

PERENCANAAN SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK DI KELURAHAN ISTIQLAL KOTA MANADO

Fathul Mubin

Alex Binilang, Fuad Halim

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email : mubin6061@yahoo.com

ABSTRAK

Membuang limbah cair ke sungai masih merupakan kebiasaan bagi masyarakat yang tinggal di tepi sungai, sebagaimana terjadi juga di kelurahan Istiqlal kota Manado. Kecenderungan membuang limbah ke sungai oleh masyarakat karena cara tersebut sangat mudah dilakukan. Sesungguhnya kondisi ini dapat mengakibatkan menurunnya kualitas lingkungan khususnya air sungai yang berakibat pada berkurangnya tingkat kesehatan masyarakat disekitar sungai. Untuk mengatasi hal ini perlu dibuat sebuah sistem pengolahan air limbah domestik yang memadai.

Pengolahan air limbah domestik dengan sistem pengolahan terpusat (Off Site System) yang dialirkan secara gravitasi adalah salah satu metode yang dipilih untuk dapat melayani 1927 orang atau 555 bangunan dengan debit air limbah sebesar 213.240 liter/hari. Ukuran bak instalasi pengolahan air limbah (IPAL) 25 m x 4,5 m. Saluran pembawa terdiri dari sambungan rumah menggunakan pipa PVC dengan diameter 10 cm dan kemiringan 3,078%, saluran tersier menggunakan pipa PVC dengan diameter 15 cm dan kemiringan 1,79%, saluran sekunder menggunakan pipa beton dengan diameter 46 cm dan kemiringan 0,68% serta saluran primer menggunakan pipa beton dengan diameter 76 cm dan kemiringan 0,226%.

Kata kunci : kelurahan Istiqlal, air limbah domestik, dan sistem pengolahan.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Air limbah domestik adalah air yang berasal dari usaha atau kegiatan permukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen, dan perumahan. Beberapa bentuk dari air limbah ini berupa tinja, air seni, limbah kamar mandi, dan juga sisa kegiatan dapur rumah tangga.

Kelurahan Istiqlal merupakan suatu wilayah di kota manado yang memiliki jumlah penduduk cukup banyak. Sebagian penduduk di kelurahan Istiqlal masih membuang limbah rumah tangga di aliran sungai. Kondisi ini dapat merusak lingkungan sungai yang berakibat pada menurunnya tingkat kesehatan penduduk di sekitar sungai.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka yang merupakan permasalahan dalam tugas akhir ini yaitu belum adanya sistem pengolahan air limbah domestik secara baik di kelurahan Istiqlal.

Batasan Masalah

Penulisan ini dibatasi pada :

1. Lokasi yang ditinjau adalah kelurahan Istiqlal kota manado.
2. Air limbah domestik yang ditinjau di sini hanyalah limbah rumah tangga yaitu berupa tinja, air seni, limbah kamar mandi, dan juga sisa kegiatan dapur rumah tangga, sehingga limbah perkantoran, apartement, pabrik, dan pusat perbelanjaan tidak ditinjau.
3. Sistem yang digunakan adalah sistem pengolahan off-site position dimana air limbah disalurkan melalui saluran pengumpul air limbah lalu kemudian masuk ke instalasi pengolahan terpusat.
4. Perencanaan layout jaringan pengolahan air limbah domestik.
5. Penulis hanya merencanakan bentuk struktur sistem pengolahan air limbah dan jaringan pendukung sistem pengolahan tersebut, tentang cara kerja dan proses pengolahannya penulis hanya menggunakan contoh sistem pengolahan yang sudah ada.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk merencanakan sistem pengelolaan air limbah yang di gunakan di kelurahan istiqal.

Manfaat Penelitian

Mengurangi pencemaran lingkungan demi terjaganya kesehatan masyarakat.

LANDASAN TEORI

Komposisi Limbah Cair

Air limbah rumah tangga terdiri dari 3 fraksi penting :

1. Tinja (*faeces*), berpotensi mengandung mikroba pentogen,
2. Air seni (*urine*), umumnya mengandung nitrogen dan posfor, serta kemungkinan kecil mikro – organisme,
3. *Grey Water* merupakan air bekas cucian dapur, mesin cuci dan kamar mandi.

Campuran *faeces* dan urine disebut sebagai *excreta*, sedangkan campuran *excreta* dengan air bilasan toilet disebut sebagai *black water*.

Karakteristik Air Limbah Domestik

Air limbah perkotaan merupakan salah satu sumber daya air yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Beberapa kendala yang dihadapi di dalam menggunakan kembali air limbah yakni karena air limbah perkotaan kualitasnya tidak memenuhi syarat kualitas air untuk berbagai keperluan yaitu mengandung berbagai polutan yang cukup besar oleh karena itu sebelum digunakan kembali (*reuse*) perlu dilakukan pengolahan sampai mencari kualitas air yang diperbolehkan.

Secara umum menurut Puji dan Rahmi (2010) sifat air limbah cair domestik terbagi atas tiga karakteristik, yaitu karakteristik fisik, kimia, dan biologi.

1. Karakteristik fisik

a. Padatan (*Solid*)

Limbah cair mengandung berbagai macam zat padat dari material yang kasar sampai dengan material yang bersifat koloidal. Dalam karakterisasi limbah cair material kasar selalu dihilangkan sebelum dilakukan analisis contoh terhadap zat padat.

b. Bau (*Odor*)

Bau merupakan petunjuk adanya pembusukan air limbah. Penyebab adanya bau pada air limbah karena adanya bahan volatile, gas terlarut dan hasil samping dari pembusukan bahan organik. Bau yang dihasilkan oleh air limbah pada umumnya berupa gas yang dihasilkan dari penguraian zat organik yang

terkandung dalam air limbah, seperti Hidrogen sulfida (H_2S).

c. Warna (*Color*)

Air murni tidak berwarna tetapi seringkali diwarnai oleh benda asing. Karakteristik yang sangat mencolok pada limbah cair adalah berwarna yang umumnya disebabkan oleh zat organik dan algae. Air limbah yang baru biasanya berwarna abu-abu.

d. Temperatur

Limbah cair umumnya mempunyai temperatur lebih tinggi dari pada temperatur udara setempat. Temperatur limbah cair dan air merupakan parameter sangat penting sebab efeknya pada kehidupan dalam air, meningkatkan reaksi kima, dan mengurangnya spesies ikan dalam air.

e. Kekeruhan (*Turbidity*)

Kekeruhan sifat optis air yang akan membatasi pencahayaan kedalam air. Kekeruhan terjadi karena adanya zat-zat koloid yang melayang dan zat-zat yang terurai menjadi ukuran yang lebih (tersuspensi) oleh binatang, zat-zat organik, jasad renik, lumpur, tanah, dan benda-benda lain yang melayang. Tidak dapat dihubungkan secara langsung antara kekeruhan dengan kadar semua jenis zat suspensi, karena tergantung juga kepada ukuran dan bentuk butir.

