

ABSTRAK

Pangastuti, RD.2007. *Kajian Sistem Drainase Terpisah pada Perumahan Padat Penduduk (Studi Kasus Kelurahan Ketawanggede)*. Tugas Akhir.
Pembimbing : (1). Ir. Janu Ismoyo, MT (2). J Soegijanto, MSc.

Drainase Terpisah adalah sistem pembuangan air limpasan hujan dan system pembuangan limbah cair rumah tangga yang dilakukan secara terpisah. Terjadinya akumulasi jumlah penduduk di daerah perkotaan mempengaruhi siklus hidrologi dengan timbulnya genangan-genangan di daerah pemukiman yang padat pada musim penghujan. Salah satu penyebab adanya genangan di daerah pemukiman padat penduduk adalah keadaan jaringan drainase yang tidak efektif dan tidak berfungsi optimal.

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengevaluasi sistem drainase dan mengevaluasi sistem pengolahan air limbah rumah tangga yang ada pada kelurahan Ketawanggede.

Tugas akhir ini merupakan studi literatur dengan mengumpulkan teori yang mendukung disertai dengan Pengumpulan data, analisa hidrologi, perhitungan debit rencana, perencanaan sistem drainase air limbah, dan perhitungan analisa ekonomi.

Hasil yang diperoleh adalah sistem drainase air hujan pada Kelurahan Ketawanggede sudah baik karena bisa menampung debit limpasan yang ada, sedangkan untuk drainase air limbah rumah tangga perlu diadakan perbaikan dan pemasangan instalasi pengolahan air limbah. Instalasi Pengolahan Air Limbah ini dapat menurunkan kadar BOD sebesar 50,6%, kadar TSS sebesar 15,3% dan mencapai nilai pH sebesar 6,92.

Kata kunci : Drainase, Perumahan Padat Penduduk

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini negara-negara berkembang di dunia, termasuk Indonesia di dalamnya sedang mengalami suatu permasalahan serius yang berkaitan dengan pertumbuhan penduduk dan penyebarannya. Penduduk Indonesia dengan kondisi ekonomi yang rendah cenderung untuk melakukan urbanisasi untuk mencari perbaikan kondisi ekonomi. Perpindahan penduduk dari desa ke kota dengan jumlah yang sangat besar ini mengakibatkan akumulasi jumlah penduduk di daerah perkotaan maupun di daerah pinggiran.

Terjadinya akumulasi jumlah penduduk di daerah perkotaan di Indonesia ini tidak saja mengakibatkan permasalahan yang berkaitan dengan ketertiban tata kota yang semakin padat, tetapi secara langsung juga mempengaruhi siklus hidrologi dengan timbulnya genangan-genangan di daerah pemukiman yang padat pada musim penghujan. Bahkan bila terjadi kondisi hujan yang lebat dengan durasi yang panjang bisa mengakibatkan terjadinya banjir. Masalah-masalah yang berkaitan dengan drainase ini disinyalir muncul akibat penggunaan lahan resapan untuk pemukiman atau sistem drainase yang tidak efektif. Oleh karena itu perkembangan kota harus juga mengikutsertakan pengembangan sistem drainase yang benar-benar mengatasi permasalahan-permasalahan yang terjadi tanpa melupakan aspek kelestarian sumber daya air.

Jaringan drainase perkotaan meliputi seluruh alur air, baik alur alam maupun alur buatan yang hulunya terletak di kota dan bermuara di sungai yang melewati kota tersebut atau bermuara ke tepi laut di bagian kota itu.

Drainase perkotaan melayani pembuangan kelebihan air pada suatu kota dengan cara mengalirkannya melalui permukaan tanah (*surface drainage*) atau lewat bawah permukaan tanah (*sub surface drainage*), untuk dibuang ke sungai, laut, atau danau. Kelebihan air tersebut dapat berupa air hujan, air limbah domestik maupun air limbah industri.

Salah satu penyebab adanya genangan di daerah pemukiman padat penduduk adalah keadaan jaringan drainase yang tidak efektif dan tidak berfungsi optimal. Kondisi

saluran drainase pada pemukiman ini banyak sekali yang sudah rata dengan tanah. Disamping itu, drainase yang digunakan untuk mengalirkan air hujan dan air limbah domestik masih dibuang pada sungai yang sama tanpa adanya sistem pengolahan limbah domestik, sehingga menimbulkan berbagai macam gangguan kesehatan dan tercemarnya air tanah. Seperti yang kita ketahui, limbah cair rumah tangga ini memiliki kandungan zat-zat berbahaya yang dapat merugikan masyarakat dan mempengaruhi kualitas air tanah, oleh sebab itu limbah rumah tangga perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai.

1.2. Identifikasi Masalah

Pada kelurahan Ketawanggede, terjadi genangan pada beberapa kawasan Rukun Tetangga. Akibat genangan tersebut, mobilitas penduduk menjadi terganggu. Kurang efektifnya sistem drainase yang sudah dipisah, menyebabkan bau yang dapat mengganggu pernafasan penduduk yang berada di saluran pembuangan tersebut. Oleh sebab itu perlu diadakan rekayasa teknis dalam mengolah limbah domestik penduduk sebelum dibuang kesungai yang sama.

1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam studi ini tidak meluas, maka permasalahan dibatasi sebagai berikut :

1. Studi ini dilaksanakan untuk mengevaluasi sistem drainase yang digunakan di kelurahan ketawanggede.
2. Perbaiki sistem drainase air hujan yang sudah tidak berfungsi.
3. Air limbah yang dianalisa adalah air limbah rumah tangga yang berasal dari mandi, mencuci dan memasak.
4. Tidak membahas dimensi sistem pengolahan limbah secara detail.
5. Membahas analisa ekonomi.
6. Tidak membahas dampak lingkungan yang akan terjadi untuk setiap alternatif yang mungkin digunakan.

1.4. Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah kondisi saluran drainase yang ada pada kelurahan Ketawanggede saat

ini?

2. Apakah perlu diadakan perbaikan pada sistem drainase yang sudah ada?
2. Berapakah besarnya debit yang dapat ditampung oleh saluran?
3. Bagaimanakah instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang dapat diterapkan pada daerah kajian?
4. Berapa biaya yang dibutuhkan untuk perbaikan saluran drainase dan pemasangan Instalasi Pengolahan Air Limbah?

1.5. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengevaluasi sistem drainase dan mengevaluasi sistem pengolahan air limbah rumah tangga yang ada pada kelurahan Ketawanggede.

Adapun manfaat dari studi ini adalah agar masyarakat di kawasan kelurahan Ketawanggede dapat mengetahui akan pentingnya sistem drainase dan sistem pengolahan limbah domestik agar tidak terjadi pencemaran pada air tanah. Disamping itu, diharapkan kajian ini dapat memberikan wawasan yang lebih untuk bisa merencanakan sistem drainase yang tepat.



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Analisis Hidrologi

2.1.1. Hujan Rerata Daerah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Beberapa metode yang digunakan untuk menghitung curah hujan rata-rata daerah maksimum adalah (Sosrodarsono, 1987:27) :

1. Cara rata-rata Aljabar
2. Polygon Thiessen
3. Garis Isohyet

Dalam perhitungan besarnya curah hujan daerah dapat digunakan standar luas daerah sebagai berikut :

1. Daerah dengan luas 250 ha yang mempunyai variasi topografi yang kecil, dapat diwakili dengan satu alat ukur hujan.
2. Daerah dengan luas antara 250 ha – 50.000 ha menggunakan 2 sampai 3 titik pengamatan yang kemudian diambil rata-ratanya.
3. Untuk daerah dengan luas antara 120.000 ha – 500.000 ha mempunyai titik pengamatan yang tersebar cukup merata dimana curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi topografi. Untuk kondisi seperti ini perhitungan curah hujan bisa menggunakan metode rata-rata aljabar, sedangkan apabila titik-titik pengamatan tersebar secara tidak merata maka dalam perhitungannya digunakan metode polygon thiessen.
4. Untuk daerah dengan luas wilayah lebih besar dari 500.000 ha dapat menggunakan metode Isohyet untuk menghitung curah hujan rerata.

Karena luas daerah studi adalah 81,5 ha, dan variasi topografinya kecil maka curah hujan pada daerah studi diwakili oleh satu stasiun penakar hujan.

Dalam metode aritmatik, tinggi hujan dapat dihitung dengan rumus (Soemarto, 1995) :

$$d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}$$

$$d = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \dots\dots\dots(2 - 1)$$

dengan :

- d : tinggi curah hujan rata-rata (mm)
- d₁, d₂,.....d_n : tinggi curah hujan di pos 1,2,.....n (mm)
- n : jumlah pos penakar hujan

Dari setiap hasil penjumlahan curah hujan maksimum dipilih yang paling tinggi untuk setiap tahunnya.

2.1.2. Curah hujan rancangan

Curah hujan rancangan maksimum adalah curah hujan terbesar tahunan yang mungkin terjadi di suatu daerah dengan kala ulang tertentu. Ada beberapa metode yang dapat dipakai untuk menghitung curah hujan rancangan antara lain, metode Gumbel, Log Normal, Log Pearson type III, dan lain-lain. Dalam kajian ini metode yang digunakan untuk menghitung curah hujan rancangan adalah metode Log Pearson type III.

Berikut ini adalah proses perhitungan curah hujan rancangan dengan menggunakan metode Log Pearson type III (Soemarto, 1987 :243)

1. Mengubah curah hujan harian maksimum dalam bentuk logaritma.
2. Menghitung nilai rerata logaritma, dengan rumus :

$$\overline{\text{Log X}} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \dots\dots\dots(2 - 2)$$

3. Menghitung besarnya standar deviasi dengan rumus :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X_i})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(2 - 3)$$

4. Menghitung koefisien kemencengan dengan rumus :

$$C_s = \frac{\sum (\log X_i - \overline{\log X_i})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots(2-4)$$

5. Menghitung nilai logaritma data curah hujan dengan kala ulang tertentu :

$$\text{Log } X = \overline{\log X} + G.S \dots\dots\dots(2-5)$$

dimana :

Log X : logaritma besarnya curah hujan untuk periode ulang T tahun

$\overline{\log X}$: rata-rata nilai logaritma dari hujan maksimum tahunan (mm)

S : standar deviasi

G : faktor sifat distribusi Log Pearson type III yang merupakan fungsi koefisien kepeencengan (Cs) terhadap waktu ulang (T) atau probabilitas (P), besarnya G dapat dilihat di tabel

6. Menghitung antilog dari log X untuk mendapatkan besarnya curah hujan rancangan.

2.1.3. Uji Kesesuaian Distribusi

Perhitungan uji kesesuaian disatribusi bertujuan untuk mengetahui kebenaran suatu hipotesa, sehingga diketahui :

1. Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang didapatkan secara teoritis atau diharapkan.
2. Kebenaran hipotesa (hasil distribusi diterima atau diolak)

Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah Uji *Smirnov Kolmogorof* dan *Chi Square*.

1.1.3.1. Uji Smirnov Kolmogorov

Uji Smirnov Kolmogorov digunakan untuk membandingkan peluang yang paling maksimum antara distribusi empiris dan teoritisnya. Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Data diurutkan dari kecil ke besar
2. Menghitung peluang empiris (Sn) dengan rumus Weibull

$$S_n(X) = \frac{m}{n+1} \dots\dots\dots(2-6)$$

dimana : Sn(X) : posisi antara X menurut data pengamatan

m : nomer urut data

n : banyaknya data

- Menghitung peluang teoritis (P_x) dengan rumus

$$P_x = 1 - P_r$$

dimana : P_r : probabilitas terjadi

- Menghitung simpangan maksimum (Δ) dengan rumus

$$\Delta_{maks} = |P_x(X) - S_n(X)| \dots\dots\dots(2 - 7)$$

- Menentukan nilai Δ_{cr} dari tabel
- Menyimpulkan hasil perhitungan yaitu apabila $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$, maka distribusi terpenuhi dan jika $\Delta_{maks} > \Delta_{cr}$ maka distribusi tidak terpenuhi.

