



UNMAS DENPASAR

Modul Kuliah : *Detail Engineering Design (DED)*
Mata Kuliah : **Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah**
SKS : **3 SKS**
Penyusun : **Dr. I Made Wahyu Wijaya, ST**
Program Studi : **Teknik Lingkungan**
Fakultas : **Teknik**
Tahun Ajaran : **2021/2022 (Ganjil)**

OKTOBER 2021
UNIVERSITAS MAHASARASWATI DENPASAR

Modul Kuliah

Detail Engineering Design (DED)

Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL)

Mata Kuliah : Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah

Departemen : Teknik Lingkungan

Dosen : Dr. I Made Wahyu Wijaya, ST

NIDN : 0816089102

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II PRINSIP DASAR PENYALURAN AIR LIMBAH	2
2.1 Sumber Air Limbah.....	2
2.2 Sistem Penyaluran Air Limbah	3
2.2.1 Sistem Pengumpulan.....	3
2.2.2 Sarana.....	5
2.2.3 Pengaliran	5
2.3 Regulasi dan Standar	6
BAB III DETAIL ENGINEERING DESIGN.....	7
3.1 Data Dasar	7
3.1.1 Proyeksi Penduduk.....	7
3.1.2 Proyeksi Fasilitas	9
3.2 Perhitungan Debit Air Limbah	9
3.2.1 Debit Air Limbah	9
3.2.2 Fluktuasi Pengaliran.....	11
3.2.3 Kecepatan Aliran.....	13
3.2.4 Kedalaman Air dalam Saluran	14
3.3 Perhitungan Dimensi Pipa	14
3.3.1 Dimensi Pipa.....	14
3.3.2 Jenis Bahan dan Bentuk Saluran.....	16
3.4 Perhitungan Penanaman Pipa	18
3.5 Perhitungan Profil Hidrolis	19
3.6 Perhitungan Bill Of Quantity dan Rencana Anggaran Biaya.....	19
3.7 Menyusun Layout Jaringan SPAL.....	19
BAB IV STUDI KASUS	20
BAB V TUGAS	22
5.1 Contoh Soal.....	22
5.2 Ketentuan Tugas Besar.....	23
BAB VI REFERENSI.....	26

BAB I

PENDAHULUAN

Bagian ini memberikan gambaran umum tentang modul, tujuan, dan hasil pembelajaran yang diharapkan. Modul ini dirancang untuk membantu mahasiswa memahami tahapan detail engineering design (DED) dalam perencanaan sistem penyaluran air limbah. Fokusnya adalah menghasilkan desain yang efisien, efektif, dan memenuhi standar lingkungan.

Tujuan Pembelajaran	Mahasiswa memahami tentang prinsip dasar Detail Engineering Design
Capaian Pembelajaran	<ul style="list-style-type: none">- Mahasiswa memahami prinsip dasar penyaluran air limbah- Mahasiswa mampu memahami dan menghitung DED unit SPAL
Jumlah Pertemuan	3 pertemuan (3 x 150 menit)

BAB II

PRINSIP DASAR PENYALURAN AIR LIMBAH

Menguraikan dasar-dasar penyaluran air limbah termasuk sumber air limbah, sistem penyaluran, regulasi, dan standar kualitas air yang relevan. Membahas aturan pemerintah dan standar kualitas air untuk memastikan sistem pengolahan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

2.1 Sumber Air Limbah

Air limbah adalah air dari suatu daerah pemukiman yang telah dipergunakan untuk berbagai keperluan, harus dikumpulkan dan dibuang untuk menjaga lingkungan hidup yang sehat dan baik (Tchobanoglous, 1991). Prinsip dasar pengolahan air limbah adalah untuk menghilangkan bahkan mengurangi kontaminan yang terdapat dalam air limbah (Mara, 1978).

Berdasarkan sumbernya, air limbah dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis, yaitu:

1. Air limbah yang bersumber dari rumah tangga (*domestic wastes water*) yaitu limbah cair yang berasal dari pemukiman dan aktivitas penduduk. Pada umumnya terdiri-dari bahan organik.
2. Air limbah yang bersumber dari industri (*industrial wastes water*) yaitu limbah cair yang berasal dari berbagai jenis industri. Pada umumnya mengandung zat-zat kimia yang bervariasi sesuai dengan jenis industrinya.
3. Air limbah kotapraja (*municipal wastes water*) yaitu limbah cair yang berasal dari daerah perkantoran, perdagangan, hotel, restoran, tempat-tempat umum, tempat ibadah dan lain-lain. Pada umumnya jenis limbah cair ini sama dengan limbah cair yang berasal dari rumah tangga.

Air limbah memiliki berbagai dampak negatif terhadap lingkungan, yang dapat mempengaruhi ekosistem, kualitas air, dan kesehatan manusia. Berikut adalah beberapa dampak utama air limbah terhadap lingkungan:

1. Penurunan Kualitas Air: Air limbah yang tidak diolah dapat mencemari sumber air seperti sungai, danau, dan air tanah. Pencemaran ini dapat menyebabkan penurunan kualitas air, membuatnya tidak layak untuk dikonsumsi atau digunakan.
2. Kerusakan Ekosistem Perairan: Zat-zat berbahaya dalam air limbah, seperti bahan kimia dan logam berat, dapat merusak ekosistem perairan. Ini dapat mengakibatkan kematian ikan dan organisme air lainnya, serta mengganggu keseimbangan ekosistem.

3. Gangguan Kesehatan: Air limbah yang tercemar dapat menjadi sumber berbagai penyakit bagi manusia. Kontaminasi air minum dengan patogen dan bahan kimia berbahaya dapat menyebabkan penyakit seperti diare, kolera, dan infeksi kulit.
4. Eutrofikasi: Nutrien berlebih dalam air limbah, seperti nitrogen dan fosfor, dapat menyebabkan eutrofikasi. Ini adalah proses di mana pertumbuhan alga yang berlebihan mengurangi kadar oksigen dalam air, yang dapat membunuh ikan dan organisme lainnya.
5. Pencemaran Tanah: Air limbah yang meresap ke dalam tanah dapat mencemari tanah dan air tanah. Ini dapat mengurangi kesuburan tanah dan mencemari sumber air bawah tanah yang digunakan untuk keperluan domestik dan pertanian.
6. Banjir dan Kerusakan Infrastruktur: Pembuangan air limbah yang tidak terkontrol dapat menyebabkan banjir, terutama di daerah perkotaan. Ini dapat merusak infrastruktur seperti jalan, jembatan, dan bangunan.

Dampak air limbah ini penting untuk dikelola dengan baik untuk melindungi lingkungan dan kesehatan masyarakat.