2. Karakteristik kimia

a. Parameter organik

1) *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) atau Kebutuhan Oksigen Biologis (KOB) adalah suatu analisa empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi dalam air. Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri (aerobik) untuk menguraikan (mengoksidasikan) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air.

Parameter BOD adalah parameter yang paling banyak digunakan dalam pengujian air limbah dan air permukaan. Penentuan ini melibatkan pengukuran oksigen terlarut yang digunakan oleh mikro-organisme untuk menguraikan bahan-bahan organik (metcalf and eddy. 1979).

2) *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Analisis COD adalah menentukan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. *Chemical Oxygen Demand* (COD) atau Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) adalah

jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air.

3) Protein

Protein merupakan bagian yang penting dari makhluk hidup, termasuk di dalamnya tanaman, dan hewan bersel satu. Protein mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen yang mempunyai bobot molekul sangat tinggi. Struktur kimianya sangat kompleks dan tidak stabil serta mudah terurai, sebagian ada yang larut dalam air, tetapi ada yang tidak. Susunan protein sangat majemuk dan terdiri dari beribu-ribu asam amino dan merupakan bahan pembentuk sel dan inti sel.

4) Karbohidrat

Karbohidrat antara lain : gula, pati, selulosa dan benang-benang kayu terdiri dari unsur karbon, hidrogen, dan oksigen. Gula dalam limbah cair cenderung terdekomposisi oleh enzim dari bakteri-bakteri tertentu dan ragi menghasilkan alkohol dan gas CO_2 melalui proses fermentasi.

5) Minyak dan Lemak

Minyak adalah lemak yang bersifat cair. Keduanya mempunyai komponen utama karbon dan hidrogen yang mempunyai sifat tidak larut dalam air. Bahan-bahan tersebut banyak terdapat pada makanan, hewan, manusia dan bahkan ada dalam tumbuh-tumbuhan sebagai minyak nabati. Sifat lainnya adalah relatif stabil, tidak mudah terdekomposisi oleh bakteri.

6) Deterjen

Deterjen termasuk bahan organik yang sangat banyak digunakan untuk keperluan rumah tangga, hotel, dan rumah sakit. Fungsi utama deterjen adalah sebagai pembersih dalam pencucian, sehingga tanah, lemak dan lainnya dapat dipisahkan.

b. Parameter anorganik dan gas

1) pH

Air limbah dengan konsentrasi air limbah yang tidak netral akan menyulitkan proses biologis, sehingga mengganggu proses penjernihannya. pH yang baik bagi air limbah adalah netral (7). Semakin kecil nilai pH-nya,

maka akan menyebabkan air tersebut berupa asam.

2) Alkalinitas

Alkalinitas atau kebasaaan air limbah disebabkan oleh adanya hidroksida, karbonat dan bikarbonat seperti kalsium, magnesium, dan natrium atau kalium. Kebasaan adalah hasil dari adanya hidroksi karbonat dan bikarbonat yang berupa kalsium, magnesium, sodium, potasium atau amoniak. Dalam hal ini, yang paling utama adalah kalsium dan magnesium nikanarbonat. Pada umumnya air limbah adalah basa yang diterima dari penyediaan air, air tanah, dan bahan tambahan selama dipergunakan dirumah.

3) Logam

Menentukan jumlah kandungan logam pada air limbah seperti nikel (Ni), magnesium (Mg), timbal (Pb), kromium (Cr), kadmium (Cd), Zeng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe) dan air raksa (Hg) sangat penting dikarenakan jika berlebihan maka akan bersifat racun. Akan tetapi, beberapa jenis logam biasanya dipergunakan untuk pertumbuhan kehidupan biologis, misalnya pada pertumbuhan algae apabila tidak ada logam pertumbuhannya akan terhambat.

4) Gas

Banyak gas-gas terdapat didalam air, oksigen (O_2) adalah gas yang penting. Oksigen terlarut selalu diperlukan untuk pernafasan mikro-organisme aerob dan kehidupan lainnya. Apabila oksigen berada pada ambang yang rendah, maka bau-bauan akan dihasilkan sebab unsur karbon berubah menjadi metan termasuk CO_2 dan sulfur. Belerang akan menjadi amonia (NH_3) atau teroksidasi menjadi nitrit.

5) Nitrogen

Unsur nitrogen merupakan bagian yang penting untuk keperluan pertumbuhan protista dan tanaman. Nitrogen ini dikenal sebagai unsur hara atau makanan dan perangsang pertumbuhan. Nitrogen dalam limbah cair terutama merupakan gabungan dari bahan-bahan berprotein dan urea. Oleh bakteri, nitrogen ini diuraikan secara cepat dan diubah menjadi ammonia, sehingga umur dari air buangan secara relatif dapat ditunjukkan dari jumlah ammonia yang ada.

6) Phospor

Unsur phospor (P) dalam air seperti juga elemen nitrogen, merupakan unsur penting untuk pertumbuhan protista dan tanaman, yang dikenal pula sebagai nutrient dan perangsang pertumbuhan. Phospor merupakan komponen

yang menyuburkan algae dan organisme biologi lainnya, sehingga dapat dijadikan tolak ukur kualitas perairan.

3. Karakteristik Biologi

Limbah cair biasanya mengandung mikro-organisme yang memiliki peranan penting dalam pengolahan limbah cair secara biologi, tetapi ada juga mikro-organisme yang membahayakan bagi kehidupan manusia. Mikro-organisme tersebut antara lain bakteri, jamur, protozoa dan algae.

Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik

Masalah air limbah di Indonesia baik limbah domestik maupun air limbah industri sampai saat ini masih menjadi masalah yang serius. Di dalam proses pengolahan air limbah khususnya yang mengandung polutan senyawa organik, teknologi yang digunakan sebagian besar menggunakan aktifitas mikro-organisme yang menguraikan senyawa polutan organik tersebut.

Pengelolaan air limbah dapat dilakukan secara alamiah maupun dengan bantuan peralatan. Pengolahan air limbah secara alamiah biasanya dilakukan dengan bantuan kolam stabilisasi. Kolam stabilisasi merupakan kolam yang digunakan untuk mengolah air limbah secara alamiah. Kolam stabilisasi sangat direkomendasikan untuk pengelolaan air limbah di daerah tropis dan negara berkembang sebab biaya yang diperlukan untuk membuatnya relatif murah tetapi membutuhkan area yang luas *retention time* (waktu tinggal) yang cukup lama (20-50 hari). Kolam stabilisasi yang umum digunakan adalah kolam anaerobik (*anaerobic pond*), kolam fakultatif (*facultative pond*) dan kolam maturasi (*anaerobic/maturation pond*). Kolam anaerobik biasanya digunakan untuk mengolah air limbah dengan kandungan bahan organik yang sangat pekat, sedangkan kolam maturasi biasanya digunakan untuk memusnakan mikro-organisme di dalam air limbah.

Hal-hal yang menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan sistem pengolahan air limbah domestik menurut pedoman pengolahan air limbah perkotaan departemen kimpraswil tahun 2003 didasarkan pada faktor-faktor kepadatan penduduk, sumber air yang ada, kedalaman muka air tanah, dan kemampuan membiayai.

Berdasarkan faktor-faktor tersebut kemudian dilakukan pemilihan sistem pengolahan air limbah dengan

mempertimbangkan kondisi tersebut terhadap kemungkinan penerapan sistem pengolahan terpusat (*Off Site System*) ataupun sistem pengolahan setempat (*On Site System*) dengan membandingkan keuntungan dan kerugian seperti pada Tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. perbandingan antara *off site system* dan *on site system*

<i>Off site System</i> (Sistem Pengolahan Terpusat)	<i>On Site System</i> (Sistem Pengolahan Setempat)
<p>Keuntungan :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Menyediakan pelayanan yang terbaik, • Sesuai daerah dengan kepadatan tinggi, • Pencemaran terhadap badan air dan air tanah dapat dihindari, • Memiliki masa guna lebih lama, 	<p>Keuntungan :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan teknologi sederhana, • Memerlukan biaya yang rendah, • Masyarakat dan tiap-tiap keluarga dapat menyediakan sendiri, • Pengoperasian dan pemeliharaan oleh masyarakat, • Manfaat dapat dirasakan secara langsung.
<p>Kerugian :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Memerlukan biaya investasi, operasi, dan pemeliharaan yang tinggi, • Menggunakan teknologi tinggi, • Tidak dapat dilakukan oleh perseorangan, • Waktu yang lama dalam perencanaan dan pelaksanaan, • Perlu pengelolaan, oprasional, dan pemeliharaan yang baik. 	<p>Kerugian :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tidak dapat diterapkan pada setiap daerah, misalkan sifat permeabilitas tanah, tingkat kepadatan tanah, dan lain – lain, • Fungsi terbatas hanya dari buangan kotoran manusia, tidak melayani air limbah kamar mandi dan air bekas cucian, • Operasi dan pemeliharaan sulit dilaksanakan.

Sumber : Asmadi dan Suharno, 2012

Desain IPAL Domestik

Seluruh air limbah yang dihasilkan dari kegiatan domestik yaitu air limbah dapur, air limbah kamar mandi, air limbah pencucian, air limbah wastafel, air limpasan dari tangki septik tank dan air limbah lainnya, seluruhnya dialirkan ke sebuah sistem pengolahan terpusat dengan sistem biofilter anaerob-aerob.

a. Bak Pemisah Lemak

Bak pemisah lemak atau *grease removal* berfungsi untuk memisahkan lemak atau minyak yang berasal dari kegiatan dapur, serta untuk mengendapkan kotoran pasir, tanah atau senyawa padatan yang tak dapat terurai secara biologis.

Bak pemisah lemak atau *grease removal* yang direncanakan adalah tipe gravitasi sederhana. Bak terdiri dari dua buah ruang yang dilengkapi dengan bar screen pada bagian inletnya. Dimensi bak pemisah lemak dapat dihitung dengan rumus :

$$\frac{rt}{60 \text{ menit} \times 24 \text{ jam}} \text{ hari} \times Q$$

Dimana :

rt = *retention time* (waktu tunggu)

Q = Debit air limbah

b. Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi adalah bak penampungan yang berfungsi untuk meminimumkan dan mengendalikan fluktuasi aliran limbah cair baik kuantitas maupun kualitas yang berbeda dan menghomogenkan konsentrasi limbah cair.

Dimensi bak ekualisasi dapat dihitung dengan rumus : $\frac{rt}{24 \text{ jam}} \text{ hari} \times Q$

Dimana :

rt = *retention time* (waktu tunggu)

Q = Debit air limbah

c. Bak Pengendapan Awal

Bak pengendapan awal berfungsi untuk mengendapkan partikel lumpur, pasir dan kotoran organik tersuspensi. Selain sebagai bak pengendapan, juga berfungsi sebagai bak pengurai senyawa organik yang berbentuk padatan, *Sludge* (pengurai lumpur) dan penampung lumpur.

Dimensi bak pengendapan awal dapat dihitung dengan rumus : $\frac{rt}{24 \text{ jam}} \text{ hari} \times Q$

Dimana :

rt = *retention time* (waktu tunggu)

Q = Debit air limbah

d. Biofilter Anaerob

Di dalam bak kontaktor anaerob tersebut diisi dengan media khusus dari bahan plastik tipe sarang tawon. Jumlah bak kontaktor anaerob terdiri dari dua buah ruangan. Penguraian zat-zat organik yang ada dalam air limbah dilakukan oleh bakteri anaerobik atau

fakultatif aerobik. Setelah beberapa hari operasi, pada permukaan media filter akan tumbuh lapisan film mikro-organisme. Mikro-organisme inilah yang akan menguraikan zat organik yang belum sempat terurai pada bak pengendap.

