimum 1,5 m
- Bak pembagi disediakan untuk bidang resapan yang lebih dari satu jalur.
- Pipa resapan menggunakan bahan tahan korosi dengan diameter minimum 110 mm.
- Pipa dan bidang resapan dibuat miring sebesar 0,2%.
- Pipa resapan harus diberi lapisan kerikil dengan diameter 15-50 mm , ketebalan 100 mm dan diatas pipa resapan memiliki tebal minimum 50 mm.
- Pipa dipasang tanpa sambungan dan celah antara dua pipa pada bagian atas harus ditutup. Jika dipasang dengan sambungan, bagian bawah pada pipa harus diberi lubang yang berdiameter 10 – 20 mm tiap jarak 50 mm.

Ukuran Panjang saluran peresapan pada bidang resapan tergantung dengan jumlah orang seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 2.9**.

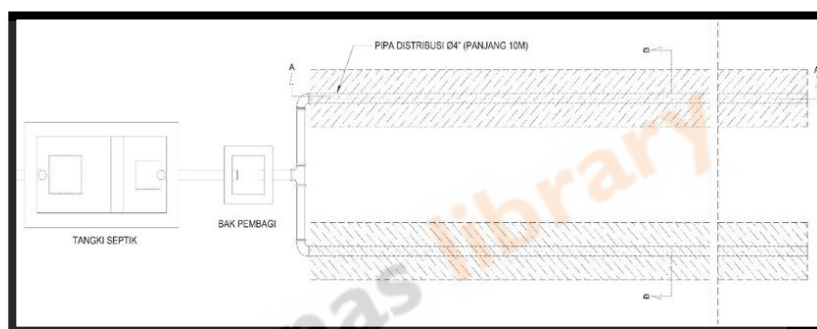
Tabel 2. 9 Panjang Bidang Resapan dengan Dua Jalur

No	T (m/jam)	I (L/m ² /hari)	L				
			N=5	N=10	N=15	N=20	N=25
1	0,15	900	0,7	1,3	2,0	2,7	3,3
2	0,14	850	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5
3	0,13	780	0,8	1,5	2,3	3,1	3,8
4	0,12	720	0,8	1,7	2,5	3,3	4,2
5	0,11	660	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5
6	0,10	600	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
7	0,09	540	0,9	1,9	2,8	3,8	4,7

No	T (m/jam)	I (L/m ² /hari)	L				
			N=5	N=10	N=15	N=20	N=25
8	0,08	480	1,3	2,5	3,8	5,0	6,3
9	0,07	420	1,4	2,9	4,3	5,7	7,1
10	0,06	360	1,7	3,3	5,0	6,7	8,3
11	0,05	300	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
12	0,04	240	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5
13	0,03	180	3,3	6,7	10,0	13,3	16,7
14	0,02	120	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0

Sumber: SNI 2398-2017

Bentuk desain bidang resapan dapat dilihat pada **Gambar 2.8** dan Bentuk potongan A-A, potongan B-B, dan detail pipa berlubang dapat dilihat pada **Gambar 2.11**



Gambar 2. 8 Denah Bidang Resapan

Sumber : SNI 2398:2017

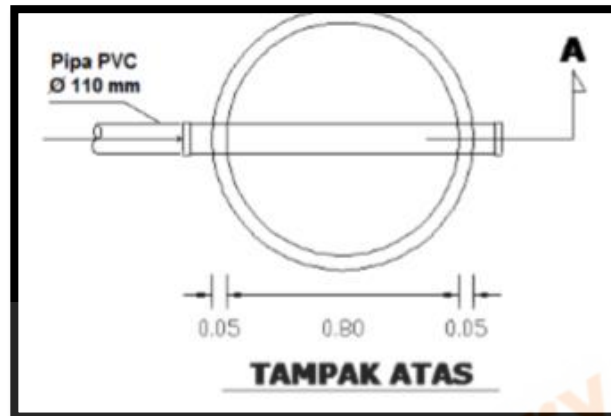
2. Sumur Resapan

Ketentuan untuk penggunaan sumur resapan adalah (SNI 2398 : 2017) :