1.1.3.2. Uji Chi Square

Uji Chi Square digunakan untuk menguji distribusi pengamatan, apakah sampel memenuhi syarat distribusi yang diuji atau tidak. Prosedur perhitungan uji *Chi Square* adalah sebagai berikut :

- Menentukan jumlah kelas dengan menggunakan metode *Sturges*

$$K = 1 + 3,22 \log n \dots\dots\dots(2 - 8)$$

dimana : K : jumlah kelas

n : banyaknya data yang akan dikelompokkan

Untuk menentukan interval kelas dihitung dengan rumus :

$$I = \frac{\text{Nilai data terbesar} - \text{Nilai data terkecil}}{\text{Jumlah kelas}} \dots\dots\dots(2 - 9)$$

- Membuat kelompok kelas sesuai dengan jumlah kelas

- Menghitung frekuensi pengamatan, $O_j = \frac{n}{\text{jumlah kelas}} \dots\dots\dots(2 - 10)$

- Mencari besarnya curah hujan yang masuk dalam batas kelas, E_j

- Menghitung X^2_{hitung} dengan rumus :

$$X^2_{hitung} = \frac{\sum_{j=1}^k (O_j - E_j)^2}{E_j} \dots\dots\dots(2 - 11)$$

- dimana : X^2_{hitung} : nilai Chi Square hitung
- k : jumlah kelas
- O_j : frekuensi kelas ke-j
- E_j : frekuensi teoritis kelas ke-j

6. Menentukan X^2 dari tabel dengan menentukan taraf signifikan (α) dan derajat kebebasan (v). Nilai derajat kebebasan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$v = k - 1 - m \dots\dots\dots(2 - 12)$$

- dengan : v : derajat kebebasan
- k : jumlah kelas distribusi
- m : parameter

7. Menyimpulkan hasil perhitungan yaitu apabila $X^2_{maks} < X^2_{cr}$, maka distribusi terpenuhi dan jika $X^2_{maks} > X^2_{cr}$ maka distribusi tidak terpenuhi.

1.2. Perencanaan Sistem Drainase

2.2.1. Sistem Pengumpulan dan Penyaluran Air Buangan

Pada sistem pengumpulan atau penyaluran air buangan yang perlu diperhatikan adalah jenis air buangan. Air buangan ada dua macam, yaitu air hujan dan air limbah rumah tangga. Berdasarkan macam air buangannya, maka sistem penyalurannya dapat dibagi menjadi tiga, yaitu :

1. Sistem kombinasi atau sistem interseptor

Sistem kombinasi atau tercampur merupakan perpaduan antara saluran air buangan dan air hujan dimana pada musim hujan, air buangan dan air hujan tercampur pada satu saluran. Kedua sistem ini tidak tercampur tetapi dihubungkan dengan pipa interseptor.

2. Sistem terpisah

Air kotor dan air hujan dilayani oleh sistem saluran masing-masing secara terpisah. Pemilihan sistem ini didasarkan pada pertimbangan bahwa air kotor harus diolah terlebih dahulu sebelum dialirkan ke badan air sedangkan air hujan tidak perlu.

3. Sistem tercampur

Air hujan dan air limbah disalurkan melalui satu saluran yang sama. Sistem ini umum dipakai karena tidak perlu membuat saluran yang berbeda. Namun, disaat musim hujan sering terjadi luapan karena saluran tersumbat sampah atau endapan air limbah. Selain itu, pada musim kemarau ketika saluran hanya terisi dengan air limbah, biasanya saluran berwarna hitam dan menimbulkan bau

2.2.2. Perhitungan Debit Sistem Drainase

2.2.2.1. Limpasan Permukaan

Debit air hujan didasarkan pada limpasan air hujan yang terjadi dan tingkat aliran puncak dengan variabel yang diorientasikan pada intensitas hujan selama waktu konsentrasi dan luas daerah pengaliran. Untuk menghitung debit air hujan yang melimpas pada suatu permukaan lahan digunakan rumus metode Rasional (Subarkah, 1980:48)

$$Q = k \cdot C \cdot I \cdot A \dots \dots \dots (2 - 13)$$

Dengan :

Q : debit banjir maksimum (m³/dt)

k : konstanta

: 0,002778 untuk luas lahan dalam satuan Ha

: 0,2778 untuk luas lahan dengan satuan km²

C : koefisien pengaliran

I : intensitas hujan rerata selama waktu tiba banjir (mm/jam)

A : Luas daerah pengaliran

2.2.2.2. Waktu Konsentrasi

Pada prinsipnya waktu konsentrasi dapat dibagi menjadi (Anonim, 1997:13)

1. *Inlet time* (to), yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di atas permukaan tanah menuju saluran drainase terdekat.
2. *Conduit time* (td), yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir disepanjang saluran sampai titik control yang ditentukan di bagian hilir.

Waktu konsentrasi dihitung dengan teoritis, tetapi karena daerah yang diukur

tidak terlalu besar, maka besarnya waktu konsentrasi dihitung dengan menggunakan rumus Kirpich berikut (Suripin, 2004)

$$T_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \dots\dots\dots(2 - 14)$$

dimana :

- Tc : waktu konsentrasi (jam)
- L : panjang aliran (Km)
- S : kemiringan rerata

Untuk menghitung waktu konsentrasi dapat juga digunakan rumus sebagai berikut

:

$$T_c = t_o + t_d \dots\dots\dots(2 - 15)$$

Dengan :

$$t_o = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right) \text{menit} \dots\dots\dots(2 - 16)$$

dan

$$t_d = \frac{L_s}{60V} \text{ menit} \dots\dots\dots(2 - 17)$$

dimana :

- n : angka kekasaran manning
- S : kemiringan lahan
- L : panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m)
- Ls : panjang lintasan aliran di dalam saluran (m)
- V : kecepatan aliran di dalam saluran (m/dt)

2.2.2.3. Intensitas Hujan

Intensitas hujan didefinisikan sebagai tinggi curah hujan per satuan waktu. Untuk mendapatkan intensitas hujan selama waktu konsentrasi digunakan rumus *Mononobe* (Subarkah, 1980:20) sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right) \dots\dots\dots(2 - 18)$$

dengan :

I : intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

R₂₄ : curah hujan maksimum harian selama 24 jam

T_c : waktu konsentrasi

1.2.2.4. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah besarnya perbandingan antara jumlah air yang mengalir di suatu daerah akibat turunnya hujan dengan jumlah hujan yang turun di daerah tersebut. Besarnya koefisien pengaliran dipengaruhi oleh tata guna lahan, kemiringan tanah, jenis permukaan tanah yang dilalui air hujan, iklim dan faktor-faktor meteorologi (Subarkah, 1982:51).

Berikut ini adalah tabel besarnya koefisien pengaliran untuk bermacam-macam tipe permukaan :

Tabel 2.1. Tabel Koefisien Pengaliran

Tipe Permukaan	Harga C
Seluruh permukaan atap rapat air	0,75 – 0,95
Perkerasan landasan pacu dengan aspal	0,80 – 0,95
Perkerasan landasan pacu dengan beton	0,70 – 0,95
Perkerasan makadam	0,35 – 0,70
Tanah kedap air (berat)*	0,40 – 0,65
Tanah kedap air, dengan rumput*	0,30 – 0,55
Tanah sedikit tembus air*	0,15 – 0,40
Tanah sedikit tembus air, dengan rumput*	0,10 – 0,30
Tanah tembus air sedang*	0,05 – 0,20
Tanah tembus air sedang, dengan rumput*	0,00 – 0,10

*untuk kemiringan (1 – 2)%

sumber : Robert Horonjeff, 1993:204

Untuk mengetahui koefisien pengaliran suatu daerah yang terdiri dari beberapa jenis tata guna lahan dapat ditentukan dengan mengambil harga rata-rata koefisien jenis tata guna lahan, yaitu dengan mempertimbangkan bobot masing-masing bagian sesuai dengan luas daerah yang diwakili (Suhardjono, 1984).

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i C_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

2.3. Sistem Penyaluran Air Limbah

2.3.1. Definisi Air Limbah

Secara umum air limbah didefinisikan sebagai cairan buangan yang berasal dari industri, rumah tangga, atau tempat umum yang mengandung bahan atau zat yang dapat membahayakan kehidupan manusia dan mengganggu kelestarian lingkungan hidup (sugiharto, 1987:5)

2.3.2. Efek Buruk Air Limbah

Sesuai dengan definisinya bahwa air limbah merupakan bahan sisa, maka air limbah adalah bahan yang tidak diperlukan dan harus dibuang. Namun, tidak berarti bahwa air limbah tidak perlu diolah, karena apabila air limbah tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan gangguan. Adapun gangguan-gangguan tersebut adalah :

1. Gangguan terhadap kehidupan biotik

Dengan banyaknya zat pencemar pada air limbah maka akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut di dalam air limbah. Sehingga menimbulkan kehidupan di dalam air yang membutuhkan oksigen akan terganggu bahkan dapat menimbulkan kematian. Sebagai akibatnya air limbah akan sulit diuraikan.

2. Gangguan terhadap kerusakan benda

Apabila limbah memiliki pH rendah atau bersifat asam maupun pH tinggi yang bersifat basa, maka akan menimbulkan kerusakan pada benda-benda yang dilaluinya. Lemak yang merupakan sebagian dari komponen air limbah mempunyai sifat menggumpal pada suhu udara normal dan akan menjadi cair pada suhu yang lebih panas. Lemak pada limbah cair dapat menumpuk secara kumulatif dan menempel pada saluran yang pada akhirnya dapat menyumbat aliran air limbah.

3. Gangguan terhadap kesehatan

Air limbah sangat berbahaya bagi kesehatan manusia mengingat bahwa banyak penyakit yang ditularkan melalui air limbah. Air limbah banyak mengandung bakteri patogen yang dapat menyebabkan penyakit karena berfungsi sebagai media pembawa penyakit, seperti kolera, radang usus, disentri dan sebagainya. Selain itu air limbah juga mengandung kuman penyakit, bahan-bahan beracun, penyebab iritasi dan bau.

4. Gangguan terhadap keindahan

Selain dapat menimbulkan bau yang menusuk hidung, kandungan zat organik

pada air limbah yang meniskus juga dapat menimbulkan gangguan pemandangan bila telah menumpuk. Oleh sebab itu air limbah harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai.

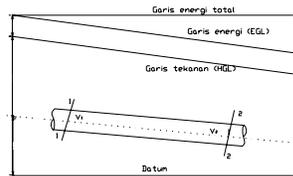
2.3.3. Analisis Hidrolika

2.3.3.1. Aliran Melalui Pipa

Dalam analisa melalui pipa, persamaan dasar yang digunakan adalah persamaan kontinuitas dan persamaan Bernoulli yang mempunyai bentuk dasar sebagai berikut :

a. Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa adalah jumlah energi kecepatan, energi tekanan dan energi ketinggian. Apabila tidak ada energi yang lolos atau diterima antara dua titik dalam satu sistem tertutup, maka energi totalnya tetap konstan.



$$\frac{V_1^2}{2.g}$$

H_L

$$\frac{P_1}{\gamma}$$

$$\frac{V_2^2}{2.g}$$

$$\frac{P_2}{\gamma}$$

$$Z_1$$

$$Z_2$$

Gambar 2.3. Diagram garis energi dan garis tekanan

Hukum kekekalan energi berdasarkan gambar di atas dapat dinyatakan sebagai :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + H_L \dots\dots\dots(2 - 21)$$

dengan :

Z_1, Z_2 : Tinggi elevasi di titik 1 dan 2 terhadap garis yang ditinjau (m)

$\frac{P_1}{\gamma_1}, \frac{P_2}{\gamma_2}$: Tinggi tekan di titik 1 dan 2 (m)

P_1, P_2 : Tekanan di titik 1 dan 2 (kg/m²)

γ_w : Berat jenis (kg/m³)

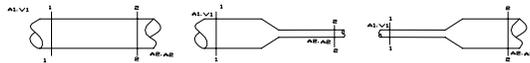
$\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g}$: tinggi energi di titik 1 dan 2 (m)

V_1, V_2 : kecepatan di titik 1 dan 2 (m/dt)

g : percepatan grafitasi (m/dt²)

H_L : Kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)

b. Hukum Kontinuitas



Prinsip kontinuitas yang dimaksud adalah besarnya debit yang masuk dalam suatu suatu sistem perpipaan adalah sama dengan debit yang keluar dari sistem perpipaan tersebut.