Dimensi media yang diperlukan untuk biofilter anaerob dapat dihitung dengan rumus :

$$\frac{\text{BOD masuk}}{\text{BOD standar}}$$

e. Biofilter Aerob

Di dalam bak kontaktor aerob ini diisi dengan media khusus dari bahan plastik tipe sarang tawon, sambil diaerasi atau dihembus dengan udara sehingga mikro-organisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah serta tumbuh dan menempel pada permukaan media.

Dimensi media yang diperlukan untuk biofilter aerob dapat dihitung dengan rumus :

$$\frac{\text{BOD masuk}}{\text{BOD beban}}$$

f. Bak Pengendapan Akhir

Di dalam bak ini lumpur aktif yang mengandung mikro-organisme diendapkan dan sebagian air dipompa kembali kebagian bak pengendapan awal dengan pompa sirkulasi lumpur.

Dimensi bak pengendapan akhir dapat dihitung dengan rumus : $\frac{rt}{24 \text{ jam}} \text{ hari} \times Q$

Dimana :

rt = *retention time* (waktu tunggu)

Q = Debit air limbah

Pengaliran Air Limbah

Limbah cair disalurkan dari berbagai sumber ke fasilitas pengolahan melalui system pengolahan tertutup, di mana system saluran ini dikelompokkan menurut asal dan cara pengaliran.

Saluran Pipa Pembungan Air Limbah

Saluran yang akan dihitung di sini terdiri dari 4 saluran yaitu sambungan rumah, saluran tersier, saluran sekunder dan saluran primer/induk.

Perhitungan keempat saluran tersebut dapat menggunakan rumus :

$$Q = V \times A$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$d = \sqrt{\frac{Q \times 4}{V \times \pi}}$$

Kemiringan Minimum Saluran

Kemiringan minimum pada kondisi aliran penuh dapat dianalisis menggunakan rumus :

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

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2}$$

$$I = \left(\frac{v \cdot n}{\left(\frac{r}{2}\right)^{2/3}} \right)^2$$

Metodologi Penelitian

1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian bertempat di Kelurahan Istiqlal Kecamatan Wenang Kota Manado Sulawesi Utara. Secara geografis terletak pada 1°29'41,72" LU dan 124°50'46,66" LS.

Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan September – November 2014.

2. Studi Literatur

Literatur atau bahan acuan yang digunakan dalam penyelesaian skripsi ini antara lain :

- Asmadi dan Suharno, 2012, *Dasar-dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*, Gosyen Publishing, Yogyakarta.
- Bambang Triatmojo, 2013, *Hidraulika II*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Maryanto, 2011, *Perencanaan Jaringan Pipa Lateral Air Kotor di Surakarta*
- Metcalf and Eddy, 2003, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, McGraw Hill Comapies, Inc, Republic of China.
- Sugiarto, 2008, *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*, Universitas Indonesia, Jakarta.

3. Survei Lokasi Penelitian

1) Survei lokasi dan pengambilan data :

- a. Data primer :
 - Sumber-sumber limbah cair.
 - Debit limbah cair.
 - Perilaku Penggunaan Air.

b. Data sekunder

- Data jumlah penduduk kelurahan Istiqlal.
- Jumlah bangunan yang dilayani.
- Fasilitas pendukung.

4. Metoda Analisis Data

Data yang terkumpul selanjutnya dianalisa secara deskriptif, yaitu :

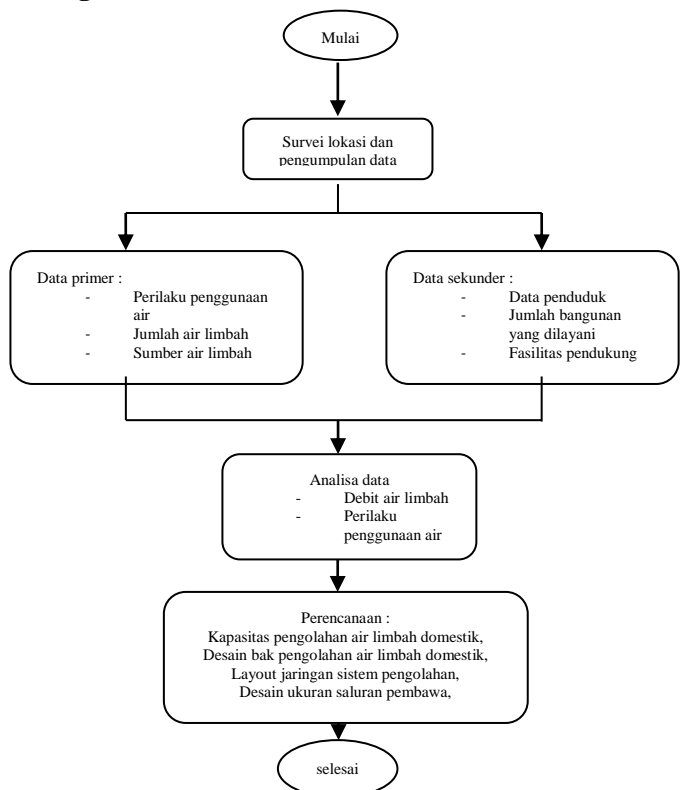
- a. Sumber-sumber limbah cair.
- b. Menghitung debit limbah cair yang dihasilkan dalam m³/hari.
- c. Merencanakan sistem pengolahan air limbah domestik.

5. Desain Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik

- a. Dimensi bak pengolahan air limbah.
- b. Layout sistem jaringan air limbah.
- c. Ukuran dan kemiringan saluran pembawa.

6. Kesimpulan dan saran.

Bagan Alir



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian Pelaksanaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal yang dilakukan yaitu mengetahui kapasitas air limbah domestik yang dihasilkan oleh Kelurahan Istiqlal, sebagai acuan untuk menentukan dimensi bak pengolahan air limbah yang akan direncanakan. Air limbah yang di hasilkan berhubungan dengan air bersih yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari.

Jumlah penduduk = 1927 orang
 Limbah cair yang dihasilkan = 120 liter/orang/hari
 Total limbah cair = Jumlah penduduk x limbah cair per orang
 = 1927 orang x 120 liter/per orang/hari
 = 231.240 liter/hari.