2.2 Sistem Penyaluran Air Limbah

2.2.1 Sistem Pengumpulan

Berdasarkan sistem pengumpulannya, sistem penyaluran air limbah dibagi menjadi dua (2), yaitu:

1. Sistem Penyaluran Terpisah

Sistem penyaluran terpisah atau biasa disebut *separate system/full sewerage* adalah sistem dimana air buangan disalurkan tersendiri dalam jaringan riol tertutup, sedangkan limpasan air hujan disalurkan tersendiri dalam saluran drainase khusus untuk air yang tidak tercemar (Fajarwati, A., 2000).

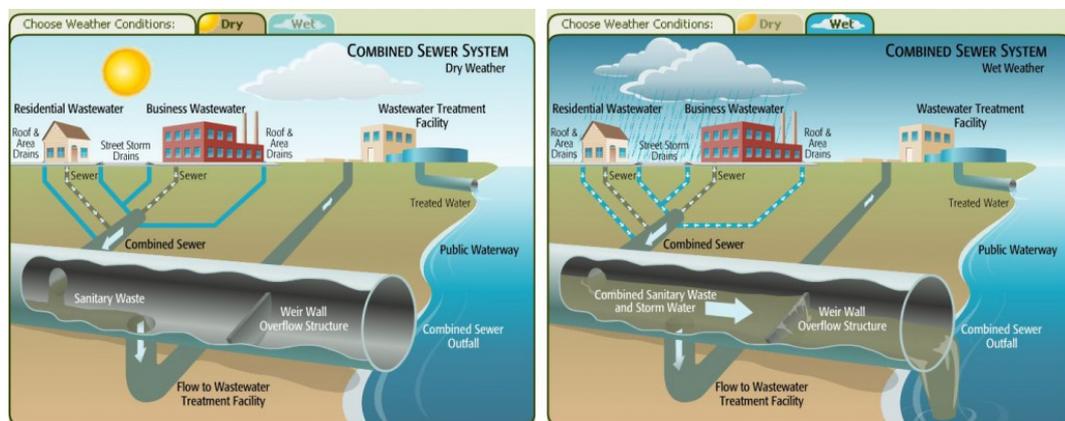


Gambar 2.1 Sistem Penyaluran Terpisah

Sistem ini banyak digunakan pada daerah yang mempunyai *range* curah hujan tinggi. Keuntungan sistem ini adalah unit pengolahan air limbah relatif kecil dan dimensi saluran tidak begitu besar. Sedangkan kerugiannya adalah harus dibuat dua saluran yang berbeda, yaitu untuk air limbah dan air hujan.

2. Sistem Penyaluran Tercampur

Menurut Sugiharto (1987), sistem penyaluran tercampur merupakan sistem pengumpulan air buangan yang tercampur dengan air limpasan hujan. Sistem ini digunakan apabila daerah pelayanan merupakan daerah padat dan sangat terbatas untuk membangun saluran air buangan yang terpisah dengan saluran air hujan, debit masing-masing air buangan relatif kecil sehingga dapat disatukan, memiliki kuantitas air buangan dan air hujan yang tidak jauh berbeda serta memiliki fluktuasi curah hujan yang relatif kecil dari tahun ke tahun.



Gambar 2.2 Sistem Penyaluran Tercampur

Sistem ini dibagi menjadi dua macam, yaitu:

a. Sistem Langsung

Merupakan sistem jaringan penyaluran air limbah di mana air hujan dan air limbah langsung dijadikan satu, baik pada musim kemarau atau musim hujan. Keuntungan dari sistem ini adalah hanya memerlukan satu saluran penyaluran air limbah serta akan terjadinya pengenceran konsentrasi air limbah oleh air hujan yang akan mempermudah proses pengolahan pada IPAL. Kerugian sistem ini adalah diperlukannya unit pengolahan air limbah yang relatif besar, karena terjadi penggabungan antara air limbah dengan air hujan. Kerugian yang lain adalah dimensi pipa yang diperlukan untuk penyaluran air limbah akan relatif besar.

b. Sistem *Interceptor*

Merupakan suatu sistem di mana penggabungan antara air limbah dengan air hujan hanya dilakukan pada saat musim kemarau saja, sedangkan pada saat musim hujan penyaluran melalui saluran *intercept*. Keuntungan sistem ini adalah beban instalasi pengolahan tidak

terlalu besar dan air hujan yang mengalir difungsikan sebagai air penggelontor bagi air limbah pada saat awal musim hujan. Sedangkan kerugian dari sistem ini adalah diperlukannya konstruksi yang lebih rumit.

2.2.2 Sarana

Berdasarkan sarana yang diperlukan, sistem penyaluran air limbah dibagi menjadi sebagai berikut.

1. Sistem *Onsite*

Merupakan suatu sistem penyaluran air limbah yang tidak mempergunakan jaringan terpusat dalam pengoperasian dan pemeliharaan. Dengan kata lain, air limbah yang dihasilkan diolah dekat dengan sumber air limbah tersebut. Contoh penerapan sistem ini adalah pada *septic tank* dan sumur resapan.

2. Sistem *Offsite*

Merupakan sistem penyaluran air limbah yang memerlukan pengorganisasian dan pengolahan yang terpusat, di mana semua air limbah yang dihasilkan disalurkan ke suatu tempat dan diolah secara kolektif. Sistem ini merupakan alternatif lain bila sistem *onsite* tidak dapat diterapkan karena terbatasnya lahan dan tidak memadainya kondisi lahan (tanah) sebagai akibat tingginya tingkat kepadatan penduduk.

2.2.3 Pengaliran

Berdasarkan pengalirannya, sistem penyaluran air limbah ini dibagi menjadi sebagai berikut.

1. *Full Sewerage*

Merupakan suatu sistem di mana air limbah dialirkan tanpa proses pengendapan terlebih dahulu. Saluran ini biasa digunakan pada pemakaian air yang besar dan tidak menimbulkan resiko bagi kesehatan dan saluran ini memerlukan pemeliharaan yang rumit.

2. *Small Bore Sewer*

Merupakan suatu sistem di mana air limbah dialirkan melalui proses pengendapan terlebih dahulu. Sistem ini merupakan alternatif yang lebih murah karena jumlah *manhole* yang diperlukan lebih sedikit. Kemiringan dapat lebih diperkecil karena kecepatan penggerusan tidak perlu dipertimbangkan dalam pengaliran air limbah yang sudah tidak mengandung solid ini, sehingga pipa tidak perlu ditanam lebih dalam.

2.3 Regulasi dan Standar

Berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, kelas air dibedakan menjadi 4, yaitu:

- Kelas I, merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan/atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas II, merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan/atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas III, merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman, dan/atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas IV, merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan/atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

BAB III

DETAIL ENGINEERING DESIGN

Proses pengumpulan data dasar dan analisis kebutuhan untuk merancang sistem penyaluran air limbah.

3.1 Data Dasar

Dalam merencanakan sistem penyaluran air limbah, diperlukan beberapa kriteria sebagai dasar perencanaan. Tujuan dari penetapan kriteria ini adalah untuk menghasilkan perencanaan yang tepat dan sesuai dengan kondisi wilayah yang direncanakan. Oleh karena itu, proyeksi jumlah penduduk dan fasilitas umum sangat penting, sehingga perubahan populasi dan kebutuhan sarana dan prasarana di masa depan dapat diperkirakan dalam periode waktu yang direncanakan.