(a)

(b)

(c)

Gambar 2.2. (a) Pipa lurus (b) Penyempitan pipa (c) Pelebaran pipa

Rumusan hukum kontinuitas untuk aliran dalam pipa seperti gambar di atas

adalah sebagai berikut :

$$Q_1 = Q_2 \dots \dots \dots (2 - 22)$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \dots \dots \dots (2 - 23)$$

Dimana

Q_1, Q_2 = Debit pada potongan 1,2 (m^3/dt)

A_1, A_2 = luas penampang pada potongan 1,2 (m^2)

V_1, V_2 = kecepatan pada potongan 1, 2 (m/dt)

Dalam perencanaan hidrolis pada saluran tertutup, kehilangan tinggi tekan merupakan hal yang sangat diperhitungkan. Kehilangan tinggi tekan di sepanjang pipa pengaliran terdiri dari (Triatmodjo, 1996:26)

1. Kehilangan tinggi tekan akibat gesekan antara aliran dengan dinding saluran. Besarnya kehilangan tinggi tekan akibat gesekan dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy Weisbach sebagai berikut :

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (2 - 24)$$

dengan

h_f : kehilangan tinggi tekan karena gesekan (m)

f : koefisien gesekan Darcy Weisbach

L : panjang pipa

d : diameter pipa (m)

V : kecepatan aliran (m/dt)

g : percepatan gravitasi (m/dt^2)

2. Kehilangan tinggi tekan minor disebabkan karena adanya tikungan, sambungan, diafragma dan kontraksi. Secara umum kehilangan tinggi tekan minor ini dinyatakan dengan rumus :

$$h_{Lm} = K \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (2 - 25)$$

dengan :

h_{Lm} : kehilangan tinggi tekan minor (m)

V : kecepatan aliran (m/dt)



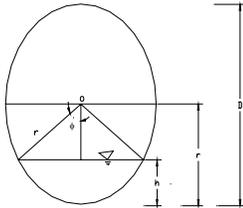
G : percepatan gravitasi (m/dt²)

K : koefisien yang bergantung dari bentuk tikungan atau hambatan yang lain dengan nilai-nilai yang tertera pada tabel berikut :

Tabel 2.2. Koefisien Kehilangan tinggi tekan untuk komponen pipa

Komponen	Koefisien Kehilangan (K)	Komponen	Koefisien Kehilangan (K)
Belokan dengan sudut α		Pengecilan Mengerucut	
-2 20°	-12 0,05	-22 D ₂ /D ₁ = 0,80	-31 0,05
-3 40°	-13 0,14	-23 D ₂ /D ₁ = 0,50	-32 0,07
-4 60°	-14 0,36	-24 D ₂ /D ₁ = 0,20	-33 0,08
-5 80°	-15 0,74		
-6 90°	-16 0,98	Pembesaran mendadak	
Bagian masuk		-25 D ₂ /D ₁ = 0,80	-34 0,16
-7 Aliran searah	-17 0,6	-26 D ₂ /D ₁ = 0,50	-35 0,57
-8 Aliran bercabang	-18 1,8	-27 D ₂ /D ₁ = 0,20	-36 0,92
Pengecilan mendadak		Pembesaran mengerucut	
-9 D ₂ /D ₁ = 0,80	-19 0,18	-28 D ₂ /D ₁ = 0,80	-37 0,03
-10 D ₂ /D ₁ = 0,50	-20 0,37	-29 D ₂ /D ₁ = 0,50	-38 0,08
-11 D ₂ /D ₁ = 0,20	-21 0,49	-30 D ₂ /D ₁ = 0,20	-39 0,13

Sumber: Haested, 2001 :293



Perencanaan hidrolis aliran melalui pipa dihitung berdasarkan pendekatan rumus Manning (Chow, 1997:26) dengan penjelasan gambar sebagai berikut :

Gambar 2.3. Sketsa penampang melintang aliran melalui pipa

Berdasarkan gambar tersebut, maka tinggi muka air dapat dihitung dengan persamaan-persamaan berikut :

$$\cos \theta = \frac{r - h}{r}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 - \left[\left\{ \frac{1}{4} \pi D^2 x \frac{360^\circ - 2\theta}{360^\circ} \right\} + \{r(\sin \theta \cos \theta)\} \right] \dots\dots\dots(2-27)$$

$$P = \frac{2\theta}{360^\circ} \pi D \dots\dots\dots(2-28)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots(2-29)$$

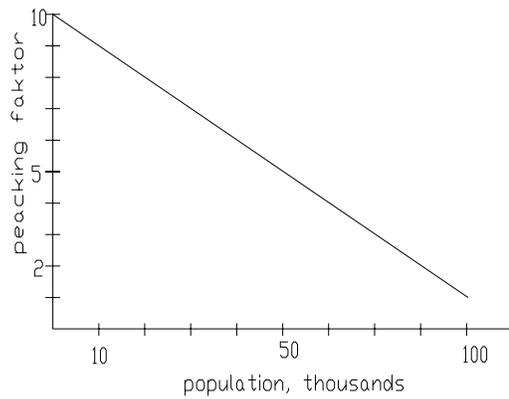
$$V = \frac{1}{n} .R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots(2-30)$$

$$Q = AV \dots\dots\dots(2-31)$$

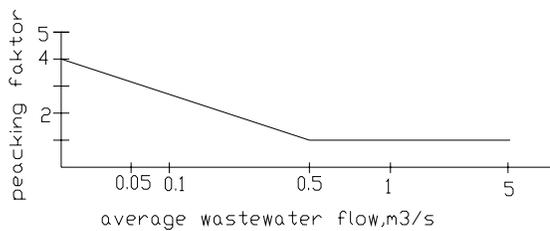
dimana :

- r : jari-jari pipa (m)
- h : tinggi muka air di dalam pipa (m)
- D : diameter pipa (m)
- A : luas penampang saluran (m²)
- P : keliling basah saluran (m)
- R : jari-jari hidrolik (m)
- V : kecepatan aliran (m/dt)
- n : koefisien manning
- S : kemiringan saluran / *slope*
- Q : debit yang melalui saluran (m³/dt)





Dalam perencanaan sistem penyaluran air limbah perlu diperhitungkan besarnya fluktuasi debit air limbah. Oleh karena itu, perlu ditentukan pula besarnya debit puncak. Besarnya debit puncak dalam perencanaan ini mengikuti rumus berikut (Indah S. Pandebesie, 2002:V.47)



Gambar 2.4. Grafik factor puncak

Sumber : Wiley, John & Sons, 1978

1.3.3.2. Kriteria Perencanaan Penyaluran Air Limbah

Perletakan saluran air limbah diharapkan harus memberikan (Indah S. Pandebesie, dkk. 2002:IV.12)

1. Proses *self cleaning* (kemampuan membersihkan diri), yaitu kemampuan dari pipa untuk mencegah terjadinya pengendapan partikel
2. Pengaliran secara gravitasi, dimaksudkan untuk menghindari pemompaan aliran karena dapat menambah biaya.
3. Pola debit puncak, kedalaman aliran tidak boleh melebihi 80% dari diameter pipa.
4. Kecepatan aliran minimum pada pipa harus tercukupi, hal ini selain untuk menghindari terjadinya sedimentasi, juga untuk mencegah pembentukan *sulfida* (H_2S). Pada umumnya, penentuan kemiringan pipa (*slope*) saluran didesain sedemikian rupa sehingga kecepatan minimum aliran harus 0,6 m/dt.
5. pada umumnya, untuk perencanaan kecepatan maksimum air dibatasi pada kecepatan 3 m/dt agar aliran tidak mengakibatkan penggerusan pada dinding pipa khususnya pipa yang terbuat dari beton.
6. Keamanan yaitu menjaga kontak dengan udara, tanah ataupun air yang dapat membahayakan kesehatan dengan cara saluran air limbah dibuat tertutup.

Berikut ini disajikan tabel estimasi penentuan kemiringan pipa berdasarkan debit aliran yang masuk, sehingga kecepatan aliran maksimumnya tidak melebihi 3 m/dt dan kecepatan aliran minimumnya tidak kurang dari 0,6 m/dt.

Tabel 2.3. Kemiringan pipa yang diperlukan berdasarkan debit aliran

Debit aliran (m^3/dt)	<i>Slope</i> (per 1000 m)
0.0028	9.2
0.0056	6.1
0.0085	4.8
0.1130	4.1
0.0170	3.22

1.4. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

2.4.1. Prinsip Pengolahan Air Limbah

Prinsip utama pengolahan air limbah adalah untuk mengurangi BOD, partikel tercampur, serta membunuh organisme tercampur patogen. Selain itu diperlukan juga tambahan pengolahan untuk menghilangkan bahan nutrisi, komponen beracun, serta bahan yang tidak dapat didegradasikan agar konsentrasi yang ada menjadi rendah (Sugiharto, 1987:95). Pengolahan air limbah adalah suatu kombinasi dari proses fisis dan biologis, kadang-kadang ditambah dengan proses kimiawi. Proses fisis yang umum adalah penyaringan, pamarutan, dan penghilangan bahan butiran dan padatan terlarut organik dengan sedimentasi. Proses biologis melibatkan peranan bakteri, ganggang dan eceng gondok, sampai saat ini masih merupakan alternatif yang tepat dan banyak dipilih di Indonesia. Proses kimiawi untuk saat ini masih mengandalkan klorinasi.

Secara garis besar kegiatan pengolahan air limbah dikelompokkan menjadi enam bagian, yaitu :

1. Pengolahan pendahuluan (*pre treatment*)
Pengolahan pertama bertujuan untuk menyaring kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat, memisahkan lemak.
2. Pengolahan pertama (*primary treatment*)
Pengolahan ini bertujuan untuk menghilangkan zat padat tercampur melalui pengendapan atau pengapungan.
3. Pengolahan kedua (*secondary treatment*)
4. Pengolahan ketiga (*tertiary treatment*)
5. Pembunuhan kuman (*desinfection*)
6. Pembuangan lanjutan (*ultimate disposal*)

Dari setiap fase di atas terdapat beberapa jenis pengolahan limbah yang dapat diterapkan. Dari beberapa jenis tersebut akan dipilih salah satu yang memberikan manfaat terbaik. Selain itu, perlu diketahui bahwa untuk mengolah air limbah tidaklah harus mengikuti tahap-tahap yang di atas, akan tetapi perlu diadakan penyesuaian dengan kebutuhan yang ada. Dengan demikian setiap unit bangunan pengolah air limbah akan berbeda-beda teknik yang dipergunakan dan tidak semua tahap perlu dilalui.

Adapun proses pengolahan air limbah secara umum adalah sebagai berikut :

1. Penyaringan

Sebelum mengalami proses pengolahan perlu dilakukan pembersihan-pembersihan agar mempercepat dan memperlancar proses pengolahan selanjutnya. Adapun kegiatan tersebut berupa pengambilan benda terapung seperti pasir, padatan terapung atau yang ikut melayang bersama air.

Penyaringan dilakukan untuk memisahkan padatan tidak larut serta bahan kasar yang bentuknya cukup besar. Bahan saringan yang umum dipakai adalah kawat baja yang dianyam atau jeruji besi.

2. Bak pengendap pasir

Bak pengendap pasir dibuat untuk menghilangkan kotoran-kotoran seperti tanah, pasir, bahan tercampur dan padatan halus melalui pengendapan atau pengapungan.

3. Kolam pematangan

Setelah melewati kolam aerasi fakultatif, air limbah dialirkan ke kolam pematangan.

4. Bak pengering Lumpur

Lumpur yang terdapat dalam limbah perlu diolah secara khusus agar dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Dalam tahap ini dilakukan proses pengeringan yang menampung lumpur dari sisa pengolahan. Lumpur yang sudah kering nantinya akan dibuang ke tempat pembuangan akhir atau digunakan sebagai media tanam.

2.4.2. Instalasi Pengolahan Air Limbah Tangki AG

Tangki AG terdiri dari tangki beton, dan enam bak penampungan. Air bekas cucian, mandi dan pembuangan dari WC bisa dibersihkan di instalasi ini. Tangki betonnya berdiameter 1,20 meter dan tingginya 2 meter. Di dalamnya disekat menjadi dua bagian. Penyekatnya beton setebal 10 sentimeter yang berlubang-lubang. Penyekat ini dimaksudkan untuk menghancurkan kotoran yang dibawa limbah cair dari perumahan, katakanlah sebagai saringan.

Dari setiap rumah, limbah cair ini dialirkan melalui pipa berdiameter 3 inci, kemudian menyatu dan disalurkan ke dalam tangki AG dengan menggunakan pipa

berdiameter 4 inci. Tangki ini mampu menampung dan menyaring limbah cair, termasuk kotoran, dari 500 rumah.

Proses penyaringannya tidak memerlukan peralatan apa-apa, selain balok beton dan balok saringan tadi. Juga tidak dengan digerakkan atau memakai zat kimia.

Penyaringan dan penghancuran kotoran ini memanfaatkan sifat air yang mengalir deras kalau disalurkan dari atas ke bawah. Karena itulah tangki AG harus dibangun lebih rendah dari perumahan. Kemiringan pipa-pipa saluran pembuangan limbah, termasuk pipa sentral minimal 30 derajat.

Air limbah yang telah disaring dan kotorannya sudah dihancurkan ini tidak langsung dibuang ke sungai, tapi diproses lagi di dalam kolam penampungan yang berukuran panjang 8 meter, lebar 3 m, dan dalamnya 1,5 meter. Dasarnya berplester semen, serta pinggirnya ditembok beton supaya kuat dan tahan lama.

Kolam tersebut disekat-sekat menjadi 5 bak; tiga bak untuk pengendapan, satu untuk penampungan limbah, dan satu lagi untuk pemanfaatan air sebelum dibuang ke sungai. Bak untuk pengendapan pertama, ukurannya lebih besar, dan untuk penampungan limbah berukuran kecil, bak pengendapan kedua dan ketiga berukuran sedang.