Untuk menentukan dimensi bak pengolahan air limbah aharu diketahui terlebih dahulu jam puncak penggunaan air bersih, dengan jam puncak penggunaan air bersi tersebut akan diketahui debit maksimum yang akah dihasilkan.

Survey yang dilakukan tentang perilaku penggunaan air dalam kehidupan sehari-hari pada daerah tinjauan terlihat pada tabel 2.

Berdasarkan tabel 2 diambil kesimpulan perilaku penggunaan air terbesar perhari terjadi pada pukul 6.00 sampai 9.00 dengan persentase penggunaan sebesar 60%. Jam puncak penggunaan air terjadi pada pukul 06.00-10.00 dengan durasi 4 jam dan persentasi sebesar 60%. Maka debit air yang dihasilkan pada jam puncak penggunaan air adalah :

Persentase jam puncak = 60%
 Total limbah cair = 385.400 liter/hari
 Jumlah limbah cair yang dihasilkan pada jam puncak adalah = Persentase jam puncak x Total limbah cair
 = 60% x 231.240 liter/hari
 = 138.774 liter (dalam waktu 4 jam)

Untuk pengolahan air limbah domestik teknologi yang digunakan adalah kombinasi proses biofilter anaerob-aerob, membutuhkan waktu tinggal yang berbeda pada setiap bagian pengolahannya untuk mendapatkan hasil pengolahan atau penurunan BOD yang maksimal. Waktu yang diperlukan pada setiap bagian pengolahannya adalah Bak Pemisah Lemak ± 30 menit, Bak Ekualisasi / Bak Penampungan Air 4-8 jam, Bak pengendapan awal 2-4 jam, Biofilter anaerob 4-8 jam, Biofilter Aerob 4-8 jam, bak pengendapan akhir 2-4 jam. Oleh Karena itu perlu ditambahkan

30% dari total air limbah yang dihasilkan pada beban puncak untuk memenuhi beban air limbah yang masuk sebelum dan setelah beban puncak.

Tabel 2. Perilaku penggunaan air kelurahan Istiqlal

Waktu	Penggunaan	Persentase
0.00 – 1.00	Tidakada	0%
1.00 – 2.00	Tidakada	
2.00 – 3.00	Tidakada	
3.00 – 4.00	Tidakada	
4.00 – 5.00	Persiapan beribadah	5%
5.00 – 6.00	Persiapan beribadah	
6.00 – 7.00	Mandi + Cuci + Masak	60%
7.00 – 8.00	Mandi + Cuci + Masak	
8.00 – 9.00	Mandi + Cuci + Masak	
9.00 – 10.00	Mandi + Cuci + Masak	
10.00-11.00	Tidakada	0%
11.00-12.00	Tidakada	
12.00-13.00	makan	5%
13.00-14.00	makan	
14.00-15.00	Tidakada	0%
15.00-16.00	Tidakada	
16.00-17.00	Persiapan beribadah	5%
17.00-18.00	Persiapan beribadah	
18.00-19.00	Mandi + Cuci + Masak	25%
19.00-20.00	Mandi + Cuci + Masak	
20.00-21.00	Tidakada	0%
21.00-22.00	Tidakada	
22.00-23.00	Tidakada	
23.00-24.00	Tidakada	
Total		100%

Sumber : Hasil survey

Total kapasitas bak Pengolahan Air Limbah (IPAL) = 138.774 liter + (30% x 138.774 liter)
 = 180.367 liter
 = 180 m³.

Kapasitas desain yang direncanakan :
 Kapasitas pengolahan : 180 m³
 Kapasitas pengolahan per jam = 180 m³ /24 jam

$$= 7,5 \text{ m}^3 \text{ per jam}$$

$$\text{Kapasitas pengolahan per menit} = 7,5 \text{ m}^3 / 60$$

$$= 0,125 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$= 125 \text{ liter/menit}$$

BOD Air Limbah Rata-rata : 300 mg/l
 Total efisiensi pengolahan : 90-95 %

1. Desain Bak Pemisah Lemak/Minyak

Bak pemisah lemak atau *grease removal* yang direncanakan adalah tipe gravitasi sederhana. Bak terdiri dari dua buah ruang yang dilengkapi dengan bar screen pada bagian inletnya.

Kapasitas pengolahan : 180 m³/ hari
 : 7,5 m³/jam
 : 125 liter/menit

Kriteria Perencanaan :
retention time = ± 30 menit.

$$\text{Volume bak yang diperlukan} = \frac{30}{60 \times 24} \text{ hari} \times 180 \text{ m}^3/\text{hari} = 3,75 \text{ m}^3$$

Dimensi Bak :

Panjang : 2 m
 Lebar : 1,5 m
 Kedalaman Air : 1,5 m
 Ruang Bebas : 0,5 m
 Volume efektif : 4,5 m³
 Konstruksi : Beton K300
 Tebal dinding : 20 cm

2. Desain Bak Ekualisasi/Bak Penampungan Air

Waktu tinggal di dalam bak (HRT) = 4-8 jam. Ditetapkan waktu tinggal dalam bak ekualisasi adalah 5 jam.

Jadi :

$$\text{Volume bak yang diperlukan} = \frac{5}{24} \text{ hari} \times 180 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 37,5 \text{ m}^3$$

Ditetapkan Dimensi Bak :

Panjang : 4,5 m
 Lebar : 4,5 m
 Kedalaman Air : 2 m
 Ruang Bebas : 0,5 m
 Volume efektif : 40,5 m³
 Konstruksi : Beton K300
 Tebal dinding : 20 cm

Chek :

$$\text{Volume efektif} = 67,5 \text{ m}^3$$

$$\text{Waktu tinggal (HRT) di dalam bak} = \frac{40,5 \times 24}{180}$$

$$= 5,4 \text{ jam.}$$

3. Bak pengendapan awal

Debit air limbah: 180 m³/ hari

BOD masuk : 300 mg/l

Efisiensi : 25 %

Bod Keluar : 225 mg/l

Waktu tinggal dala bak = 2–4 jam

$$\text{Volume bak yang diperlukan} = \frac{3}{24} \times 180 \text{ m}^3 = 22,5 \text{ m}^3$$

Ditetapkan Dimensi Bak :