3.1.1 Proyeksi Penduduk

Produksi air limbah akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di masa depan. Oleh karena itu, proyeksi penduduk untuk tahun perencanaan sangat diperlukan. Meskipun proyeksi bersifat ramalan dan kebenarannya subjektif, proyeksi ini tetap didasarkan pada pertimbangan dan metode yang tepat. Ada beberapa metode proyeksi penduduk yang digunakan dalam perencanaan.

1. Metode Rata-rata Aritmatik

Proyeksi penduduk dengan metode aritmatik mengasumsikan bahwa jumlah penduduk pada masa depan akan bertambah dengan jumlah yang sama setiap tahun, dan dalam kurun waktu yang pendek (Mangkoedihardjo, 1985). Formula yang digunakan pada metode proyeksi aritmatik adalah:

$$P_t = P_o(1 + r \times t) \quad \text{dengan} \quad r = \frac{1}{t} \left(\frac{P_t}{P_o} - 1 \right)$$

Keterangan:

P_t = jumlah penduduk pada tahun t

P_o = jumlah penduduk pada tahun dasar

r = laju pertumbuhan penduduk

t = periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun)

2. Metode Berganda (Geometrik)

Proyeksi penduduk dengan metode geometrik menggunakan asumsi bahwa jumlah penduduk akan bertambah secara geometrik menggunakan dasar perhitungan bunga majemuk (Adioetomo dan Samosir, 2010). Laju pertumbuhan penduduk (*rate of growth*) dianggap sama untuk setiap tahun. Berikut formula yang digunakan pada metode geometrik:

$$P_t = P_o(1 + r)^t \quad \text{dengan} \quad r = \left(\frac{P_t}{P_o}\right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

Keterangan:

P_t = jumlah penduduk pada tahun t

P_o = jumlah penduduk pada tahun dasar

r = laju pertumbuhan penduduk

t = periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun)

Metode ini merupakan metode regresi untuk mendapatkan hubungan antara sumbu Y dan sumbu X, di mana Y adalah jumlah penduduk dan X adalah tahunnya, dengan cara menarik garis linier antara data-data tersebut dan meminimumkan jumlah pangkat dua dari masing-masing penyimpangan jarak data-data dengan garis yang dibuat. Berikut formula yang digunakan pada metode *least square*:

$$P_n = a + (b \times n)$$

Keterangan:

P_n = jumlah penduduk pada akhir tahun periode

n = selisih tahun proyeksi

Nilai a dan b dicari berdasarkan rumus:

$$a = \frac{\sum y \times \sum x^2 - \sum x \times \sum xy}{n \times \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n \times \sum xy - \sum x \times \sum y}{n \times \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Keterangan:

n = jumlah data

Dalam penggunaan metoda perhitungan yang akan digunakan dipilih berdasarkan harga koefisien korelasi yang paling mendekati 1. Sesuai atau tidaknya analisa yang akan dipilih ditentukan dengan menggunakan nilai koefisien korelasi yang berkisar antara 0 sampai 1. Persamaan koefisien korelasinya adalah sebagai berikut:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\{[n(\sum y^2) - (\sum y)^2][n(\sum x^2) - (\sum x)^2]\}^{0,5}}$$

Keterangan:

n = jumlah data

Dalam menentukan metode proyeksi penduduk yang terpilih dari ketiga metode di atas dilaksanakan pengujian angka korelasi. Angka korelasi yang mendekati atau sama dengan nol berarti lemah. Metode proyeksi penduduk yang dipilih adalah yang mempunyai angka korelasi mendekati atau sama dengan satu. Hal ini menunjukkan bahwa hasil proyeksi yang dihitung mempunyai korelasi yang kuat.

3.1.2 Proyeksi Fasilitas

Proyeksi fasilitas umum dalam perencanaan adalah proses memperkirakan kebutuhan sarana dan prasarana di masa depan berdasarkan proyeksi jumlah penduduk dan pertumbuhan wilayah. Proyeksi ini penting untuk memastikan bahwa fasilitas seperti pendidikan, kesehatan, perdagangan, dan infrastruktur lainnya dapat memenuhi kebutuhan masyarakat di masa mendatang. Rumus yang digunakan untuk proyeksi fasilitas umum kota yaitu:

$$\text{Fasilitas b} = \frac{\text{Populasi b} \times \text{Fasilitas a}}{\text{Populasi a}}$$

3.2 Perhitungan Debit Air Limbah

Perhitungan produksi air limbah merupakan langkah penting dalam perencanaan sistem pengelolaan air limbah. Proses ini melibatkan penentuan jumlah air limbah yang dihasilkan oleh berbagai sumber, seperti rumah tangga, fasilitas komersial, institusional, dan industri, sehingga dapat dirancang sistem penyaluran dan pengolahan yang efektif dan efisien.

3.2.1 Debit Air Limbah

Besarnya debit air limbah yang dihasilkan dapat ditentukan dengan memperhatikan:

- Sumber air limbah
- Besarnya pemakaian air bersih.
- Jenis bahan saluran, cara-cara penyambungan dan banyaknya bahan pelengkap lainnya.
- Curah hujan, daya serap dan keadaan air tanah.

Beberapa jenis debit air limbah yang menjadi dasar perhitungan, yaitu:

1. Debit Air Limbah Domestik (Q_d)

Debit air limbah domestik adalah debit air limbah yang berasal dari rumah tangga, fasilitas umum, fasilitas komersial dalam sebuah kota. Dari semua fasilitas tersebut, tidak semua terbuang menjadi air limbah dan terkumpul di saluran. Hal ini disebabkan karena beragamnya aktivitas, penurunan jumlah timbulan air buangan disebabkan oleh aktivitas seperti mencuci, memasak, menyiram tanaman, mengepel, dan sebagainya.