- Penggunaannya untuk tangki septik berkapasitas kecil yang melayani maksimal 10 jiwa atau 2 KK.
- Kondisi tanah sebagian kedap air pada permukaannya dan sebagian tidak kedap air pada bagian tengahnya.
- Cocok digunakan untuk lahan yang terbatas dengan kapasitas perkolasi tanah sebesar 0,5–12 menit/cm.
- Jarak muka air tanah minimum 0,6 m, tetapi dianjurkan 1,2 m di bawah dasar konstruksi sumur resapan.
- Konstruksi berbentuk sumur yang berdiameter 800 mm dengan kedalaman 1,00 m.

- f. Sumur didalamnya diisi penuh dengan kerikil atau batu pecah berdiameter 30–80 mm.
- g. Pipa *outlet* dari tangki septik ditempatkan pada bagian atas sumur dan effluent dari sumur harus meresap ke dinding dan dasar sumur.

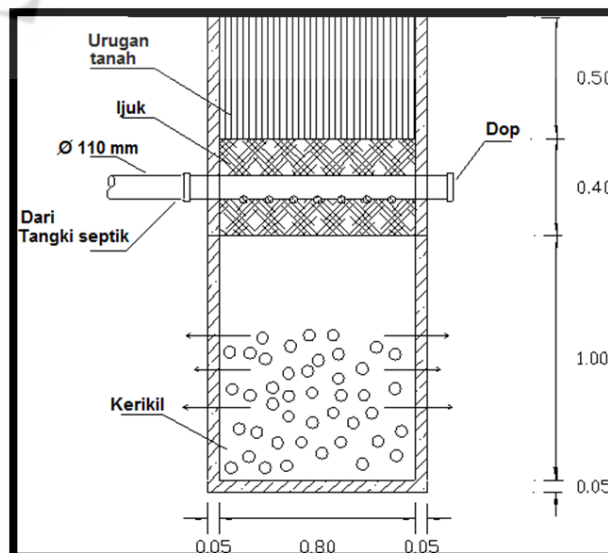
Berdasarkan ketentuan yang dipersyaratkan di atas, dapat dilihat **Gambar 2.9** bentuk denah sumur resapan tampak atas.



Gambar 2. 9 Denah Sumur Resapan Tampak Atas

Sumber : SNI 2398:2017

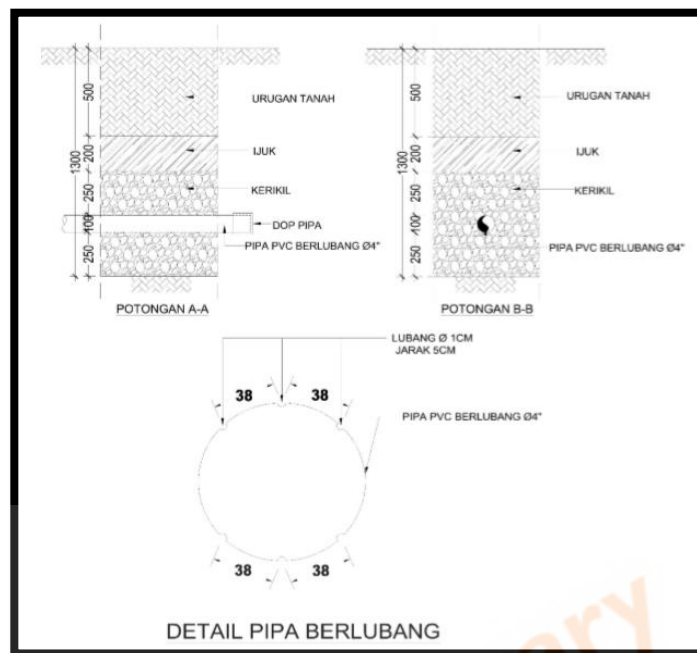
Bentuk potongan A-A sumur resapan beserta kriteria desain yang dipersyaratkan dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2. 10 Potongan A-A Sumur Resapan