Di bak pengendapan kedua dan ketiga ini setengahnya harus ditanami eceng gondok. Gunanya eceng gondok untuk menyerap logam berat. Disamping diberi eceng gondok, dalam kolam penampungan biasanya diberikan ikan lele yang berfungsi sebagai media untuk mengetahui adanya limbah kimia. Sehingga air yang masuk ke bak penampungan terakhir sudah benar-benar aman untuk dibuang ke sungai. Paling tidak kandungan limbahnya dalam batas ambang normal.

Berikut ini adalah gambar dari instalasi tangki AG :

Gambar 2.5. Tangki septik

Gambar 2.6. Denah instalasi pengolahan limbah rumah tangga sistem AG

1.5. Analisa Biaya

2.5.1. Volume Pekerjaan Satuan

Volume pekerjaan satuan adalah menghitung banyaknya pekerjaan dalam satu satuan. Volume pekerjaan juga sering disebut sebagai kubikasi pekerjaan bukan merupakan volume (isi) yang sesungguhnya melainkan jumlah volume bagian pekerjaan dalam satu kesatuan. Volume pekerjaan dapat dihitung dengan satuan m^3 (isi), m^2 (luas) dan m' (panjang)

2.5.2. Harga Satuan Pekerjaan

Harga satuan pekerjaan merupakan gabungan dari harga bahan dengan besar upah pekerja. Harga satuan pekerjaan ini biasanya memakai analisa biaya BOW (*Burgerlijke Openbare Werkan*). Sebagai contoh adalah sebagai berikut:

Untuk mengerjakan pekerjaan 1 m^3 galian tanah biasa diperlukan tenaga dan biaya dari 0,75 pekerja dan 0,025 mandor.

2.5.3. Rencana Anggaran Biaya

Rncana anggaran biaya merupakan perhitungan biaya-biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan analisis tertentu dan biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan pekerjaan. Tujuan pembuatan rencana anggaran biaya adalah untuk memberikan gambaran mengenai bentuk atau konstruksi, besar biaya, dan pelaksanaan serta penyelesaian. Besar rencana anggaran biaya dapat dihitung dengan rumus :

$$RAB = \sum (\text{volume} \times \text{harga satuan pekerjaan})$$



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Kondisi daerah studi

Kelurahan Ketawanggede memiliki luas wilayah \pm 81,5 ha dengan batas-batas wilayah sebagai berikut :

Sebelah utara	: Kelurahan Dinoyo dan Kelurahan Jatimulyo
Sebelah selatan	: Kelurahan Sumpersari
Sebelah timur	: Kelurahan Penanggungan
Sebelah barat	: Kelurahan Dinoyo dan Kelurahan Sumpersari

Sebagian besar luas wilayah Kelurahan Ketawanggede adalah tanah milik Universitas Brawijaya (60%) dan selebihnya adalah lahan pemukiman dengan spesifikasi peruntukan lahan untuk jalan (8,5 ha), bangunan umum (30,5 ha), pekuburan (0,505 ha) dan penggunaan lahan untuk perkantoran sebesar 0,78 ha. (Sumber : Data Monografi Kelurahan Ketawanggede).

Kondisi sistem drainase di kelurahan Ketawanggede ini sebenarnya sudah baik. Pada umumnya di kelurahan ini sudah menggunakan sistem drainase terpisah, tetapi karena kurangnya kepedulian masyarakat banyak sekali saluran drainase yang tertutup oleh tanah dan banyak juga saluran drainase yang tadinya terpisah menjadi tercampur kembali. Saluran-saluran yang berada pada setiap rumah bermuara pada tiga anak sungai. Air yang ada di anak sungai ini berwarna kehitaman karena sistem drainase terpisah yang ada tidak diimbangi dengan instalasi pengolahan air limbah sehingga air limbah yang mengalir ke anak sungai tetap menjadi limbah yang dapat menimbulkan berbagai macam penyakit.

3.2. Data-data yang diperlukan

Data-data yang diperlukan untuk menyelesaikan studi ini sesuai dengan batasan dan perumusan masalah pada bab I adalah sebagai berikut :

1. Peta stasiun penakar hujan atau peta polygon thiessen, yang digunakan untuk menentukan stasiun penakar hujan yang berpengaruh pada kelurahan Ketawanggede untuk analisis hidrologi.

2. Data curah hujan dari stasiun Pengairan FT Unibraw.
3. Peta topografi, tata guna lahan, luas lahan untuk mengkaji sistem drainase yang ada.
4. Jumlah rumah dan jumlah penduduk untuk mengetahui besarnya debit air buangan.

3.3. Langkah-langkah Penyelesaian Studi

Tahapan-tahapan yang akan dilakukan untuk menyelesaikan studi ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur dengan mengumpulkan teori yang mendukung.
2. Pengumpulan data
3. Analisis Hidrologi
 - a. Menghitung curah hujan maksimum.
 - b. Menghitung curah hujan rancangan dengan menggunakan metode Log Pearson Type III. Kemudian diuji secara vertikal dan horisontal untuk mengetahui kebenaran hipotesa yang dilakukan.
4. Menghitung debit rencana
 - c. Menghitung intensitas hujan dengan persamaan Mononobe
 - d. Menghitung Koefisien pengaliran
 - e. Menghitung debit air hujan rancangan (Q_{ah}) dengan metode Rasional.
 - f. Menghitung besarnya debit air limbah penduduk
5. Merencanakan sistem drainase air limbah
 - g. Menentukan jaringan saluran air limbah
 - h. Menghitung debit limbah rata-rata dan rencana maksimum (Q_{peak}).
 - i. Merencanakan dimensi pipa
 - j. Analisis hidrolika saluran air limbah
 - 2 Kedalaman aliran dan saluran
 - 2 Kecepatan aliran
 - 3 Kehilangan energi
 - k. Merencanakan dimensi bak pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan menggunakan beberapa alternatif IPAL
6. Perhitungan Analisa Ekonomi
 - a Menentukan besarnya biaya perbaikan saluran drainase
 - b Menentukan besarnya biaya pembuatan Instalasi Pengolahan Air Limbah

3.4. Diagram Alir Pengerjaan

Agar kajian yang dilakukan dapat mencapai tujuan, maka perlu adanya alur pengerjaan untuk menyelesaikan studi ini secara keseluruhan. Berikut ini adalah gambar diagram alir penyelesaian studi.

Gambar 3.1. Diagram alir kajian sistem drainase terpisah



BAB IV

PENGOLAHAN DATA

4.1. Analisis Hidrologi

4.1.1. Perhitungan Curah Hujan Rancangan

Perhitungan curah hujan rancangan menggunakan metode Log Pearson Type III, langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Mencari data curah hujan maksimum dari tiap tahun
2. Mengubah curah hujan harian maksimum dalam bentuk logaritma.
3. Menghitung nilai rerata logaritma, dengan rumus :

$$\begin{aligned}\overline{\text{Log X}} &= \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \\ &= \frac{19.9989}{10} = 1.9999\end{aligned}$$

4. Menghitung besarnya standar deviasi dengan rumus :

$$\begin{aligned}S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X_i})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{0.2052}{10-1}} = 0,151\end{aligned}$$

5. Menghitung koefisien kemencengan dengan rumus :

$$\begin{aligned}C_s &= \frac{\sum (\log X_i - \overline{\log X_i})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \\ &= \frac{0.0192}{9 \times 8 \times 0.151^3} = 0.0078\end{aligned}$$

6 Menghitung nilai logaritma data curah hujan dengan kala ulang tertentu :

$$\text{Log } X = \overline{\log X} + G.S$$

Untuk kala ulang 5 tahun

$$\begin{aligned} \log X &= 1,999 + 0,837 \times 0.151 \\ &= 2.126 \end{aligned}$$

Maka nilai curah hujan untuk kala ulang 5 tahun adalah antilog 2,126, yaitu sebesar 133,659 mm.

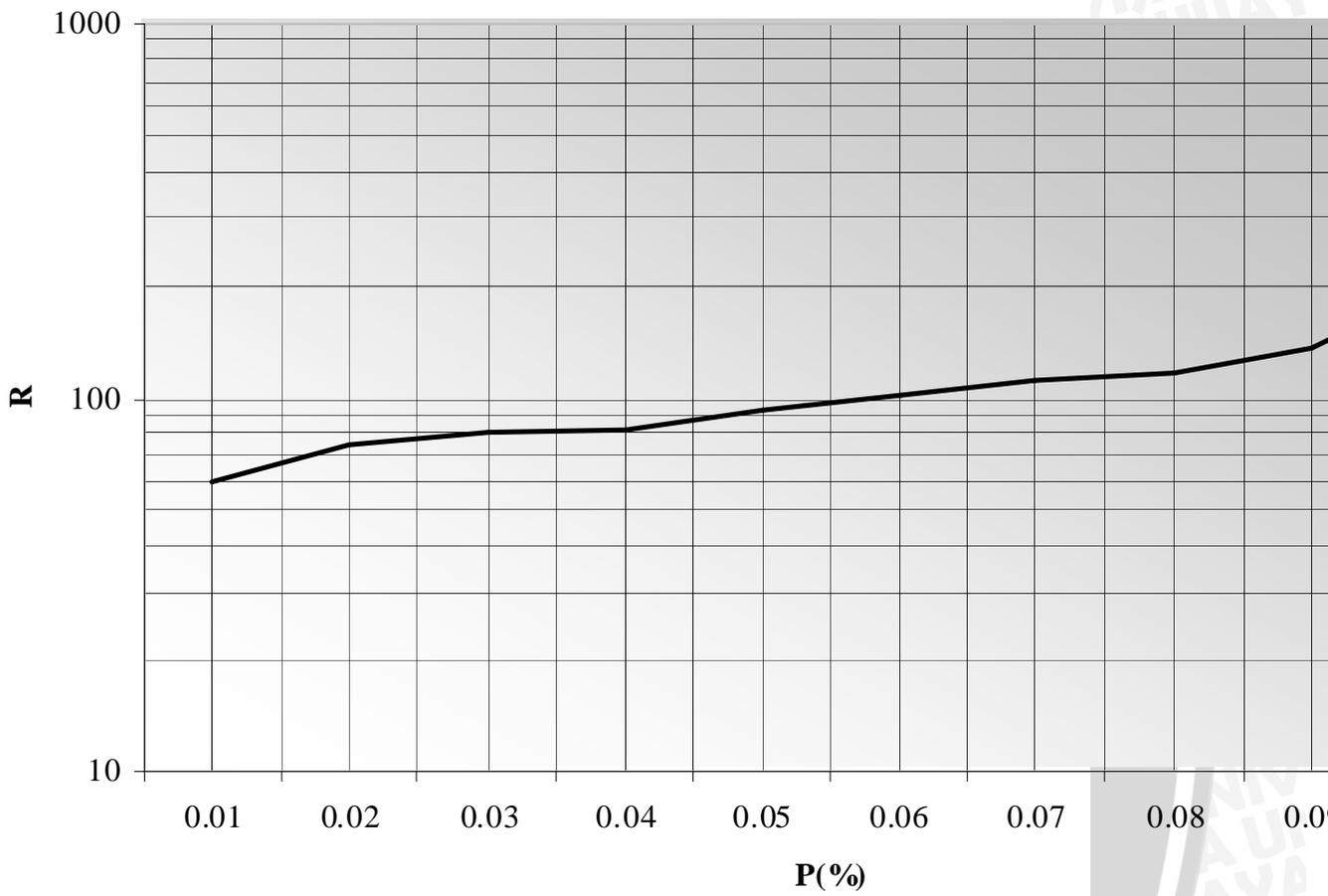
Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Perhitungan Hujan Rancangan dengan Metode Log Pearson Type III

II					I		I	
					d		o	
					e		n	
					P		Ty	
(m	m)							
19	9 0,0	484 -0	,0106 0	,01	1 1997		60,25 1	
28	0 0,0	164 -0	,0021 0	,02	2 2004		74,45 1	
09	68 0,	0094 -0	,0009 0	,03	3 2001		80,00	
,0	861 0	,0074 -	0,0006	0,04	4 199		6 82,00	
0,	0361	0,0013	0,0000	0,05	5 20		03 92,0	
0,	0076	0,0001	0,0000	0,06	6 19		99 101,	
0,0	503 0	,0025 0	,0001 0	,07	7 19		98 112,	
,0646 0		,0042 0,0	003 0,08	9	8 200		2 116,0	
,1304 0,01		70 0,002	2 0,09	10	9 1995 1		35,00 2	
,3140 0,09		86 0,03	10 0,10	J	10 2000 2		06,00 2	
9 0,0000	0,2052	0,0192			umlah 1		059,700	
t a	1	0	5				R	
9999	0,0000	0,0205	0,0019	S Deviasi	41,546	0,1510	0,151	0
	0,	0108	Sumber H sil	Perhitu	ngan			
	.2 Hu	n Ranc	angan	denga	n Me		tode Log	
II	ja			.2 Hu	jan		Ranca	
L	og	Pearso	n Type	III				

cangan dengan Metode Log Pear

s
o
n



Gambar 4.1 Grafik Log Pearson Type III

4.1.2. Uji Kesesuaian Distribusi
4.1.2.1. Uji Smirnov Kolmogorov

Pengujian ini didasarkan pada perbandingan probabilitas setiap data dari harga



empiris dan teoritis yang disebut Δ_{maks} . Adapun tahap-tahap perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Dari perhitungan curah hujan rancangan Log Pearson III diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\text{Log } X = \overline{\log X} + G.S$$