Besarnya air limbah sekitar 60 – 85% dari air bersih (Metcalf and Eddy, 1981).

$$Q_d = (60 - 85\%) \times q_d$$

Keterangan:

Q_d = debit air limbah domestik

q_d = kebutuhan air bersih domestik (L/hari atau L/detik)

2. Debit Air Limbah Non Domestik (Q_d)

Debit air limbah non domestik adalah debit air limbah yang berasal dari fasilitas umum, fasilitas komersial, institusional, industri, dan bangunan non domestik tergantung dari pemakaian air dan jumlah penghuni fasilitas-fasilitas tersebut. Untuk menghitung debit air limbah non domestik, maka prosentase air limbah yang terbuang (60 – 85%) dikalikan dengan jumlah kebutuhan air bersih dari non domestik tersebut (Metcalf and Eddy, 1981).

$$Q_{nd} = (60 - 85\%) \times q_{nd}$$

Keterangan:

Q_{nd} = debit air limbah domestik

q_{nd} = kebutuhan air bersih non domestik (L/hari atau L/detik)

3. Debit Infiltrasi

Dalam pengalirannya, air yang masuk ke dalam perpipaan saluran air limbah akan bertambah dengan air yang berasal dari infiltrasi air tanah dan resapan hujan. Dalam kondisi ideal, baik air masuk maupun keluar dari sistem penyaluran air limbah tidak dibenarkan. Namun, infiltrasi tidak dapat dihindarkan sepenuhnya karena hal-hal berikut:

- a. Jenis bahan saluran dan bahan sambungan yang dipergunakan.
- b. Pekerjaan sambungan pipa yang kurang sempurna.
- c. Kondisi tanah dan air tanah.
- d. Persamaan untuk menghitung debit infiltrasi, yaitu:

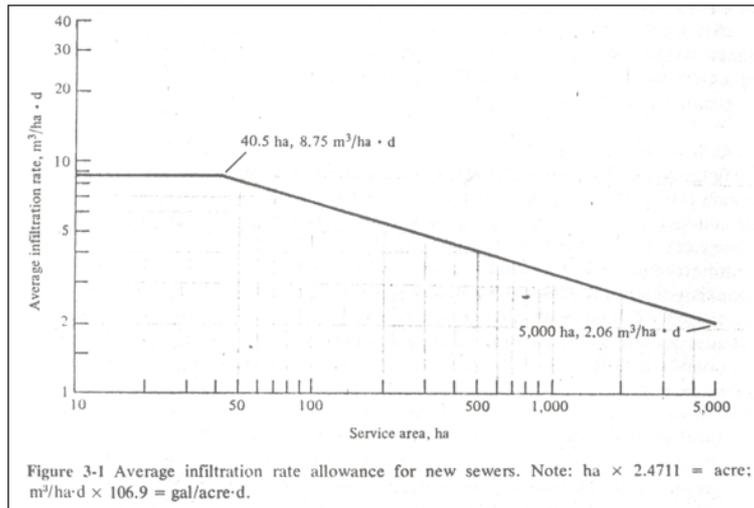
$$Q_{ave\ inf} = (F_{inf} \times \text{Luas Area})/86400$$

Keterangan:

$Q_{ave\ inf}$ = debit rata-rata infiltrasi (L/detik)

F_{inf} = faktor infiltrasi (dari grafik *average infiltration allowance*)

Luas Area = luas area pelayanan (Ha)



Gambar 3.1 Grafik *Average Infiltration Allowance*

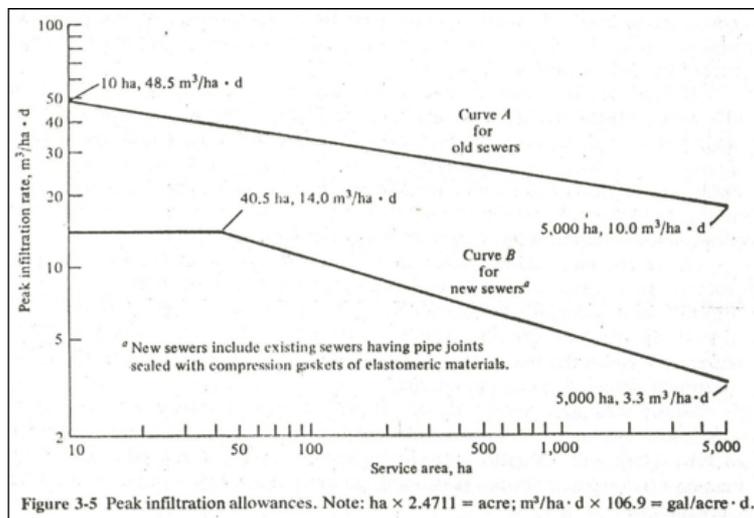
Dari debit rata-rata infiltrasi, didapatkan $Q_{peak\ infiltration}$ dengan persamaan berikut.

$$Q_{peak\ inf} = f_{peak\ inf} \times Q_{ave\ inf}$$

Keterangan:

$Q_{peak\ inf}$ = debit puncak infiltrasi (L/detik)

$f_{peak\ inf}$ = faktor peak infiltrasi (dari grafik *peak infiltration allowance*)



Gambar 3.2 Grafik *Peak Infiltration Allowance*

3.2.2 Fluktuasi Pengaliran

Fluktuasi air limbah tergantung pada fluktuasi pemakaian air bersih. Pada waktu pemakaian air bersih memuncak, besarnya debit air limbah pun akan meningkat. Hal yang sama akan berlaku apabila pemakaian air bersih berada dalam debit minimum. Fluktuasi air limbah yang perlu diperhitungkan, yaitu:

1. Debit Air Limbah Rata-Rata (Q_r)

$$Q_r = Q_d + Q_{nd}$$

Keterangan:

Q_r = debit air limbah rata-rata (L/det)

Q_d = debit air limbah domestik (L/det)

Q_{nd} = debit air limbah non domestik (L/det)

2. Debit Air Limbah Puncak (Q_{peak})

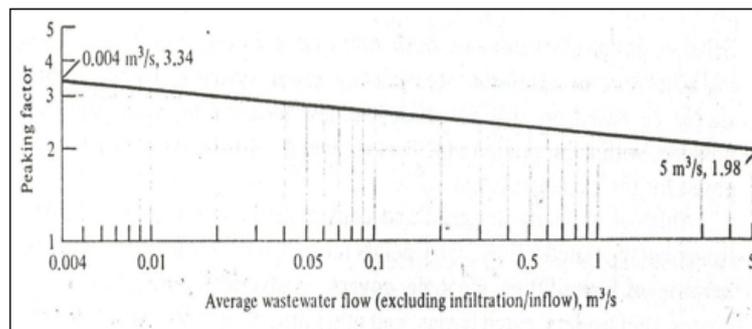
$$Q_{peak} = f_{peak} \times Q_r$$

Keterangan:

Q_{peak} = debit air limbah puncak (L/det)

Q_r = debit air limbah rata-rata (L/det)

f_{peak} = faktor puncak



Gambar 3.3 Grafik Faktor Puncak

3. Debit Air Limbah Minimum (Q_{min})

$$Q_{min} = \frac{1}{5} \times \left(\frac{P}{1000} \right)^{1,2} \times Q_r$$

Keterangan:

Q_{min} = debit air limbah minimum (L/det)

Q_r = debit air limbah rata-rata (L/det)

P = penduduk

4. Debit Air Limbah Total (Q_{tot})

$$Q_{tot} = Q_{inf} \times Q_{peak}$$

Keterangan:

Q_{tot} = debit air limbah total (L/det)

Q_{inf} = debit infiltrasi (L/det)

Q_{peak} = debit air limbah puncak (L/det)

Perhitungan fluktuasi aliran ini penting dan sangat berpengaruh pada sistem penyaluran air limbah, di antaranya adalah:

- Kemungkinan terjadinya pengendapan dalam saluran bila kecepatan alirannya terlalu lambat.
- Akibat pengendapan tersebut menyebabkan terjadinya proses pembusukan air limbah.
- Diperlukan penggelontoran bila kecepatan minimum tidak dapat lagi dicapai.