Panjang : 2,5 m
 Lebar : 4,5 m
 Kedalaman Air : 2 m
 Ruang Bebas : 0,5 m
 Volume efektif : 22,5 m³
 Konstruksi : Beton K300
 Tebal dinding : 20 cm

Chek :

Waktu tinggal (*retention time*) rata – rata (T) =

$$T = \frac{2,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 2 \text{ m}}{180 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} = 3 \text{ jam}$$

$$\text{Beban permukaan (surface loading)} = \frac{180 \text{ m}^3/\text{hari}}{5 \text{ m} \times 3 \text{ m}} = 10 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

Waktu tinggal pada saat beban puncak = 1,5 jam (asumsi jumlah limbah 2 kali jumlah rata-rata)

Beban permukaan (*surface loading*) rata –rata = 10 m³/ m².hari

Beban permukaan pada saat puncak = 20 m³/ m².hari

Standar : waktu tinggal = 2-4 jam

Beban permukaan : 20-50 m³/ m².hari. (JWWA).

4. Biofilter anaerob.

BODmasuk : 225 mg/l

Efisiensi : 80 %

BODkeluar : 45 mg/l

Debit limbah : 180 m³/ hari

Untuk pengolahan air dengan proses biofilter standar beban BOD per volume media 0,4-4,7 kg BOD / m³.hari.

Ditetapkan beban BOD yang digunakan = 1,0 kg BOD / m³.hari.

Beban BOD di dalam air limbah = 180 m³/ hari x 225 g/ m³ = 40.500 g/hari = 40,5 kg/hari.

$$\text{Volume media yang diperlukan} = \frac{40,5 \text{ kg/hari}}{1,0 \text{ kg/m}^3.\text{hari}} = 40,5 \text{ m}^3$$

Volume media = 60% dari total volume reaktor,
Volume reaktor yang diperlukan = $100/60 \times 40,5 \text{ m}^3 = 67,5 \text{ m}^3$

Waktu tinggal didalam reaktor Anaerob = $\frac{67,5 \text{ m}^3}{180 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 24 \text{ jam/hari} = 9 \text{ jam}$.

Ditetapkan Dimensi reaktor Anaerob :

Panjang : 7,5 m

Lebar : 4,5 m

Kedalaman Air : 2 m

Ruang Bebas : 0,5 m

Volume efektif : $67,5 \text{ m}^3$

Konstruksi : Beton K300

Tebal dinding : 20 cm

Waktu tinggal Reaktor Anaerob rata –rata =

$\frac{67,5 \text{ kg BOD/hari}}{(10 \times 4 \times 2) \text{ m}^3} = 0,6 \text{ Kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari}$.

Standart high rate trickling filter : 0,4 -4,7 Kg BOD/ $\text{m}^2 \cdot \text{hari}$. (Ebie Kunio, 1995)

5. Biofilter Aerob

Debit air limbah : $180 \text{ m}^3/\text{hari}$

BOD masuk : 45 mg/l

Efisiensi : 60 %

Bod Keluar : 18 mg/l

Beban BOD di dalam air limbah = $180 \text{ m}^3/\text{hari} \times 45 \text{ g/m}^3 = 8.100 \text{ g/hari} = 8,1 \text{ kg/hari}$.

Jumlah BOD yang dihilangkan = $0,6 \times 8,1 \text{ kg/hari} = 4,86 \text{ kg/hari}$.

Beban BOD per volume media yang digunakan = $0,5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari}$.

Volume media yang diperlukan = $8,1/0,5 = 13,5 \text{ m}^3$

Volume media = 40% dari Volume Reaktor

Volume Reaktor Biofilter Aerob yang diperlukan = $100/40 \times 13,5 \text{ m}^3 = 33,75 \text{ m}^3$

Biofilter Aerob terdiri dari dua ruangan yaitu ruang Aerasi dan ruang Bed Media.

Dimensi Reaktor Biofilter Aerob :

- Ruang aerasi

Panjang : 2 m

Lebar : 4,5 m

Kedalaman Air : 2 m

Ruang Bebas : 0,5 m

Volume efektif : 18 m^3

- Ruang Bed Media

Panjang : 3 m

Lebar : 4,5 m

Kedalaman Air : 2 m

Ruang Bebas : 0,5 m

Total volume Efektif Biofilter Aerob = $(2 \text{ m} + 3 \text{ m}) \times 4,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 45 \text{ m}^3$

Konstruksi : Beton K300

Tebal dinding : 20 cm

Chek :

Waktu tinggal total rata –rata = $(45/180) \times 24 \text{ Jam} = 6 \text{ jam}$

Tinggi ruang lumpur = 0,5 m

Tinggi Bed Media pembiakan mikroba = 1,5 m

Volume total media pada biofilter aerob = $2 \times 4,5 \times 1,5 = 13,5 \text{ m}^3$

Chek :

BOD Loading per Volume media = $13,5/13,5 = 1 \text{ Kg BOD/ m}^3 \cdot \text{hari}$.

Standart high rate trickling filter : 0,4 -4,7 Kg BOD/ $\text{m}^2 \cdot \text{hari}$. (Ebie Kunio, 1995)

Kebutuhan Oksigen :

Kebutuhan oksigen di dalam reaktor biofilter aerob sebanding dengan jumlah BOD yang dihilangkan.

Jadi :

Kebutuhan teoritis = jumlah BOD yang dihilangkan = 4,86 kg/hari.

Factor keamanan ditetapkan = $\pm 2,0$

Maka kebutuhan Oksigen Teoritis = $2 \times 4,86 \text{ kg/hari} = 9,72 \text{ Kg/hari}$.

Temperature udara rata-rata = 28°c

Berat udara pada suhu $28^\circ\text{c} = 1,1725 \text{ kg/ m}^3$

Di asumsikan jumlah oksigen di dalam udara 23,2%.

Jadi :

Jumlah kebutuhan udara teoritis = $\frac{4,86 \text{ kg/hari}}{1,1725 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,232 \frac{\text{g-O}_2}{\text{g}} \text{ udara}} = 17,87 \text{ m}^3/\text{hari}$.