Sumber : SNI 2398:2017

Bentuk potongan A-A, potongan B-B, dan detail pipa berlubang pada bidang resapan beserta kriteria yang dipersyaratkan dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2. 11 Bentuk Potongan A-A Sumur Resapan

Sumber : SNI 2398:2017

2.10.2 Upflow Filter

Pengolahan ini berbentuk bulat silinder yang terbuat dari beton dengan kapasitas untuk 1 KK (+ 5 orang). Upflow Filter terbuat dari beton dan berbentuk bulat silinder yang dapat memuat 1 KK. Bangunan ini berdiameter 120 cm dan memiliki ketinggian 150 cm yang terbagi menjadi dua bangunan. Bangunan silinder pertama berguna untuk septik dan bangunan silinder kedua untuk pengolahan lanjutan yang menggunakan filter organik atau biofilter. Kriteria perencanaan sumur resapan ditetapkan sebagai berikut (SNI 2398,2017):

Perhitungan upflow filter yang digunakan untuk desain dalam perencanaan sebagai berikut (SNI 2398:2017) :

Kriteria perencanaan yang dipersyaratkan adalah :

- Waktu detensi (td) = 6–12 jam
- Pembebanan hidraulik (S) = 1–3 m³/m²/hari
- Media saringan terdiri atas batu kerikil dengan diameter 20–30 mm dan tinggi lapisan media \pm 750 mm.

Perhitungan *upflow filter* yang digunakan dalam perencanaan tangki septik dapat dilihat pada persamaan 2.24 sampai 2.29

$$A_S = \frac{Q_A}{S_0} \quad (2.24)$$

$$= P_S \times L_S \quad (2.25)$$

Dimana Q_A dicari menggunakan persamaan 2.26.

$$V_e = \frac{Q_A \times t_d}{1000} \quad (2.26)$$

$$A_{be} = \frac{Q_A \times t_d}{T \text{ (bidang basah)}} \quad (2.27)$$

$$= P_{be} \times L_{be} \quad (2.28)$$

$$= L_{\text{tangki septik}} \times L_{be} \quad (2.29)$$

Keterangan :

$$P_{be} = P_S = L_{\text{tangki septik}}$$

$$A_S = \text{Luas saringan (m}^2\text{)}$$

$$Q_A = \text{Debit air limbah (L/hari)}$$

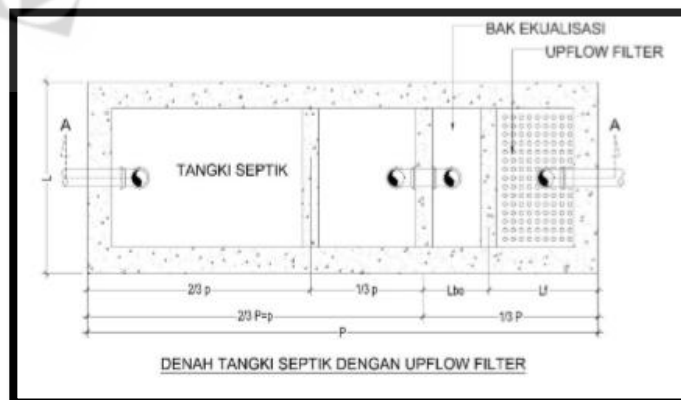
$$V_E = \text{Volume bak ekualisasi (m}^3\text{)}$$

$$A_{be} = \text{Luas bak ekualisasi (m}^2\text{)}$$

$$T_d = \text{Waktu detensi (hari)}$$

Bentuk denah *upflow filter* tampak atas beserta kriteria desain dapat dilihat pada