3.2.3 Kecepatan Aliran

Ada beberapa ketentuan dalam kecepatan aliran saluran air limbah, di antaranya adalah:

1. Kecepatan Aliran dalam Pipa yang Diizinkan

Air limbah yang mengalir dalam pipa air limbah diharapkan belum terjadi pembusukan dan bebas dari endapan dan penyumbatan. Menurut (Hardjosuprpto, 2000 : 62), kriteria pengaliran dalam pipa air limbah adalah:

- a. Kecepatan membersihkan diri (*self cleansing velocity*) pada saat debit maksimum (Q_{pb}), kecepatannya ditetapkan $0,6 - 0,75$ m/dt dan kecepatan minimum berenangnya $> 0,3$ m/dt, dengan kedalaman berenang ± 5 cm.
- b. Apabila penggelontoran dengan aliran tetap (*contunuous flow*) dengan debit relatif besar dan pencernaan organik kecil, maka kecepatan rata-rata selama selang 6 jam memiliki debit puncak kering $V_{pk} \geq 0,45$ m/dt.
- c. Apabila air limbah dalam kondisi kekasaran normal, kecepatan rata-rata selama selang 6 jam memiliki debit puncak musim kering $\geq 0,6$ m/dt.
- d. Kecepatan penggelontoran berkala $V_g \geq 0,75$ m/dt.

2. Kecepatan Pengaliran Maksimum

Berdasarkan buku pedoman pengelolaan air limbah perkotaan Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Dirjen Cipta Karya, 2003), kecepatan maksimum yang diizinkan dalam pipa air limbah ditetapkan sebagai berikut.

- a. Untuk aliran yang mengandung pasir, kecepatan maksimumnya $2,0 - 2,4$ m/dt.
- b. Untuk aliran yang tidak mengandung pasir, kecepatan maksimumnya 3 m/dt.

Batasan kecepatan pengaliran ditentukan berdasarkan:

- a. Saluran harus dapat mengantarkan air limbah domestik secepatnya menuju instalasi pengolahan air limbah.
- b. Pada kecepatan tersebut penggerusan terhadap pipa belum terjadi, sehingga ketahanan pipa dapat dijaga.

Dalam desain penyaluran air limbah, tidak boleh terjadi aliran penuh, sehingga istilah kecepatan penuh hanya dapat dipergunakan sebagai media perhitungan.

Notasi kecepatan penuh adalah V_{full} (V_f). Jika terjadi V_f maka debit alirannya juga penuh (Q_f). Persyaratan untuk kecepatan penuh yang memnuhi syarat *self clean velocity* adalah:

$$V_f = 1,364 \cdot D^{0,5}$$

3. Kecepatan Pengaliran Minimum

Kecepatan pengaliran minimum yang diizinkan adalah sebesar 60 cm/dt atau 0,6 m/dt dan diharapkan pada kecepatan ini aliran mampu untuk “membersihkan diri sendiri” sehingga tidak dapat terjadi pengendapan dan penguraian air limbah yang akan menaikkan konsentrasi sulfur.

Konsentrasi sulfur yang tinggi merupakan media yang baik untuk berkembang biaknya bakteri dan dapat mengubah sulfur menjadi sulfida. Sulfida akan membentuk hidrogensulfida yang jika konsentrasinya tinggi melampaui kejenuhan dalam larutan akan keluar dari larutan dan membentuk gas H_2S yang sangat berbau dan berbahaya bagi kesehatan. Jika gas ini di dalam pipa mengalami oksidasi maka akan terbentuk asam sulfat yang sangat korosif terhadap pipa (Dirjen Cipta Karya, 2003).

3.2.4 Kedalaman Air dalam Saluran

Kedalaman air (tinggi renang) minimum dalam saluran adalah 50 mm atau 5 cm pada saat $Q_{minimum}$, Pada saat debit puncak ($Q_{maksimum}$) adalah:

$$d/D = 0,6 \text{ (pada awal saluran)}$$

$$d/D = 0,8 - 0,9 \text{ (pada akhir saluran)}$$

Keterangan:

d = kedalaman air dalam saluran

D = diameter pipa

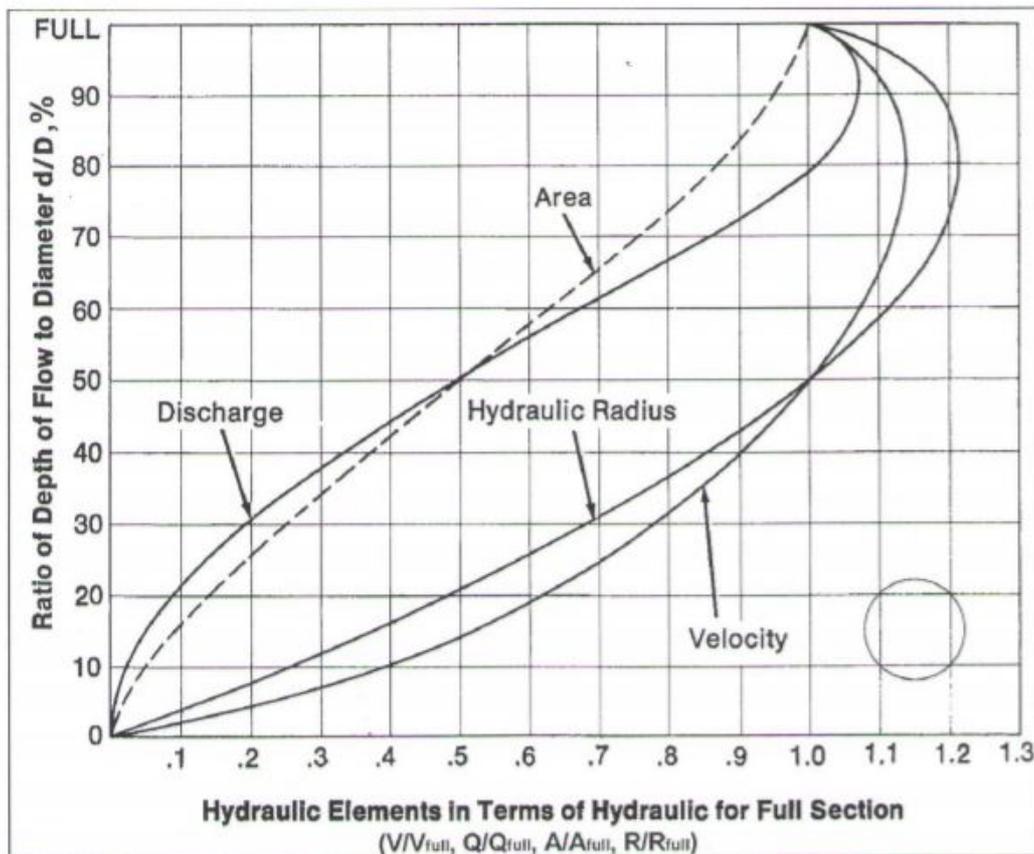
Dengan tinggi renang 5 cm diperkirakan bahan buangan dapat terendam seluruhnya sehingga dalam beberapa meter dapat secepatnya hancur.