Efisiensi diffuser = 3 %

Kebutuhan udara Aktual = $\frac{17,87 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,05} = 248 \text{ m}^3/\text{hari}$

=248 m^3/hari

Blower udara yang diperlukan :

Spesifikasi Blower :

Tipe : HIBLOW 200

Kapasitas Blower : 200 liter/menit

Head : 2000 mm-aqua (2 meter)

Jumlah : 4 unit

Power : 200 watt x 4 = 800 watt

Pipa Outlet : $\frac{1}{2}$ inc.

Kelistrikan : 1 fase

Diffuser udara :

Total transfer udara = 800 liter/menit

Tipe diffuser yang digunakan : perforated pipe diffuser atau yang setara.

6. Bak Pengendapan Akhir

Debit air limbah : 180 m³/ hari
 BOD masuk : 20 mg/l
 Bod Keluar : 20 mg/l
 Waktu tinggal Di Dalam Bak = 2-4 jam
 Menghitung dimensi bak pengendapan akhir menggunakan rumus (2.6)
 Volume bak yang diperlukan = (3/24)x 180 m³ = 22,5 m³
 Dimensi :
 Panjang : 2,5 m
 Lebar : 4,5 m
 Kedalaman Air : 2 m
 Ruang Bebas : 0,5 m
 Konstruksi : Beton K275
 Tebal dinding : 20 cm

Chek :

$$\text{Waktu tinggal (retention time) rata-rata} = \frac{2,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 2 \text{ m}}{180 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 24 \text{ jam/hari} = 3 \text{ jam}$$

Desain Saluran Pipa Yang Akan digunakan.

Limbah yang berasal dari WC, kamar mandi dan dapur memiliki bau dan bentuk yang sangat mengganggu masyarakat. Oleh karena alasan ini limbah harus dialirkan secara tertutup.

Aliran harus memenuhi kriteria aliran dengan kecepatan aliran terendah pada saat debit puncak berlangsung harus berkisar antara 0,6–3,0 m/detik agar memenuhi *self cleaning* (pembersihan sendiri).

Diameter Saluran Pipa Pembungan Air Limbah

Saluran yang akan dihitung di sini terdiri dari 4 saluran yaitu sambungan rumah, saluran tersier, saluran sekunder dan saluran primer/induk.

Perhitungan keempat saluran :

$$Q = V \times A$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$d = \sqrt{\frac{Q \times 4}{V \times \pi}}$$

Dimana :

Q = Debit Air Limbah

V = Kecepatan

d = diameter pipa

1. Diameter pipa untuk sambungan rumah

Misalkan 1 rumah terdiri dari 5 orang, maka

$$Q = 120 \text{ liter/hari} \times 5 \text{ orang} = 600 \text{ liter/hari}$$

Jam puncak penggunaan air terjadi selama 3 jam dengan kapasitas sebesar 60% dari total air limbah, maka :

$$Q = 600 \text{ liter/hari} \times 60\% = 360 \text{ liter/hari} = 15 \text{ liter/jam} = 0,25 \text{ liter/menit} = 0,004167 \text{ liter/detik}$$

Dimensi pipa untuk sambungan rumah dapat dihitung :

$$Q = 0,004167 \text{ liter/detik}$$

$$V = 1,5 \text{ m/detik}$$

$$d = \sqrt{\frac{Q \times 4}{V \times \pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{0,004167 \times 4}{1,5 \times \pi}} = 0,0595 \text{ m}$$

Jadi diameter untuk sambungan rumah adalah 5,96 cm ≈ 10 cm, menggunakan pipa PVC.

2. Diameter pipa untuk saluran tersier

Satu saluran tersier melayani 5 rumah, maka debit yang masuk ke saluran tersier adalah :

$$Q \text{ satu rumah} = 0,004167 \text{ liter/detik}$$

$$Q \text{ saluran tersier} = 0,004167 \text{ liter/detik} \times 5 \text{ rumah} = 0,02083 \text{ liter/detik}$$

Dimensi pipa untuk saluran tersier :

$$Q = 0,02083 \text{ liter/detik}$$

$$V = 1,5 \text{ m/detik}$$

$$d = \sqrt{\frac{Q \times 4}{V \times \pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{0,02083 \times 4}{1,5 \times \pi}} = 0,13295 \text{ m}$$

Jadi diameter untuk saluran tersier adalah 13,295 cm ≈ 15 cm, menggunakan pipa PVC.

3. Diameter pipa untuk saluran sekunder

Satu saluran sekunder melayani 50 rumah, maka debit yang masuk ke saluran tersier adalah :

$$Q \text{ satu rumah} = 0,004167 \text{ liter/detik}$$

Q saluran sekunder = 0,004167 liter/detik x
50 rumah
= 0,2083 liter/detik

Dimensi pipa untuk saluran tersier :

Q = 0,2083 liter/detik
V = 1,5 m/detik

$$d = \sqrt{\frac{Q \times 4}{V \times \pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{0,2083 \times 4}{1,5 \times \pi}} = 0,42042 \text{ m}$$

Jadi diameter untuk saluran tersier adalah 42,04 cm ≈ 46 cm, menggunakan pipa beton.

4. Diameter pipa untuk saluran primer

Satu saluran sekunder melayani 150 rumah, maka debit yang masuk ke saluran tersier adalah :

Q satu rumah = 0,004167 liter/detik
Q saluran sekunder = 0,004167 liter/detik x
150 rumah
= 0,625 liter/detik

Dimensi pipa untuk saluran tersier :

Q = 0,625 liter/detik
V = 1,5 m/detik

$$d = \sqrt{\frac{Q \times 4}{V \times \pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{0,625 \times 4}{1,5 \times \pi}} = 0,7282 \text{ m}$$

Jadi diameter untuk saluran tersier adalah 72,82 cm ≈ 76 cm, menggunakan pipa beton.

Tabel 3. Dimensi saluran pipa

No.	Jenis Saluran	Diameter Saluran (cm)	Bahan Saluran
1	Sambungan rumah	10	PVC
2	Saluran tersier	15	PVC
3	Saluran sekunder	46	Beton
4	Saluran primer	76	Beton

Sumber : hasil perhitungan.