2. Misal perhitungan untuk data nomor 2, $X = 74,45$ mm, $\log X = 1,8719$ maka :

$$S_n = \frac{m}{n+1} = 0,1818$$

$$K = \frac{\log x - \overline{\log x}}{S} = -0,00903$$

dengan nilai $C_s = 0,151$ (dari tabel distribusi Log Pearson III)

$$P'(X<) = 100\% - P'(X) = 1 - 0,20554 = 0,79446$$

$$P'(X<) - P(X) = -0.02372$$

Tabel 4.3. Tabel distribusi Smirnov Kolmogorov

m	R	Log R	P(X)	P(X<)	f(t) = k	P'(X)	P'(X<)	D
1	60,25	1,780	0,091	0,909	-0,011	0,041	0,959	0,050
2	74,45	1,872	0,182	0,818	-0,009	0,206	0,794	-0,024
3	80,00	1,903	0,273	0,727	-0,008	0,300	0,700	-0,028
4	82,00	1,914	0,364	0,636	-0,008	0,336	0,664	0,028
5	92,00	1,964	0,455	0,545	-0,007	0,394	0,606	0,061
6	101,75	2,008	0,545	0,455	-0,006	0,465	0,535	0,081
7	112,25	2,050	0,636	0,364	-0,005	0,600	0,400	0,037
8	116,00	2,064	0,727	0,273	-0,004	0,859	0,141	-0,132
9	135,00	2,130	0,818	0,182	-0,003	0,898	0,102	-0,080
10	206,00	2,314	0,909	0,091	0,002	0,902	0,098	0,007
Jumlah	41,546	19,999					Max	0,081

Sumber : hasil perhitungan

3. Dari hasil perhitungan uji Smirnov Kolmogorov didapatkan $\Delta_{maks\ hit} = 0,081$
4. Dengan mengambil derajat kepercayaan 5% dengan jumlah data 10 didapatkan $\Delta_{cr} = 0,41$ (tabel distribusi Smirnov Kolmogorov)
5. $\Delta_{maks\ hit} < \Delta_{cr}$ maka distribusi diterima

4.1.2.2. Uji Chi Square

Perhitungan uji Chi Square digunakan untuk menguji sampel secara vertikal.

Tahap-tahap perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Menghitung banyaknya kelas $K = 1 + 3,3 \log n$, dengan n adalah banyaknya data.

Maka $K = 1 + 3,3 \log 10 = 4.3$

Diambil empat kelas

Batas kelas dengan sebaran masing-masing $\frac{100\%}{K} = \frac{100\%}{4} = 25 \%$

2. Tabel sebaran peluang $C_s = 0,151$

Tabel 4.4. Tabel sebaran peluang

Pr	G	Log X	X
0,75	-0,7295	1,889746	77,5793
0,50	-0,0614	1,990629	97,8654
0,25	0,7459	2,112531	129,5779

Sumber : hasil perhitungan

3. Membuat interval kelas untuk masing-masing kelas berdasarkan peluang tiap kelas.

Perhitungan ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.5. Tabel uji Chi Square

Kelas	Oj	Ej	(Oj-Ej) ²	X ²
< 77,5793	2	2,5	0,25	0,04
77,5793 - 97,8654	3	2,5	0,25	0,04
97,8654 - 129,5779	3	2,5	0,25	0,04
> 129,5779	2	2,5	0,25	0,04
	Jumlah			0,16

Sumber :hasil perhitungan

4. Dari perhitungan tabel 4.5. didapatkan $X^2_{hit} = 0,16$
5. Dengan mengambil derajat kepercayaan sebesar 5% dan jumlah data sebesar 10 didapatkan $X^2_{cr} = 3,841$
6. Karena $X^2_{hit} < X^2_{cr}$ maka distribusi terpenuhi

4.2. Perencanaan Saluran Drainase

4.2.1. Evaluasi Saluran Air Hujan

4.2.1.1. Perhitungan Debit Air Hujan

Besarnya debit limpasan dalam kajian dihitung dengan rumus rasional. Beberapa

faktor yang mempengaruhi debit limpasan adalah sebagai berikut :

1. Daerah pengaliran

Penentuan daerah alir berdasarkan kondisi topografi. Dalam hal ini dapat dilihat pada gambar tata guna lahan.

2. Intensitas curah hujan

Perhitungan besarnya intensitas curah hujan pada kajian ini menggunakan rumus mononobe dengan perhitungan sebagai berikut :

Direncanakan :

Panjang Saluran : 100 m

Slope : 0,001

Waktu Konsentrasi :

$$T_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385}$$

$$T_c = \left(\frac{0,87 \times 100^2}{1000 \times 0,001} \right)^{0,385}$$

$$T_c = 32,86 \text{ menit} = 0,5477 \text{ jam}$$

Sehingga besarnya intensitas hujan adalah

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = \frac{133,659}{24} \left(\frac{24}{0,5477} \right)^{\frac{2}{3}} = 69,552 \text{ mm/jam}$$

3. Koefisien Pengaliran

Harga koefisien pengaliran yang digunakan ditentukan dengan mengambil harga rata-rata koefisien pengaliran dari setiap tata guna lahan yaitu dengan menghitung masing-masing bagian sesuai dengan luas penggunaan lahan pada daerah kajian.

Tabulasi penentuan koefisien limpasan untuk daerah kajian disajikan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Perhitungan Koefisien pengaliran

Saluran	Penggunaan Lahan (C) C.	Luas (A) Km ² A	Koef Pengaliran (C)) C.A	C.A
			.A	
	(C) C.	A	C	.A
	A			(C) C.A
	mah 2625.10 ⁻⁶	0,90 2362	,5.10	-6
2,	5.10 ⁻⁶		6	2,5.10 ⁻⁶

Jal

an (aspal) 230.10⁻⁶

6 0,85 195,5.10⁻⁶

Jumlah 2855.10⁻⁶ - 2558.10⁻⁶ Rumah 2625.10⁻⁶ 0,90 2362

,5.10⁻⁶ Jalan (aspal

) 230.10⁻⁶ 0,85 195,5.10⁻⁶ **Jumlah 2855.1**

0⁻⁶ 2558.10⁻⁶ Sumber

: hasil perhitungan Saluran kana

n : $\sum A$ 2000.10

Saluran kiri: $\sum A$ 2000.10

ahui intensitas hujan dan koefisien pengal

iran, selanjutnya dihitung besarnya de

bit limpasan dengan ru

mus Rasional. Perencanaan perhitunganga

n untuk saluran

kanan : - Kala ulang : 5 tahun - Koefisien pengaliran : 0,896 - Intens

itas hujan : 69,552 mm/jam - Luas daerah pengaliran : 2855.10⁻⁶ km² Maka besarn

debit limpasan adalah : $Q = 0,2778 \cdot C \cdot I \cdot A = 0,2778 \cdot 0,896 \cdot 69,552$

$\cdot 2855.10^{-6} = 0,0494 \text{ m}^3/\text{dt}$ Mengingat nilai

parameter yang digunakan untuk m

enentukan de

bit limpas

an yang akan masuk saluran kiri adalah

sama dengan saluran kanan, maka dapat diketahui b

- koefisien Manning, $n = 0,025$ (Chow, 1997 : 100)

Gambar 4.2. Gambar saluran drainase air hujan

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang basah, } A &= b \cdot h \\ &= 0,6 \cdot 1 \\ &= 0,6 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Keliling basah, } P &= b + 2h \\ &= 2,6 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jari-jari hidrolis} &= \frac{A}{P} \\ &= 0,231 \text{ m}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus Manning, dihitung kecepatan aliran V sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{1}{0,025} \cdot 0,231^{\frac{2}{3}} \cdot 0,001^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 0,2855 \text{ m/dt}$$

Dengan perhitungan debit limpasan pada subbab sebelumnya, diperoleh nilai debit limpasan untuk saluran kanan adalah $Q_{\text{limpasan}} = 0,0494 \text{ m}^3/\text{dt}$. Maka dapat diketahui apakah saluran yang ada dapat menampung Q_{limpasan} tersebut:

$$\begin{aligned}Q &= A \cdot V \\ &= 0,6 \cdot 0,476 \\ &= 0,2855 \text{ m}^3/\text{dt}\end{aligned}$$

Dari perhitungan dapat diketahui bahwa debit yang dapat diterima oleh saluran ($Q_{\text{sal}} = 0,2855 \text{ m}^3/\text{dt}$), nilai ini lebih besar daripada besarnya debit limpasan yang harus diterima oleh saluran ($Q_{\text{limpasan}} = 0,0494 \text{ m}^3/\text{dt}$), oleh sebab itu tidak diperlukan adanya pembuatan atau perbaikan saluran drainase air hujan karena saluran yang ada dapat menampung besarnya debit limpasan.

4.2.2. Perencanaan Saluran Drainase Air Limbah

Pada kajian ini direncanakan dimensi pipa servis, yaitu pipa penyalur air limbah yang menghubungkan pipa persil (rumah) satu dengan lainnya dan menyalurkannya ke bangunan pengolahan limbah (IPAL).

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk pipa a – b

Diketahui :

- 1 Panjang pipa : 6 m
- 2 Koefisien Manning : 0,013 (pipa PVC, sumber : chow 1997:100)
- 3 Slope rencana : 0,001
- 4 Debit buangan : 147,5 lt/hr/org = 0,1475 m³/hr/org.
- 5 Jumlah penghuni : 10 orang (1 rumah = 5 orang)
- 6 Q air buangan : 0,1475 x 10 = 1,475 m³/hr
: 0,00001707 m³/dt.

Maka diameter pipa untuk section a – b adalah :

$$D = \left(\frac{Q \times n}{0,3115 \times S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$D = \left(\frac{0,00001707 \times 0,013}{0,3115 \times 0,001^{1/2}} \right)^{3/8} = 0,0181 \text{ m}$$

Perhitungan untuk section yang lain dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Perhitungan diameter pipa penyalur air limbah

	erhitungan diame	ter pipa penyalur	ai	r	limbah
	tung	an diame			r pi
enyalu	r	air limba	h		hitungan
meter p	ip	a penyalu	r air	limbah	
itunga	n	diameter	pipa p	enyalu	r air li
		Perhitung	an dia	meter	pipa pen
r air	li	mbah		hitung	an diame
pipa p	en	yalur air	limba	h	
an dia	me	ter pipa	penyal	ur air	limbah
	hi	tungan di	ameter	pipa	penyalur
limba	h		rhitun	gan di	ameter p
penyal	ur	air limb	ah		rhitunga
ameter	p	ipa penya	lur ai	r limb	ah
anjang	S	aluran De	bit ai	r buan	gan

m - n	6	0.000222	0.001	0.013	0.04731
n - o	6	0.000239	0.001	0.013	0.04865
o - p	6	0.000256	0.001	0.013	0.04992
p - q	6	0.000273	0.003	0.013	0.04163
q - r	6	0.000290	0.003	0.013	0.04258
r - s	7	0.000307	0.003	0.013	0.04350
s - t	3	0.000324	0.003	0.013	0.04440
t - u	15	0.000341	0.003	0.013	0.04526

Sumber : hasil perhitungan

Dari perhitungan Φ pipa adalah 0,04992. Untuk menghindari terjadinya penyumbatan, maka diameter pipa dari rumah ke saluran pembuang dibuat sebesar 3", dan dari saluran pembuang ke Instalasi Pengolahan Air Limbah dibuat 4".

Gambar pemasangan instalasi pipa

4.2.3. Perencanaan Penanaman Pipa Penyalur Air Limbah

Penanaman pipa penyalur air limbah dilakukandengan mempertimbangkan

keadaan lapangan, keamanan sistem jaringan pipa, pengaruhnya terhadap pipa lain terutama pipa distribusi air minum. Secara umum kedalaman minimum penanaman pipa air buangan adalah 0,45 m dan kedalaman maksimumnya adalah 7 m serta berdasarkan slope yang direncanakan.