3.3 Perhitungan Dimensi Pipa

3.3.1 Dimensi Pipa

Perhitungan dimensi sistem penyaluran air limbah didasarkan pada kebutuhan sampai pada akhir periode desain yang direncanakan. Batasan-batasan yang dijadikan pedoman dalam merencanakan diameter saluran air limbah:

1. V_{maks} dalam pipa tidak melebihi 2,5 m/dt.
2. V_{min} dalam pipa tidak kurang dari 0,3 m/dt (pada saat debit minimum).
3. Tinggi renang minimum 50 mm (pada saat Q_{min}).
4. Tinggi renang pada saat Q_{maks} antara 60% sampai 80% dari diameter pipa.
5. Nilai d/D ditentukan berdasarkan pada grafik perbandingan Q_{min}/Q_{full} atau juga dapat digunakan nilai d/D antara 0,6 – 0,8.



Gambar 3.4 Grafik *Hidraulic Elements for Circular Sewers*

Perhitungan ini berdasarkan pada rumus *Manning*

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

Persamaan yang akan digunakan antara lain:

$$Q_{min} = 0,2 \times Q_{ave} \times \left(\frac{\sum \text{Penduduk}}{1000} \right)^{0,2}$$

Persamaan *slope* medan:

$$S = \frac{\Delta H}{L}$$

Persamaan luas penampang:

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

Persamaan kecepatan penuh:

$$V_{full} = \frac{1}{n} \times S^{\frac{1}{2}} \times 0,397 \times D^{\frac{2}{3}}$$

$$Q = \frac{0,312}{n} \times [D]^{\frac{8}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Sedangkan untuk Q_{\min} dengan $n = 0,015$:

$$P = \left(\pi \times \frac{D}{2} \right) - \left(\alpha \times \pi \times \frac{D}{180} \right)$$

$$\alpha = \frac{\frac{D}{2} - d}{\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - d\right)^4}}$$

$$A_{\min} = \left(\pi \times \frac{D^2}{8} - \frac{\pi \times \alpha \times D^2}{2.360} \right) - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - d\right)^4}$$

3.3.2 Jenis Bahan dan Bentuk Saluran

Pemilihan bahan pipa harus benar-benar dipertimbangkan mengingat air limbah banyak mengandung bahan yang dapat mengganggu atau menurunkan kekuatan pipa. Selain itu, selama pengangkutan dan pemasangannya, diperlukan kemudahan serta kekuatan fisik yang memadai. Beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan dalam pemilihan bahan pipa adalah: umur pipa, kemudahan pelaksanaan, variasi ukuran, suku cadang, kedap air, daya tahan terhadap zat kimia dan korosi, daya tahan terhadap penggerusan, daya tahan terhadap beban, serta fleksibilitas terhadap pergeseran tanah atau gangguan alam seperti gempa bumi.

Jenis pipa saluran limbah cairan yang dipergunakan tidak hanya satu macam, hal ini ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu:

- Kondisi lapangan (drainase, topografi, jenis tanah, dan kemiringan).
- Karakteristik aliran.
- Ketahanan material terhadap kondisi setempat.
- Ketahanan terhadap gerusan.
- Ketahanan asam, basa, dan korosi.
- Kemudahan dalam penanganan dan instalasinya.
- Ketersediaan dalam berbagai ukuran yang dibutuhkan.
- Kehematan (Halim Hasmar, 2002).

Menurut Okum dan Pogis (1975) dalam Soeparman dan Soeparmin (2002), bahwa yang umumnya dipakai untuk saluran limbah cair adalah:

1. Pipa Asbes Semen (*Asbestos Cement Pipe*)

Pipa asbes semen tahan terhadap korosi akibat asam, tahan terhadap kondisi limbah yang sangat septik dan pada tanah yang alkalis.

2. Pipa Beton (*Concrete Pipe*)

Pipa jenis ini sering digunakan untuk saluran limbah cair ukuran kecil dan sedang (diameter 600 mm). Penanganannya mudah tetapi umumnya tidak tahan terhadap asam.

3. Pipa Besi Cor (*Cast Iron Pipe*)

Keuntungan pipa ini adalah umur penggunaan yang cukup lama, kuat menahan beban, dan karakteristik aliran yang baik. Hanya saja secara ekonomis tidak menguntungkan karena mahal, sulit untuk penggunaan secara khusus (misalnya untuk saluran yang melewati rawa).

4. Pipa Tanah Liat (*Vetrified Clay Pipe*)

Keuntungan pipa jenis ini adalah tahan korosi akibat produksi H₂S limbah cair. Sedangkan kelemahannya pipa ini mudah pecah dan umumnya dicetak dalam ukuran pendek.

5. PVC (*Polyvinyl Chloride*)

Pipa ini banyak digunakan karena mempunyai banyak keuntungan antara lain: mudah dalam penyambungan, ringan, tahan korosi, tahan asam, fleksibel, dan karakteristik aliran sangat baik.

Berikut adalah tabel perbandingan bahan saluran yang dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam memilih bahan saluran.

Tabel 3.1 Perbandingan Bahan Saluran

Bahan	Diameter (inci)	Panjang (m)	Standar	Korosif dan Erosi	Kekuatan	Jenis Sambungan
Reinforced Concrete	12 – 144	1,2 – 7,4	ASTMC 76	Tidak tahan	Kuat	Bell spigot
Tanah Liat	4 – 48	1 – 2	ASTMC 700	Tahan	Mudah pecah	Mortar, rubber gasket
Pipa Asbes	4 – 42	2,5	AWWAC 400	Tidak tahan	Kuat	Colar, rubber ring
Cast Iron	2 – 48	6,1	AWWAC 100	Tidak tahan	Sangat kuat	Bellspigot, flanged mechanical
Pipa Baja	8 – 252	1,2 – 4,6	AWWAC 200	Tidak tahan	Kuat	Bellspigot, socket
PVC	4 – 15	3,2	ASTMD 302	Tahan	Cukup	Flexible, rubber, gasket
HDPE	6 – 36	6,3	ASTMD 3212	Tahan	Kuat	Rubbergasket, tightbell, coupler

Sumber Metcalf & Eddy, 1991

Beberapa pertimbangan yang perlu diambil dalam memilih bentuk saluran yang akan digunakan adalah:

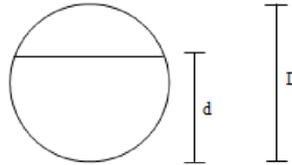
- Pertimbangan hidrolis menyangkut karakteristik aliran, tinggi, dan kecepatan aliran.
- Pertimbangan konstruksi.
- Pertimbangan ekonomi mencakup kemudahan memperoleh barang dan suku cadangnya.