Kemiringan Minimum Saluran

Kemiringan minimum pada kondisi aliran penuh dapat dianalisis menggunakan rumus :

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

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2}$$

$$I = \left(\frac{v \cdot n}{\left(\frac{r}{2}\right)^{2/3}} \right)^2$$

Dimana : V = kecepatan rencana
n = koefisien Manning
r = jari-jari pipa
I = kemiringan saluran

Sistem sambungan rumah Sistem pengaliran menggunakan gravitasi, oleh karena itu dibutuhkan kemiringan yang cukup agar terjadi pembersihan sendiri (*self cleaning*) tanpa adanya debit penggelontor. Kemiringan minimum pipa tergantung besar kecepatan yang diinginkan agar tidak terjadi penyumbatan pada saluran tersebut yang disebabkan kotoran/partikel yang terdapat pada air limbah.

Perhitungan kemiringan saluran pembuangan pada sistem air limbah pada kelurahan istiqlal adalah sebagai berikut :

1. Sambungan Rumah

Kemiringan saluran untuk sambungan rumah dapat dihitung menggunakan rumus (4.2)

v = 1,5 m/detik
n = 0,01 (pipa PVC)
r = 0,05 m (diameter 10 cm)

$$I = \left(\frac{v \cdot n}{\left(\frac{r}{2}\right)^{2/3}} \right)^2$$

$$I = \left(\frac{1,5 \times 0,01}{\left(\frac{0,05}{2}\right)^{2/3}} \right)^2 = 0,03078$$

Standar kemiringan minimum untuk pipa diameter 10 cm sesuai tabel 4.2 adalah 0,45% = 0,0045.

2. Saluran Tersier

Kemiringan saluran tersier dapat dihitung menggunakan rumus (4.2) :

v = 1,5 m/detik
n = 0,01 (pipa PVC)
r = 0,075 m (diameter 15 cm)

$$I = \left(\frac{v \cdot n}{\left(\frac{r}{2}\right)^{2/3}} \right)^2$$

$$I = \left(\frac{1,5 \times 0,01}{\left(\frac{0,075}{2}\right)^{2/3}} \right)^2 = 0,0179$$

Standar kemiringan minimum untuk pipa diameter 15 cm sesuai tabel 4.2 adalah 0,4% = 0,0004.

3. Saluran Sekunder

Kemiringan saluran tersier dapat dihitung menggunakan rumus (4.2) :

$$\begin{aligned} v &= 1,5 \text{ m/detik} \\ n &= 0,013 \text{ (pipa beton)} \\ r &= 0,23 \text{ m (diameter 46 cm)} \end{aligned}$$

$$I = \left(\frac{v \cdot n}{\left(\frac{r}{2}\right)^{2/3}} \right)^2$$

$$I = \left(\frac{1,5 \times 0,013}{\left(\frac{0,23}{2}\right)^{2/3}} \right)^2 = 0,0068$$

Standar kemiringan minimum untuk pipa diameter 46 cm sesuai tabel 4.2 adalah 0,12% = 0,0012.

4. Saluran Primer

Kemiringan saluran tersier dapat dihitung menggunakan rumus (4.2) :

$$\begin{aligned} v &= 1,5 \text{ m/detik} \\ n &= 0,013 \text{ (pipa beton)} \\ r &= 0,38 \text{ m (diameter 76 cm)} \end{aligned}$$

$$I = \left(\frac{v \cdot n}{\left(\frac{r}{2}\right)^{2/3}} \right)^2$$

$$I = \left(\frac{1,5 \times 0,013}{\left(\frac{0,38}{2}\right)^{2/3}} \right)^2 = 0,00348$$

Standar kemiringan minimum untuk pipa diameter 76 cm sesuai tabel 4 adalah 0,06% = 0,0006.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Dimensi Dan Kemiringan Pipa

No.	Jenis Saluran	Diameter Saluran (cm)	Kemiringan (%)
1	Sambungan rumah	10	3,078
2	Saluran tersier	15	1,79

3	Saluran sekunder	46	0,68
4	Saluran primer	76	0,348

Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Debit air limbah yang dihasilkan oleh kelurahan Istiqlal kota manado sebesar 231.240 liter/hari.
2. Sistem pengolahan air limbah domestik yang digunakan adalah sistem terpusat (*Off Site System*).
3. Dari hasil perhitungan di dapat ukuran bak istalasi pengolahan air limbah (IPAL) yakni = 25 m x 4,5 m.
4. Tipe saluran yang digunakan untuk membawa limbah cair adalah saluran tertutup dengan sistem gravitasi.
5. Ada empat jenis saluran pembawa yaitu:
 - a. Sambungan rumah menggunakan pipa PVC dengan diameter 10 cm dan kemiringan 3,078%.
 - b. Saluran tersier menggunakan pipa PVC dengan diameter 15 cm dan kemiringan 1,79%.
 - c. Saluran sekunder menggunakan pipa beton dengan diameter 46 cm dan kemiringan 0,68%.
 - d. Saluran primer menggunakan pipa beton dengan diameter 76 cm dan kemiringan 0,348%.
6. Bak IPAL ini melayani 555 bangunan.

Saran

Dalam pengoperasian instalasi pengolahan air limbah ini perlu dibentuk suatu organisasi tingkat kelurahan atau petugas yang bertugas untuk memelihara sistem ini.

Daftar Pustaka

Anonimous. 2013. *Masalah Pencemaran Air Limbah di Wilayah Jakart.*

<http://kelair.bppt.go.idPublikasiBukuAirLimbahDomestikDKIAirLimbahDomestikDKI.html>

Asmadi dan Suharno. 2012. *Dasar-dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah.* Gosyen Publishing. Yogyakarta.

Bambang Triatmojo. 2013. *Hidrolika II.* Beta Offset. Yogyakarta.

Maryanto. 2011. *Perencanaan Jaringan Pipa Lateral Air Kotor di Surakarta.* Skripsi Program D-III Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse.* McGraw Hill Companies, Inc. Republic of China.

Puji dan Nur Rahmi. 2009. *Pengolahan Limbah Cair Domestik Menggunakan Lumpur Aktif Proses ANaerob.* Tugas Akhir. Universitas Diponegoro, Fakultas Teknik. Semarang.

RA Prahastiwi Prameswari dan Alfian Purnomo, 2014. *Perencanaan Pelayanan Air Limbah Komunal di Desa Krasak Kecamatan Jatibarang Kota Indramayu,* Jurnal Teknik. Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Sugiarto. 2008. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limba.* Universitas Indonesia. Jakarta.