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk penanaman pipa penyalur air limbah :

Untuk section a – b :

- 1 Elevasi untuk titik a, $E_a = + 498,9 \text{ m}$
- 2 Elevasi untuk titik b, $E_b = + 498,89 \text{ m}$
- 3 Panjang section, $L = 6 \text{ m}$
- 4 Slope $= 0,001$
- 5 Diameter pipa $= 0,1016 \text{ m}$
- 6 Penanaman pipa

Untuk Titik a

- Elevasi tanah di titik a $= + 498,9 \text{ m}$
- Penanaman pipa mula-mula $= 1 \text{ m}$
- Elevasi atas pipa $= + 498,9 - 1 = + 497,9 \text{ m}$
- Elevasi bawah pipa $= + 497,9 - 0,1016 = + 497,798$

Untuk titik b

- Elevasi tanah di titik b $= + 498,89$
- Beda tinggi a – b $= \text{panjang section} \times S$
 $= 6 \times 0,001$
 $= 0,006 \text{ m}$
- Elevasi atas pipa di b $= \text{elevasi atas titik a} - \text{beda tinggi}$
 $= + 497,9 - 0,006$
 $= + 497,894$
- Elevasi bawah pipa di b $= + 497,894 - 0,1016$
 $= + 497,792$

Jadi kedalaman pipa di titik b $= + 498,89 - + 497,792$
 $= 1,098 \text{ m}$

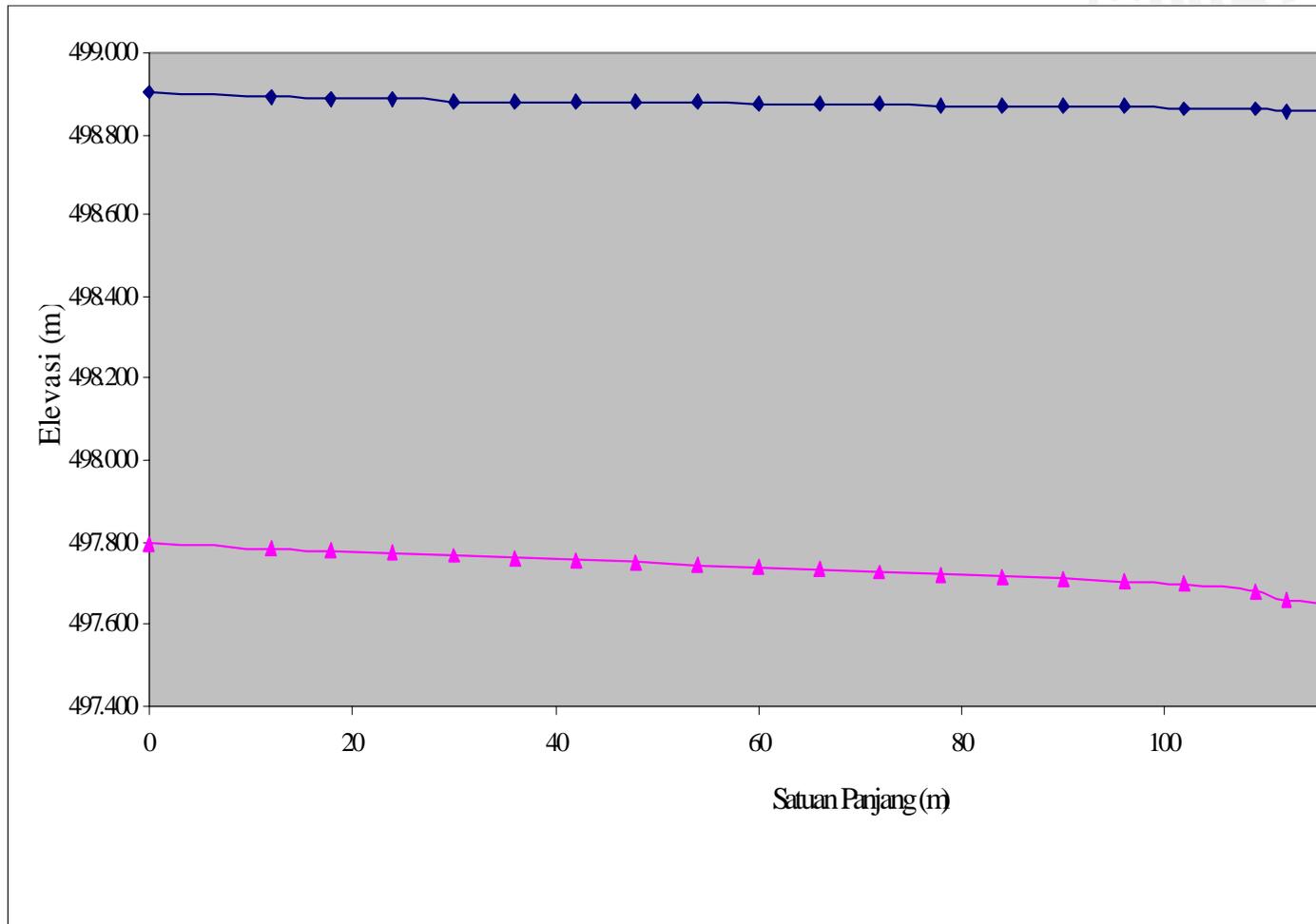
Untuk perhitungan berikutnya dapat dilihat dalam tabel 4.9 berikut Tabel 4.9.

Perhitungan kedalaman penanaman pipa

	Ta	bel	4.7.	Perhi tungan	diameter pipa	penyalur air limb	^h tunga
--	----	-----	------	-----------------	---------------	-------------------	-----------------------

	1 0.	013	0.0234	5	c -	d 6	0 .00005	1 0.00	1 0.01	3 0.02	730
06	8	0.	00	1	0.	01	3	0.	030	41	
.00008	5	0.001	.013	0 03307	f -	g 6	0 00102	001 0.03	0.035	1	-h 6
13 0.	75	1	h - i 6	0.00013	7 0.00	1 0.01	0.0394		i - j 6 0.0	0154	0 01 0.0
k 6	.0	00171	.001	0 013 0.	4288	k -	6 0.0	188 0.01	0.013	0.0444	4
01 0.	13	0.045	2	m - n 6	0.0002	22 0.0	0.013	.04731	n - o	6 0.0	239 0.
d -	p 6 0	00256	.001	0 013 0.	04992	p -	q	6 0.00073	0.00	0.013	.04163
290 0	00	3 0.01	0.042	8	r - s 7	0.000	7 0.00	0.013	0.04350	s -	3 0.00
.04440		t -	u 15	000341	0.003	0.013	0.04526	Sumber	hasil p	erhitu	an Da
pa ada	la	h 0,049	92. Unt	uk .men	ghinda	ri ter	dinya	nyumba	n, maka	diamet	pipa
ran pe	mb	uang di	buat se	besar 3	”, dan	dari	luran	pe	mbuang	e Instal	asi Pe
4”.				Gamb	pemas	angan	stalas	i	pipa	.2.3. Pe	rencan
r Air	Li	mbahP	nanama	pipa p	enyalu	r air	mbah d	il	akukand	ngan me	pertim
keama	an	sistem	jaring	an pipa	, peng	aruhny	terhad	ap	pipa la	in terut	ama pi
ecara	um	um ked	laman	minimum	penana	man pi	air b	ua	ngan adal	ah 0,45	m dan
lah 7	m	serta b	erdasar	kan slo	pe yan	g dire	anakan	.	Berikut	ini adal	ah con
naman	pi	pa peny	alur ai	r limba	h : Un	tuk se	ion a	-	b : Elev	asi untu	k titi
i untu	k	titik b	, Eb	= + 498,8	9 m Pa	njang	ction,	L	= 6 m	Slope	= 0,00
m Pe	na	man pip	a Unt	uk Titik	aEle	vasi t	ah di	ti	tik a	= + 498,9	m Pen
m El	as	i atas	pipa	+ 498,	9 - 1	= + 49	9 m El	ev	asi bawa	h pipa	= + 49
ntuk t	it	ik bEl	evasi t	anah di	titik	b +	= 498,89	B	eda ting	gi a - b	= pa
x 0,00	1	=	006 m	levasi	atas p	ipa di	= e	ev	si atas	titik a	- beda

006 = + 497,894 b a w a h p i
 b = + 497,8 9 4 - 0 , 1 0 1
 = + 497,792 Ja kedalaman pipa di titik b = + 498,89 - + 4 9
 = 1,098 m Untu itungan b e r ikutnya dapat d i 1 i
 lam tabel 4.9 be i kut Tab l 4 .9. Perhitungan k e
 n penanaman pipa Tabel 4.7. Perhitungan diameter pip a penyalur air l i m
 an di a meter pipa pen y a l u r a
 i
 m
 b
 a
 h



Gambar 4.4. Gambar Potongan Memanjang Pipa Air Limbah

4.2.4. Pengolahan Air Limbah Dengan Sistem Tangki AG

Dalam kajian ini, wilayah yang digunakan sebagai percontohan adalah RT 1, RW 1 Kelurahan Ketawanggede yang terdiri dari 38 rumah. Berikut ini adalah dimensi untuk sistem pengolahan air limbah (Agus Gunarto, 2007) :

- Φ tangki AG : 1,2 m
- Kedalaman : 2 m
- Bak Pengolahan : 10 m² (kemudian disekat-sekat)
- Karena berada pada wilayah pemukiman, maka bak pengolahan harus ditutup, dan dibuka pada waktu-waktu tertentu yaitu saat pengurasan.

Berikut ini adalah gambar instalasi pengolahan air limbah :

Gambar 4.5. Instalasi Pengolahan Air Limbah Tangki AG

4.2.5. Proses pengolahan limbah

Tangki AG di sekat menjadi dua bagian. Penyekatnya dibuat berlubang-lubang yang berfungsi sebagai saringan untuk limbah yang masuk. Dari tangki air limbah dialirkan menuju pada kolam pengolahan I yang berfungsi sebagai kolam pengendapan. Dari kolam pengolahan I air dialirkan menuju kolam pengolahan II dan III. Pada kolam pengolahan II dan III diberikan eceng gondok yang berfungsi untuk menetralsir atau menyerap logam berat yang mungkin terkandung dalam air limbah tersebut. Pada bak pengolahan III dapat juga diberi ikan lele yang dapat berfungsi sebagai media untuk mengetahui apakah terdapat zat kimia berbahaya dalam limbah tersebut. Dari kolam pengolahan III, air limbah yang sudah diproses dapat dibuang ke saluran drainase yang ada.

Gambar 4.8 Gambar Proses Pengolahan Air Limbah

Ada tiga parameter yang di uji untuk mengetahui apakah tanki AG ini cukup efisien untuk mengolah limbah, yaitu *bichemical oxygen demand* (BOD), *total suspended solid* (TSS), dan pH. Berikut ini adalah tabel hasil uji laboratorium dari pengolahan tangki AG :

Tabel 4.10. Hasil uji laboratorium

	i	AG ini cuk		up efisien unt	
		golah limbah, yaitu	<i>bichemical ox</i>	<i>ygen d</i>	<i>emand (</i>
	<i>tal s</i>	<i>uspe</i>	<i>nded solid (</i>	TSS),	dan pH
riku	t ini	ada	lah tabe	l hasil u	ji labora
um	dari	pengolahan	tangki AG	: Ta	bel 4

Sumber : uji laboratorium

4.2.6. Perhitungan Pembebanan Plat Satu Arah

Berikut ini adalah langkah-langkah

1. Hitung h minimum plat sesuai dengan daftar 2.1 SK SNI T-15-1991-03
2. Hitung beban mati berat sendiri plat, kemudian hitunglah beban rencana total w_u
3. Hitung momen rencana M_u
4. Perkirakan dan hitung tinggi efektif plat d , gunakan batang tulangan baja D19 dan selimut beton pelindung tulangan baja 20 mm, dengan hubungannya sebagai berikut $d = h - 29,5$ mm

$$k = \frac{M_u}{\Phi b d^2}$$

5. Hitung k perlu :
6. Tentukan rasio penulangan ρ dari tabel A-6 sampai A-10 dan tidak melampaui ρ_{maks} apabila $\rho > \rho_{maks}$ maka plat dibuat lebih tebal lagi.
7. Hitung A_s yang diperlukan, $A_s = \rho b d$
8. Dengan menggunakan tabel A-3 pilihlah tulangan baja pokok yang akan dipasang. Periksa jarak maksimum antara tulangan dari pusat ke pusat $3h$ atau 500 mm. Periksa ulang anggapan yang digunakan pada langkah ke 4
9. Sesuai SK SNI T-15-1991-03 pilih tulangan untuk susut dan suhu sebagai berikut :
 $A_s = 0,0020bh$ untuk baja mutu 30
 $A_s = 0,0018bh$ untuk baja mutu 40

$$A_s = 0,0018 bh \left(\frac{400}{f_y} \right) \text{ untuk mutu baja lebih tinggi dari 40}$$

diukur dengan regangan leleh sebesar 0,35 % dan dalam segala hal tidak boleh kurang dari $A_s = 0,0014 bh$.