Bentuk-bentuk saluran yang biasa digunakan adalah:

1. Bentuk Lingkaran

Bentuk saluran ini banyak digunakan pada kondisi debit konstan dan aliran tertutup, dimana:

- Kondisi V maksimum dicapai pada $d = 0,815 D$
- Kondisi Q maksimum dicapai pada $d = 0,925 D$

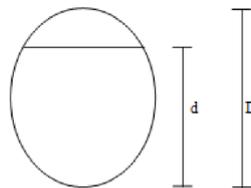


Gambar 3.5 Pipa Bulat Lingkaran

2. Bentuk Bulat Telur

Bentuk bulat telur biasanya digunakan pada kondisi debit yang tidak konstan dan aliran tertutup, dimana:

- Kondisi V maksimum dicapai pada $d = 0,890 D$
- Kondisi Q maksimum dicapai pada $d = 0,940 D$



Gambar 3.6 Pipa Bulat Telur

3.4 Perhitungan Penanaman Pipa

Untuk kondisi medan yang relatif datar, dibutuhkan penanaman jaringan pipa dengan kemiringan minimal yang dapat memberikan kecepatan pengaliran dengan daya pembilasan sendiri dengan nilai kekasaran *Manning*, $n = 0,013$ dan $n = 0,015$. Berikut ini tabel *slope* minimum berdasarkan diameter pipa.

Tabel 3.2 *Slope* Minimum Berdasarkan Diameter Pipa

Diameter Pipa (mm)	Diameter Pipa (inci)	$n = 0,013$	$n = 0,015$
200	8	0,0033	0,0044
250	10	0,0025	0,0033
300	12	0,0019	0,0026
375	15	0,0014	0,0019
450	18	0,0011	0,0015

Diameter Pipa (mm)	Diameter Pipa (inci)	n = 0,013	n = 0,015
525	21	0,0009	0,0012
600	24	0,0008	0,0010
675	27	0,0007	0,0009
750	30	0,006	0,0008
900	36	0,0004	0,0006

Sumber: Hammer dalam Rezagama, 2014

3.5 Perhitungan Profil Hidrolis

Perhitungan profil hidrolis dilakukan untuk menetapkan posisi vertikal jaringan pipa dengan cara menghitung kehilangan tekanan (*head loss*) akibat aliran dalam pipa ketika beroperasi. Tujuan lain pada perhitungan hidrolis adalah untuk menentukan lokasi ketinggian atau elevasi dari jaringan pipa IPAL yang akan dibangun.

Pada umumnya penetapan elevasi dilakukan secara mundur dimulai dari elevasi pipa penerima sampai ke elevasi pipa primer air limbah menuju IPAL. Gambar profil hidrolis biasanya menggunakan gambar horizontal dan vertikal yang berbeda.

3.6 Perhitungan Bill Of Quantity dan Rencana Anggaran Biaya

BOQ (*Bill of Quantity*) adalah perincian jumlah dari seluruh peralatan dan perkerjaan yang dibutuhkan di dalam perencanaan, sedangkan RAB (Rencana Anggaran Biaya) adalah biaya yang diperlukan dalam pengadaan peralatan dan biaya pembayaran tenaga kerja.

3.7 Menyusun Layout Jaringan SPAL

Plant layout atau tata letak jaringan SPAL adalah susunan fisik jaringan yang dirancang pada lokasi atau daerah perencanaan. Penetapan tata letak jaringan SPAL bertujuan untuk mengatur jalur perpipaan, sebagai gambaran fisik secara menyeluruh jaringan SPAL. Pertimbangan jaringan SPAL meliputi:

1. Geometri daerah perencanaan
2. Topografi daerah perencanaan
3. Kondisi tanah dan pondasi
4. Lokasi *manhole*, *siphon*, dan bangunan pelengkap lainnya

BAB IV

STUDI KASUS

Membahas proses perhitungan yang digunakan dalam studi kasus.

1. Contoh Studi Kasus: Perhitungan proyeksi fasilitas kesehatan di Desa Mas.

Diketahui : Populasi a = jumlah penduduk tahun 2020 = 12.780 jiwa

Populasi b = jumlah penduduk tahun 2021 = 12.970 jiwa

Fasilitas a = jumlah fasilitas tahun 2020 = 4 unit

Ditanya : Fasilitas b

Penyelesaian :

$$\text{Fasilitas b} = \frac{\text{Populasi b} \times \text{Fasilitas a}}{\text{Populasi a}}$$

$$\text{Fasilitas b} = \frac{12.970 \times 4}{12.780}$$

$$\text{Fasilitas b} = \frac{51.880}{12.780}$$

$$\text{Fasilitas b} = 4,06 = 4 \text{ unit}$$

Jadi, di tahun 2021 tidak ada penambahan fasilitas kesehatan di Desa Mas.

2. Contoh Studi Kasus : Perhitungan air buangan/limbah Desa Buruan.

Diketahui:

Persentase air limbah = 80 %

Persentase Desa Buruan = 70%

Jumlah penduduk Desa Buruan tahun 2030 = 8.074 jiwa

Luas Desa Buruan = 4,21 ha

Q domestik Desa Buruan = 13,32 liter/detik

Q non domestik Desa Buruan = 22,79 liter/detik

Penyelesaian:

- Jumlah Penduduk Terlayani

Jumlah penduduk terlayani = persentase terlayani \times persentase blok \times Jumlah Penduduk

$$\text{Jumlah penduduk terlayani} = 70\% \times 100\% \times 8.074$$

$$\text{Jumlah penduduk terlayani} = 5.652 \text{ jiwa}$$

- Luas Terlayani

Luas terlayani = persentase terlayani \times persentase blok \times luas desa

$$\text{Luas terlayani} = 70\% \times 100\% \times 4,21$$

$$\text{Luas terlayani} = 2,95 \text{ ha}$$

- Q Rata-Rata per Desa/Kelurahan

$$Q \text{ rata rata} = Q \text{ domestik} + Q \text{ non domestik}$$

$$Q \text{ rata rata} = 13,32 + 22,79$$

$$Q \text{ rata rata} = 36,10 \text{ liter/detik}$$

- Q Rata-Rata Terlayani

$$Q \text{ rata rata terlayani} = \text{persentase terlayani} \times \text{persentase blok} \times$$

$$Q \text{ rata rata per desa}$$

$$Q \text{ rata rata terlayani} = 70\% \times 100\% \times 36,10$$

$$Q \text{ rata rata terlayani} = 25,27 \text{ liter/detik}$$

- Q Rata-Rata Air Limbah

$$Q \text{ rata rata air limbah} = Q \text{ rata rata terlayani} \times \text{persentase persentase air limbah}$$

$$Q \text{ rata rata air limbah} = 25,27 \times 80\%$$

$$Q \text{ rata rata air limbah} = 20,22 \text{ liter/detik} = 0,020 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- Q Min

$$Q \text{ min} = 0.2 \times \left(\left(\frac{\text{jumlah penduduk terlayani}}{1000} \right)^{0.2} \right) \times Q \text{ rata rata air limbah}$$

$$Q \text{ min} = 0.2 \times \left(\left(\frac{5,652}{1000} \right)^{0.2} \right) \times 0,020$$

$$Q \text{ min} = 0,006 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- f peak

Didapatkan dari grafik faktor puncak, berdasarkan Q rata-rata Desa Buruan, yaitu 0,020 m³/detik. Maka f peak yang didapat yaitu 2,9.