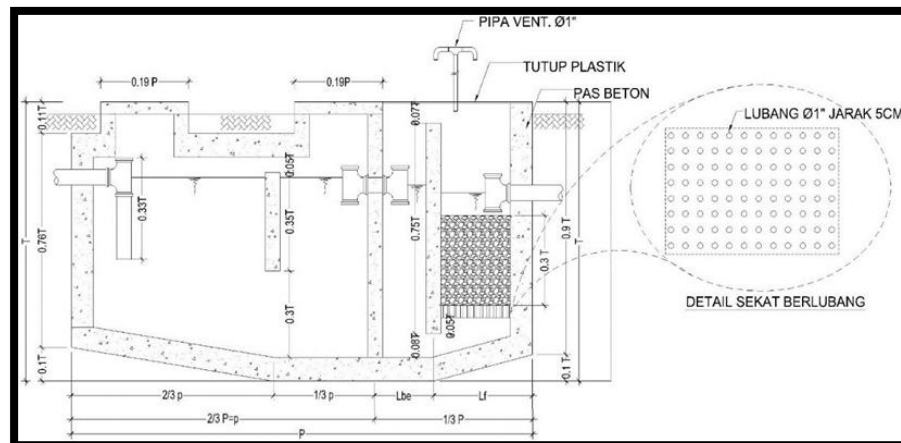
Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Denah *Upflow Filter*

Sumber : SNI 2398:2017

Desain dari bentuk potongan A-A *upflow filter* dapat dilihat pada **Gambar 2.13.**



Gambar 2. 13 Potongan Melintang Upflow Filter

Sumber : SNI 2398:2017

2.10.3 Kolam Sanita

Persyaratan yang harus dipenuhi pada kolam sanita adalah sebagai berikut (SNI 2398:2017) :

- Kolam sanita merupakan bak yang terbuat dari pasangan batu dan bahan kedap lainnya yang diisi kerikil dengan diameter 20-30 mm, setinggi 80% dari bak dan ditanami jenis tumbuhan kelompok *hydrophyte*.
- Pipa *influent* dipasang dibagian bawah kolam dan pipa *effluent* dipasang 70-100 mm di bawah permukaan kerikil
- Air berada diketinggian 70-100 mm di bawah permukaan kerikil dan harus dijaga.
- Jenis tanaman yang digunakan berasal dari 3 jenis tanaman perakaran yang berbeda dari jenis tanaman air yang ditetapkan berdasarkan kelompok mikroba *rhizosfera* untuk pengolah air limbah yaitu *Papyrus*, *Typha*, *Khana Sp.*, *Phragmites Communis*, *Echinodorus palaefolius*, dan *Nymphaea*.

Kriteria perencanaan kolam sanita ditetapkan sebagai berikut (SNI 2398:2017):

- Waktu detensi (td) = 6-12 jam
- Volume kolam = $P \times L \times T$

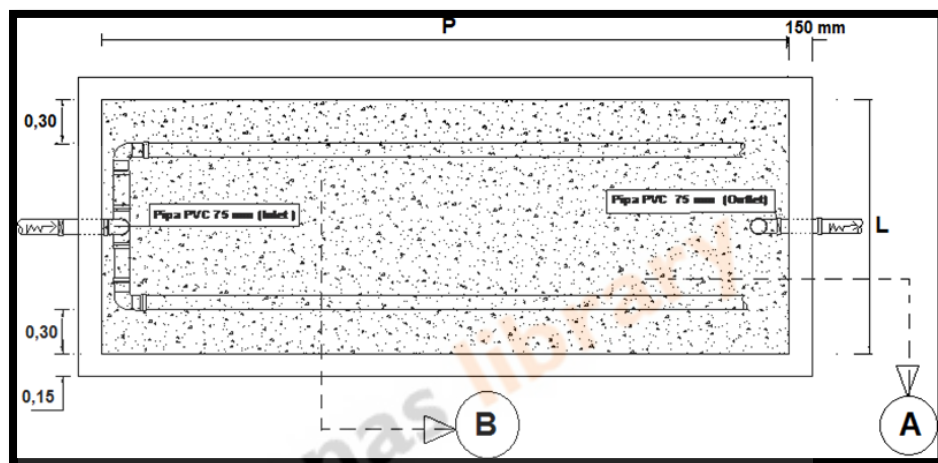
Ukuran kolam sanita berbentuk persegi Panjang ditentukan dalam SNI 2398:2017 dapat dilihat pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2. 10 Ukuran kolam sanita Bentuk Persegi