10. Jumlah luas penampang tulangan baja pokok tidak boleh kurang dari jumlah luas penulangan susut dan suhu.
11. Buatlah sketsa rancangan.

Perhitungan :

Direncanakan plat yang digunakan adalah plat satu arah yang mendukung beban hidup terbagi rata 16 kPa. Panjang bentang adalah 5 m, beton $f_c' = 20$ Mpa dan baja $f_y = 300$ Mpa.

$$1 \quad h_{\text{minimum}} = \frac{1}{20} \left[0,4 + \frac{300}{700} \right] = \frac{5000(0,8286)}{20} = 207,15 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan maka digunakan $h = 208$ mm dan selanjutnya direncanakan plat untuk setiap lebar 1 m.

- 2 Penentuan beban mati berat sendiri plat

$$(0,208)(23) = 4,784 \text{ kN/m}^2$$

- 3 Total beban rencana adalah :

$$\begin{aligned} w_u &= 1,2 w_{DL} + 1,6 w_{LL} \\ &= 1,2 (4,784) + 1,6 (16) \\ &= 31,34 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- 4 Besarnya momen rencana adalah

$$Mu = \frac{1}{8} w_u l^2 = \frac{1}{8} \cdot 31,34 \cdot 5^2$$

$$Mu = 97,9375 \text{ kNm}$$

- 5 Memperkirakan nilai d dengan penggunaan tulangan D10 dan selimut beton 30 mm

$$d = 208 - 30 - 5 = 173 \text{ mm}$$

- 6 Menentukan nilai k yang diperlukan

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$k = \frac{97,9375 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 2 \cdot (173^2)}$$

$$k = 2,0452 \text{ MPa}$$

- 7 Dari tabel A – 15 untuk nilai $k = 2,0452$ didapat $\rho = 0,00725$

- 8 Periksa nilai ρ_{maks}

$$\rho_{\text{maks}} = 0,0241 > 0,00725 \quad \text{menggunakan } \rho = 0,00725$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b d = 0,00725 \cdot (1000) \cdot (173) \\ &= 1254,25 \text{ mm}^2/\text{m}^1 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan A_s dan berdasarkan tabel A-5 maka didapatkan Φ 13, dan jarak 100 mm.

- 1 Berikut ini adalah gambar perencanaan plat satu arah

Gambar 4.9 Penulangan Kolom

Gambar 4.6 Konstruksi kolom

Gambar 4.10 Penulangan Plat

4.3. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Sebelum menghitung rancangan anggaran biaya yang akan digunakan untuk pelaksanaan pembangunan, terlebih dahulu dihitung besarnya volume pekerjaan.

Perhitungan biaya pada kajian ini hanya didasarkan pada volume pekerjaan dan harga

satuan pekerjaan berdasarkan daftar harga satuan pekerjaan konstruksi (HSPK) tahun anggaran 2006 Dinas Kimpraswil Kota Malang. Adapun daftar harga satuan pekerjaan konstruksi tersebut didasarkan atas analisa harga satuan upah, bahan material dan peralatan yang berlaku di Malang.

Berikut ini adalah tabel harga upah tenaga kerja dan harga bahan bangunan :

Tabel 4.11. Daftar harga upah tenaga kerja

No	Uraian	Satuan	Harga (Rp)
1	Pekerja	Orang/hari	30.000,00
2	Mandor	Orang/hari	45.000,00
3	Kepala Tukang	Orang/hari	40.000,00
4	Tukang Batu	Orang/hari	37.500,00
5	Tukang Besi	Orang/hari	37.500,00
6	Tukang Kayu	Orang/hari	37.500,00
7	Tukang Pipa	Orang/hari	37.500,00

Sumber : Dinas Kimpraswil Kota Malang 2006

Tabel 4.12. Tabel Daftar Harga Bahan Bangunan dan Material

No	Uraian	Satuan	Harga (Rp)
1	Portland Cement (PC) 50 kg	zak	42.500,00
2	Batu kali	m ³	37.500,00
3	Pasir pasang	m ³	80.900,00
4	Pasir urug	m ³	60.000,00
5	Bata merah	biji	225,00
6	Tanah urug	m ³	45.000,00
7	Paku kayu segala ukuran	kg	10.750,00
8	Besi beton polos	kg	10.750,00
9	Pipa PVC 3" 4 m	ljr	54.600,00
10	Pipa PVC 4" 4 m	ljr	69.500,00
11	Kawat beton / bendrat	kg	10.750,00
12	Besi tulangan ϕ 10 20 m	ljr	33.200,00
13	Besi tulangan ϕ 6 20 m	ljr	10.450,00
14	Lem pipa	kg	26.000,00
15	Kerikil Beton	m ³	120.000,00
16	Kayu Bekisting	lbr	19.750,00
17	Shock PVC ϕ 3/4"	biji	2.000,00
18	Knee PVC ϕ 3/4"	biji	2.250,00
19	Sambungan simpang 4	biji	11.000,00
20	Sambungan belokan	biji	11.000,00
21	Kayu multiplek 9 mm	m ²	110.000,00

Sumber : Dinas Kimpraswil Kota Malang 2006

Analisa harga satuan pekerjaan dapat dilihat pada tabel 4.13 berikut :

Uraian Pekerjaan	Koefisien	Pekerja/beban	Harga Satuan	Harga Total
I. Pekerjaan Persiapan				
1 m ^l pengukuran dan pembuatan bouwplank	0.004	Kayu papan	110000	440
	0.02	Paku	10750	215
	0.05	Tukang	37500	1875
	0.05	Kepala Tukang	40000	2000
	0.05	Pekerja/beban	30000	1500
	0.005	Mandor	45000	225
		Total		6255
II. Pekerjaan Tanah				
1 m ³ galian tanah biasa	0.4	Pekerja	30000	12000
	0.04	Mandor	45000	1800
		Total		13800
1 m ³ galian tanah keras	0.625	Pekerja	30000	18750
	0.062	Mandor	45000	2790
		Total		21540
1 m ³ Urugan tanah kembali	0.192	Pekerja	30000	5760
	0.019	Mandor	45000	855
		Total		6615
1 m ³ Urugan Pasir	0.3	Pekerja	30000	9000
	0.01	Mandor	45000	450
	1.2	Pasir urug	60000	72000
		Total		81450
III. Pekerjaan Pasangan				
1 m ² Rollag bata	0.65	Pekerja	30000	19500
	0.2	Tukang	37500	7500
	0.02	Kepala Tukang	40000	800
	0.03	Mandor	45000	1350
	140	Batu Bata	225	31500
		Total		60650
1 m ² Pasangan Bata 1 : 4	0.03	Mandor	45000	1350
	0.02	Kepala Tukang	40000	800
	0.2	Tukang Batu	37500	7500
	0.65	Pekerja	30000	19500
	140	Batu Bata	225	31500
	0.093	Pasir Pasang	80900	7523.7
	26.55	Semen	850	22567.5
		Total		90741.2

Sumber : Dep Kimpraswil 2006

Tabel 4.13. Analisa Harga Satuan (lanjutan)

Uraian Pekerjaan	Koefisien	Pekerja/beban	Harga Satuan	Harga Total
------------------	-----------	---------------	--------------	-------------

1 m ² Plesteran 1 : 4	6.075	Semen	850	5163.75
	0.08	Pasir Pasang	80900	6472
	0.18	Tukang Batu	37500	6750
	0.018	Kepala Tukang	40000	720
	0.2	Pekerja	30000	6000
	0.02	Mandor	45000	900
		Total		26005.75
V. Pekerjaan Beton				
1 m ³ Beton Campuran 1 : 2 : 3	0.54	Pasir Cor	95000	51300
	0.81	Kerikil	120000	97200
	336	Semen	850	285600
	2	Pekerja	30000	60000
	0.624	Tukang Batu	37500	23400
	0.183	Kepala Tukang	40000	7320
	1	Mandor	45000	45000
	Total		569820	
1 m ² Pasang Bekisting untuk kolom	Harga total pekerjaan		Total	240.015

Sumber : Dep Kimpraswil 2006

4.3.1. Perhitungan Volume dan Biaya Pekerjaan Pengadaan Pipa Air Limbah

Data-data yang diperlukam untuk pemasangan pipa adalah sebagai berikut :

1. Panjang pipa PVC 2" = 38 m
2. Panjang pipa PVC 3" = 133 m
3. Sambungan pipa 3/4 = 19 buah
4. Lain-lain (selotip, lem, dll)

Rencana anggaran biaya untuk pipa air limbah dapat dilihat pada tabel 4.14

Tabel 4.14 Anggaran Biaya Pengadaan Pipa Air Limbah

No	Jenis Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga total (Rp)
1	Pekerjaan Persiapan				
	Pemasangan Bowplank	169	m ^l	6255	1057095
2	Pekerjaan Tanah				
	Galian Aspal	3.325	m ³	21540	71620.5
	Galian Tanah biasa	29.925	m ³	13800	412965
3	Pekerjaan Pemasangan				
	Pemasangan Pipa PVC 3"	38	m ^l	22507.5	855285
	Pemasangan Pipa PVC 4"	133	m ^l	26605	3538465
	Sambungan simpang 4	19	biji	11000	209000
	Sambungan belokan	2	biji	11000	22000

5	Pekerjaan Pembersihan Pembersihan Lapangan	19.95	m ²	5775	115211.25
Total Dibulatkan					10026237.88 10.026.250,00

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3.2. Perhitungan Volume dan Biaya Pekerjaan Pengadaan IPAL

Data yang diperlukan untuk perhitungan :

Diameter Tangki	: 1,2 m
Kedalaman Tangki	: 2 m
Panjang bak 1	: 5 m
Lebar Bak 1	: 2 m
Kedalaman Bak 1	: 2 m
Panjang Bak 2	: 3 m
Panjang Bak 3	: 5 m
Lebar Bak 2 dan Bak 3	: 2 m
Kedalaman Bak 2 dan Bak 3	: 1,5 m

Tabel 4.15 Anggaran Biaya Pengadaan IPAL

No	Jenis Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga total (Rp)
1	Pekerjaan Persiapan				
	Pemasangan bowplank	43	m'	6255	268965
2	Pekerjaan Tanah				
	Galian tanah	38.385	m ³	13800	529713
	Urugan pasir bawah pondasi	1.3	m ³	81450	105885
3	Pekerjaan Pasangan				
	Pemasangan rollag bata (pondasi)	27.4	m ²	65000	1781000
	Pemasangan batu bata	27.32	m ³	90741.2	2479049.584
4	Pekerjaan Plesteran				
	Plesteran 1 : 4	27.32	m ³	26005	710456.6
5	Pekerjaan beton				
	Pasang bekisting Kolom	3	m ²	240015	720045
	Beton Campuran 1 : 2 : 3	0.45	m ³	569820	256419
	Besi ϕ 10	49.298	kg	4665	229975.17
	Besi ϕ 6	14.198	kg	4320	61335.36
	Pasang bekisting plat	11.13	m ³	320615	3568444.95

6	Pekerjaan Pasangan				
	Pemasangan Pipa PVC 4"	9.25	m ^l	26605	246096.25
7	Pekerjaan Pembersihan				
	Pembersihan Lapangan	61.44	m ^l	5775	354816
Total					12360471.38
Dibulatkan					12.360.500,00

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3.3. Analisa Finansial

Tujuan dari analisa finansial adalah melihat dampak investasi peningkatan pendapatan antara sebelum dan sesudah proyek. Biaya proyek meliputi biaya pekerjaan, biaya tenaga kerja dan biaya tak terduga. Dalam pembahasan ini biaya pekerjaan terdiri dari pekerjaan administrasi, pekerjaan persiapan dan pekerjaan pemasangan.

1 Pemasangan pipa penyalur air limbah

1. Biaya proyek Rp. 10.026.250,00
2. Biaya Operasi dan pemeliharaan Rp. 1.002.625,00

– Pengadaan Instalasi Pengolahan Air Limbah

1. Biaya proyek Rp. 12.360.500,00
2. Biaya Operasi dan Pemeliharaan Rp. 1.236.050,00

Dalam kajian ini analisa biaya menggunakan metode BTE (Biaya Tahunan Ekuivalen). Pada metode ini diadakan perhitungan baik pada modal awal maupun pada investasi rutin (gaji, biaya, O&M, dll).