- Q peak

$$Q \text{ peak} = \text{jumlah total } Q \text{ rata rata air limbah} \times f \text{ peak}$$

$$Q \text{ peak} = 0,020 \times 2,9$$

$$Q \text{ peak} = 0,058 \text{ m}^3/\text{detik}$$

BAB V

TUGAS

Memuat soal dan ketentuan tugas besar SPAL.

5.1 Contoh Soal

1. Jelaskan manfaat adanya Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) di wilayah perkotaan!
2. Jelaskan faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan SPAL!
3. Perhatikan ketentuan perencanaan dan gambar wilayah pelayanan SPAL berikut ini.
 - Debit air limbah domestik : $100 + (2 \text{ angka terakhir NIM}) \text{ L/org hari}$
 - Pelayanan minimum SPAL : 60%
 - Debit air limbah fasilitas umum : $30 + (1 \text{ angka terakhir NIM}) \text{ L/org hari}$
 - Faktor puncak : 1,5
 - Daya tampung sekolah : 500 siswa
30 guru
20 pegawai
 - Daya tampung puskesmas : 200 orang (pasien, dokter, perawat, dll)
 - Ketentuan lain yang diperlukan dapat diasumsikan sendiri

Berdasarkan data di atas, tentukanlah:

- a. Blok pelayanan dan jaringan SPAL hingga menuju IPAL (gambar)
- b. Tentukan beban debit air limbah (debit puncak) pada setiap jaringan pipa (L/detik)
- c. Pilih salah satu saluran pipa yang telah dibuat, hitung diameter pipa tersebut (mm)

5.2 Ketentuan Tugas Besar

COVER

LEMBAR PERSETUJUAN

LEMBAR ASISTENSI

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN

- 1.1 Latar Belakang
- 1.2 Maksud dan Tujuan
- 1.3 Ruang Lingkup

BAB II GAMBARAN UMUM DAERAH PERENCANAAN

- 2.1 Keadaan Fisik
 - 2.1.1 Wilayah Administrasi
 - 2.1.2 Keadaan Topografi
 - 2.1.3 Keadaan Geologi
 - 2.1.4 Keadaan Hidrologi
 - 2.1.5 Keadaan Klimatologi
- 2.2 Kependudukan
 - 2.2.1 Jumlah dan Pertambahan Penduduk
 - 2.2.2 Sebaran dan Kepadatan Penduduk
- 2.3 Tata Guna Lahan
- 2.4 Fasilitas

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

- 3.1 Air Limbah
 - 3.1.1 Definisi Air Limbah
 - 3.1.2 Sumber Air Limbah
 - 3.1.3 Karakteristik Air Limbah
- 3.2 Sistem Penyaluran Air Limbah
 - 3.2.1 Sistem Pengumpulan
 - 3.2.2 Sarana
 - 3.2.3 Pengaliran
- 3.3 Proyeksi Penduduk
 - 3.3.1 Metode rata-rata Aritmatik
 - 3.3.2 Metode Berganda (Geometrik)

- 3.3.3 Metode Selisih Kuadrat Minimum (Least Square)
- 3.4 Proyeksi Fasilitas
- 3.5 Pemilihan Daerah Perencanaan
 - 3.5.1 Aspek Fisik
 - 3.5.2 Aspek Ekonomis
 - 3.5.3 Aspek Lingkungan
- 3.6 Perencanaan Saluran Air Limbah
 - 3.6.1 Daerah Pelayanan
 - 3.6.2 Debit Air Limbah
 - 3.6.3 Fluktuasi Pengaliran
 - 3.6.4 Kecepatan Aliran
 - 3.6.5 Kedalaman Air Dalam Saluran
 - 3.6.6 Kemiringan Saluran Penanaman Pipa
- 3.7 Dimensi Pipa
- 3.8 Jenis Bahan dan Bentuk Saluran
- 3.9 Penentuan Elevasi Muka Tanah.
- 3.10 Bangunan Pelengkap
 - 3.10.1 Manhole
 - 3.10.2 Siphon
 - 3.10.3 Terminal Clean Out
 - 3.10.4 Building Sewer
 - 3.10.5 Ventilasi Udara
 - 3.10.6 Sumur Pengumpul
 - 3.10.7 Bangunan Terjunan
 - 3.10.8 Bangunan Gelontor
 - 3.10.9 Pompa

BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH

- 4.1 Proyeksi Penduduk
 - 4.1.1 Metode Aritmatik
 - 4.1.2 Metode Geometri
 - 4.1.3 Metode Least Square
- 4.2 Proyeksi Fasilitas
- 4.3 Pembagian Blok Pelayanan

- 4.4 Perhitungan Kebutuhan Air Bersih
 - 4.4.1 Kebutuhan Air Domestik
 - 4.4.2 Kebutuhan Air Non Domestik
- 4.5 Kebutuhan Air Bersih Total
- 4.6 Perhitungan Debit Air Buangan
- 4.7 Pembebanan Saluran Air Buangan.
- 4.8 Perhitungan Dimensi Pipa
- 4.9 Perhitungan Penanaman Pipa
- 4.10 Perhitungan dan Penentuan Bangunan Pelengkap
 - 4.10.1 Manhole
 - 4.10.2 Siphon

BAB V BILL OF QUANTITY

- 5.1 Bill Of Quantity Perpipaian
- 5.2 Bill Of Quantity Urugan dan Pipa Galian
- 5.3 Bill Of Quantity Bangunan Pelengkap
 - 5.3.1 Manhole
 - 5.3.2 Siphon

BAB VI PENUTUP

- 6.1 Kesimpulan
- 6.2 Saran

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB VI

REFERENSI

1. Metcalf & Eddy, Inc., "Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery".
2. Hammer, M.J. and Hammer, M.J. Jr., "Water and Wastewater Technology".
3. Metcalf & Eddy. 1981. *Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater*. New York: McGraw-Hill.
4. Metcalf & Eddy. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse Third Edition*. New York: McGraw-Hill.
5. Direktorat Jenderal Cipta Karya. 2018, Buku A Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat SPALD-T, Jakarta.
6. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.