No	Pemakai (Orang)	Ukuran (m)			Volume (m ³)	Jumlah Lajur Pipa
		P	L	T + ambang bekas		
1	5	0,8	0,4	0,8	0,72	1
2	10	1,6	0,8	0,8	1,4	1
3	15	1,8	0,9	1	2,2	1
4	20	2,4	1,2	1	2,9	2
5	25	3	1,5	1	3,6	2
6	50	6	3	1	7,2	3

Sumber : SNI 2398:2017

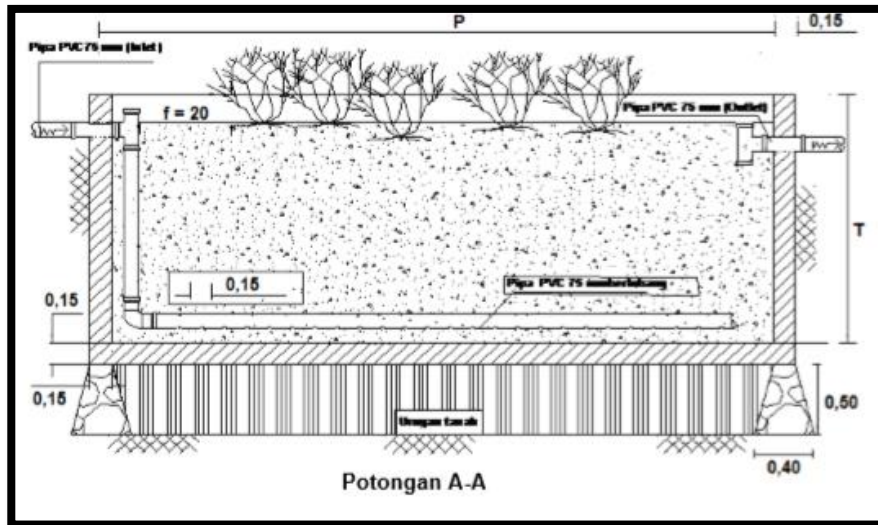
Berdasarkan persyaratan untuk perencanaan kolam sanita, desain dari kolam sanita dapat dilihat lebih jelas pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2. 14 Denah Kolam Sanita

Sumber : SNI 2398:2017

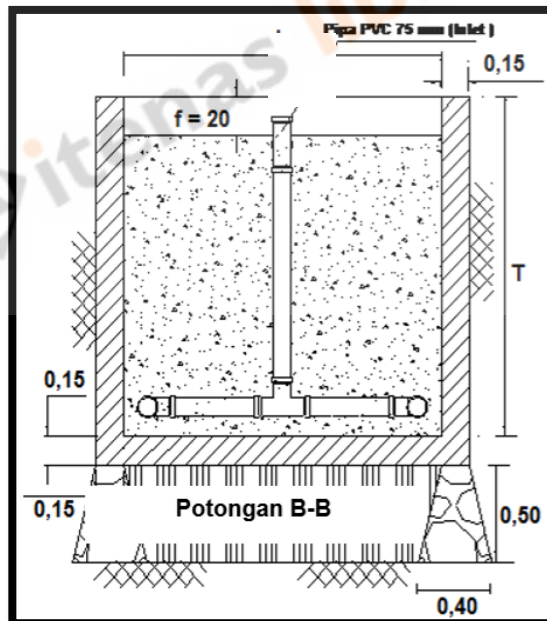
Denah bentuk potongan A-A kolam sanita beserta kriteria desain yang dipersyaratkan dapat dilihat pada **Gambar 2.15**.



Gambar 2. 15 Potongan A-A Kolam Sanita

Sumber : SNI 2398:2017

Bentuk potongan B-B kolam sanita beserta kriteria desain yang dipersyaratkan dapat dilihat pada **Gambar 2.16**.



Gambar 2. 16 Potongan B-B Kolam Sanita

Sumber : SNI 2398:2017