Rumus Umum :

$$\Sigma \text{ BTE} = \text{BTE} + \text{Biaya tahunan lainnya}$$

$$\text{BTE} = (P - S) (A/P, i, n) + S.i$$

1. Pemasangan pipa penyalur air limbah

Cost : Rp. 10.026.250,00

O&M : Rp. 1.002.625,00

$$\begin{aligned} \text{BTE} &= (\text{Biaya proyek} \times (A/P, 10\%, 10)) \\ &= 10.026.250 \times 0,16275 \\ &= 1.631.772 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ BTE} &= \text{BTE} + \text{Biaya tahunan lainnya} \\ &= \text{Rp. 1.631.72} + \text{Rp. 1.002.625} \\ &= \text{Rp. 2.634.397,00} \end{aligned}$$

2. Pengadaan Instalasi Pengolahan Air Limbah

Cost	: Rp. 12.360.500,00
O&M	: Rp. 1.236.050,00
BTE	= (Biaya proyek x (A/P, 10%, 10) = 12.360.500 x 0,16275 = 2.011.671
Σ BTE	= BTE + Biaya tahunan lainnya = Rp. 2.011.671 + Rp.1.236.050 = Rp. 3.247.721



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan analisa dari perhitungan sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kondisi saluran drainase air hujan di kawasan Ketawanggede cukup baik, sedangkan kondisi drainase air limbahnya kurang.
2. Untuk drainase air hujan tidak perlu diadakan perbaikan karena saluran drainase yang sudah ada dapat menampung debit limpasan yang ada. Sedangkan untuk drainase air limbah masih perlu diadakan perbaikan karena saluran yang ada sekarang tidak berfungsi dengan baik.
3. Menurut hasil perhitungan debit hujan yang dapat ditampung oleh saluran adalah $0,2855 \text{ m}^3/\text{dt}$, sedangkan besarnya debit rancangan air hujan dengan kala ulang 5 tahun adalah $0,0494 \text{ m}^3/\text{dt}$.
4. Dalam kajian ini Instalasi Pengolahan Air Limbah yang dapat diterapkan adalah Tangki AG. Berikut ini adalah dimensi Tangki AG berdasarkan analisa :

Diameter tangki	: 1,2 m
Kedalaman tangki	: 2 m
Lebar bak endapan I	: 2 m
Panjang bak endapan I	: 5 m
Kedalaman bak endapan I	: 2 m
Lebar bak II	: 2 m
Panjang bak II	: 3 m
Kedalaman bak II	: 1,5 m
Lebar bak III	: 2 m
Panjang bak III	: 3 m
Kedalaman bak III	: 1,5 m
5. Besarnya biaya untuk pengadaan pipa air limbah untuk 1 RT atau 38 rumah adalah Rp. 10.026.250,00, dan besarnya biaya pemasangan tangki AG adalah Rp. 12.360.500,00

1.2. Saran

1. Penerapan sistem drainase terpisah di kota Malang masih sangat jarang dilakukan padahal sistem ini dapat mengurangi kemungkinan terjadinya pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh air limbah rumah tangga. Dengan demikian, system ini sebaiknya dapat diterapkan khususnya pada lokasi kajian serta dapat dikembangkan di tempat lain.
2. Pemasangan Instalasi Pengolahan Air Limbah sangat bermanfaat untuk mengurangi terjadinya pencemaran lingkungan.
3. Perlu diadakan studi atau kajian lebih lanjut untuk pemasangan Instalasi Pengolahan Air Limbah yang akan digunakan terutama dari segi sosial ekonomi masyarakat karena penerapan pemasangan Instalasi Pengolahan Air Limbah ini akan membutuhkan biaya yang harus ditanggung oleh penduduk setempat.



Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat kasih dan karuniaNya sehingga penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan baik.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh oleh mahasiswa jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Dalam kesempatan ini, kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Janu Ismoyo, MT selaku dosen pembimbing I, yang selama ini sudah banyak memberikan masukan.
2. Almarhum Bapak Johannes Soegiyanto, Msc selaku dosen pembimbing II, yang selama ini sudah banyak memberikan masukan.
3. Ibu Dr. Ir. Rispiningtati, M.Eng selaku dosen penguji I, yang memberikan banyak masukan sehingga skripsi ini bisa maksimal.
4. Ibu. Ir. Ussy Andawayanti, MSc selaku dosen penguji II, yang memberikan banyak masukan sehingga skripsi ini bisa maksimal.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Akhirnya, kami sebagai manusia biasa tidak luput dari kesalahan, untuk itu kami senantiasa mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun guna perbaikan skripsi ini.

Malang, Maret 2007

Penyusun

ABSTRAK

Pangastuti, RD.2007. *Kajian Sistem Drainase Terpisah pada Perumahan Padat Penduduk (Studi Kasus Kelurahan Ketawanggede)*. Tugas Akhir. Pembimbing : (1). Ir. Janu Ismoyo, MT (2). J Soegijanto, MSc.

Drainase Terpisah adalah sistem drainase dimana air kotor dan air hujan dilayani oleh sistem saluran masing-masing secara terpisah. Pemilihan sistem ini didasarkan pada pertimbangan bahwa air kotor harus diolah terlebih dahulu sebelum dialirkan ke badan air sedangkan air hujan tidak perlu.

Terjadinya akumulasi jumlah penduduk di daerah perkotaan mempengaruhi siklus hidrologi dengan timbulnya genangan-genangan di daerah pemukiman yang padat pada musim penghujan. Salah satu penyebab adanya genangan di daerah pemukiman padat penduduk adalah keadaan jaringan drainase yang tidak efektif dan tidak berfungsi optimal.

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengevaluasi sistem drainase dan mengevaluasi sistem pengolahan air limbah rumah tangga yang ada pada kelurahan Ketawanggede.

Tugas akhir ini merupakan studi literatur dengan mengumpulkan teori yang mendukung disertai dengan Pengumpulan data, analisa hidrologi, perhitungan debit rencana, perencanaan sistem drainase air limbah, dan perhitungan analisa ekonomi.

Hasil yang diperoleh adalah sistem drainase air hujan pada Kelurahan Ketawanggede sudah baik karena bisa menampung debit limpasan yang ada, sedangkan untuk drainase air limbah rumah tangga perlu diadakan perbaikan dan pemasangan instalasi pengolahan air limbah.

Kata kunci : Drainase, Perumahan Padat Penduduk

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Rumusan Masalah	2
1.5 Tujuan dan Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Analisis Hidrologi	4
2.1.1. Hujan Rerata Daerah	4
2.1.2. Curah Hujan Rancangan	5
2.1.3. Uji Kesesuaian Distribusi	6
2.1.3.1. Uji Smirnov Kolmogorof	6
2.1.3.2. Uji Chi Square	7
2.2. Perencanaan Sistem Drainase	8
2.2.1. Sistem Pengumpulan dan Penyaluran Air Buangan	8
2.2.2. Perhitungan Debit Sistem Drainase	8
2.2.2.1. Limpasan Permukaan	8

2.2.2.2. Waktu Konsentrasi	9
2.2.2.3. Intensitas Hujan	10
2.2.2.4. Koefisien Pengaliran	10
2.2.2.5. Kondisi Saluran Asli	11
2.3. Sistem Penyaluran Air Limbah	11
2.3.1. Definisi Air Limbah	11
2.3.2. Efek Buruk Air Limbah	11
2.3.3. Analisis Hidrolika	12
2.3.3.1. Aliran Melalui Pipa	12
2.3.3.2. Kriteria Perencanaan Penyaluran Air Limbah	16
2.4. Instalasi Pengolahan Air Limbah	17
2.4.1. Prinsip Pengolahan Air Limbah	17
2.4.2. Instalasi Pengolahan Air Limbah Tangki AG	19
2.5. Analisa Biaya	21
2.5.1. Volume Pekerjaan Satuan	21
2.5.2. Harga Satuan Pekerjaan	21
2.5.3. Rencana Anggaran Biaya	22

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Kondisi Daerah Studi	23
3.2 Data-data yang Diperlukan	23
3.3 Langkah-langkah Penyelesaian Studi	24
3.4 Diagram Alir Pengerjaan	25

BAB IV PENGOLAHAN DATA

4.1. Analisis Hidrologi	26
4.1.1. Perhitungan Curah Hujan Rancangan	26
4.1.2. Uji Kesesuaian Distribusi	29
4.1.2.1. Uji Smirnov Kolmogorof	29
4.1.2.2. Uji Chi Square	30
4.2. Perencanaan Saluran Drainase	30
4.2.1. Evaluasi Saluran Air Hujan	30

4.2.1.1. Perhitungan Debit Air Hujan	30
4.2.1.2. Evaluasi Dimensi Saluran Air Hujan	32
4.2.2. Perencanaan Saluran Drainase Air Limbah	33
4.2.3. Perencanaan Penanaman Pipa Penyalur Air Limbah	37
4.2.4. Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Tangki AG	40
4.3. Perencanaan Rencana Anggaran Biaya	40
4.3.1. Perhitungan Volume dan Biaya Pekerjaan Pengadaan Pipa Air Limbah	44
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	47
5.2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	x
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Koefisien Pengaliran	10
Tabel 2.2. Kehilangan Tinggi Tekan untuk Komponen Pipa	14
Tabel 2.3. Kemiringan Pipa yang Diperlukan Berdasarkan Debit Aliran	17
Tabel 4.1. Perhitungan Hujan Rancangan dengan Log Pearson Type III	27
Tabel 4.2. Perhitungan Hujan Rancangan dengan Log Pearson Type III	27
Tabel 4.3. Distribusi Smirnov Kolmogorof	29
Tabel 4.4. Sebaran Peluang	30
Tabel 4.5. Distribusi Chi Square	30
Tabel 4.6. Perhitungan Koefisien Pengaliran	31
Tabel 4.7. Perhitungan Diameter Pipa Penyalur Air Limbah	34
Tabel 4.8. Perhitungan Kedalaman Air dalam Pipa	36
Tabel 4.9. Perhitungan Kedalaman Penanaman Pipa	38
Tabel 4.10. Hasil Uji Laboratorium	43
Tabel 4.11. Daftar Harga Upah Tenaga Kerja	47
Tabel 4.12. Daftar Harga Bahan Bangunan dan Material	47
Tabel 4.13. Analisa Harga Satuan Pekerjaan	48
Tabel 4.14. Anggaran Biaya Pengadaan Pipa Air Limbah	50
Tabel 4.15. Anggaran Biaya Pengadaan IPAL	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sistem Perpipaan	12
Gambar 2.2. Diagram Garis Energi	13
Gambar 2.3. Sketsa Penampang Melintang Aliran Melalui Pipa	15
Gambar 2.4. Grafik Faktor Puncak	17
Gambar 2.5. Instalasi Pengolahan Air Limbah	20
Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan	23
Gambar 4.1. Grafik Log Pearson type III	28
Gambar 4.2. Saluran Drainase Air hujan	32
Gambar 4.3. Instalasi Pemasangan Pipa Penyalur Air Limbah	35
Gambar 4.4. Potongan Memanjang Pipa Air Limbah	39
Gambar 4.5. Instalasi Pengolahan Air Limbah Tangki AG	40
Gambar 4.6. Konstruksi Instalasi Pengolahan Air Limbah Tangki AG	41
Gambar 4.7. Potongan Konstruksi Instalasi Pengolahan Air Limbah Tangki AG	42
Gambar 4.8. Proses Pengolahan Air Limbah	43
Gambar 4.9. Penulangan Kolom	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Tabel Nilai Variabel Reduksi Gauss

Lampiran 1.2 Tabel Distribusi Pearson Type III

Lampiran 1.3 Tabel Nilai k Distribusi Log Pearson III



DAFTAR PUSTAKA

- Anda, Marthin , 1997. *Greywater Re-use* (online) (<http://www.clivusmultrum.com>) diakses tanggal 07 September 2006
- Anonim, 2002. Peta Garis Kelurahan Ketawanggede. Malang : WASBANGDALING Kota Malang
- Anonim.2002. Master Plan Drainase Kota Malang. Malang : BAPPEDA Kota Malang
- Anonom, 2006. Daftar Harga Barang dan Upah Pekerja. Malang : Kimpraswil Kota Malang
- Anonim, 2006. *Greywater* (online) (<http://www.wikipedia.org>) diakses tanggal 07 September 2006
- Anonim, 2006. Master Plan Sanitasi Kota Malang. Malang : IEMT UNMER Malang
- Chow, Ven Te. 1992. Hidrolika Saluran Terbuka. Surabaya : Erlangga
- Gunarto, Agus. 2004 Sistem Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga. Jakarta : Direktorat Perkotaan dan Pedesaan
- Harto, Sri. 1993. Analisis Hidrologi. Jakarta : Gramedia Pustaka utama
- Indah S. Pandebesie, dkk. 2002. Pengelolaan Sistem Drainase dan Penyalur Air Limbah. Bandung : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah
- Lindstrom, Carl. 2000. *Greywater* (online) (<http://www.websida.com>) diakses tanggal 07 September 2006
- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. New York : Mc Graw Hill Companies Inc.
- Soemarto, CD. 1987. Hidrologi Teknik. Semarang : Usaha Nasional
- Sosrodarsono, S dan Takeda, K. 1983. Hidrologi Untuk pengairan. Jakarta : Pradnya Paramita
- Suhardjono. 1984. Drainase. Malang : Jurusan pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Suripin. 2003. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Yogyakarta : ANDI