

# ANALISIS SISTEM JARINGAN PERPIPAAN PENYALUR AIR LIMBAH DI KAWASAN UNIVERSITAS SEBELAS MARET SURAKARTA

Agung Pangestu Nugroho<sup>1)</sup>, Budi Utomo<sup>2)</sup>, Solichin<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

<sup>2) 3)</sup>Pengajar Program studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir.Sutami No.36A Surakarta 57126.Telp.0271647069. Email : agungnugroho428@student.uns.ac.id

## Abstract

Domestic wastewater that arise in Sebelas Maret University of Surakarta encourages the construction of a processing system that can treat wastewater so as not to cause contamination. Wastewater collector piping networks are required to drain wastewater to gravitational processing plants. The purpose of this study is to determine the total discharge of wastewater that arises in the campus area of UNS and whether the design of pipelines that drain the waste water to the WWTP is optimal when based on predetermined conditions. The existing design is then compared with the design of variations in velocity and slope, minimum velocity 0.3 m/s - 1.2 m/s with slope 0.1% - 0.5%, medium velocity 1.3 m/s - 2.2 m/s with slope 0.5% - 3.5% and maximum velocity 2.3 m/s - 3 m/s with a slope of 1% - 10%. The analysis is done manually and with software. The result of plan design analysis got peak discharge value equal to 218.0806 L/s. There are several plan pipelines that do not meet the requirements and most of their debit channels exceed the plan design during peak discharge. The result of design analysis with variation of velocity is chosen by design with medium velocity as the most optimal design compared to other designs because the design with medium velocity can fulfill the specified requirement.

**Keywords:** Flow, Pipe Network, Sewerage, Wastewater, WWTP.

## Abstrak

Air limbah domestik yang timbul dikawasan Universitas Sebelas Maret Surakarta mendorong dibangunnya suatu sistem pengolahan yang dapat mengolah air limbah tersebut sehingga tidak menimbulkan pencemaran. Jaringan perpipaan penyalur air limbah diperlukan untuk mengalirkan air limbah menuju instalasi pengolahan secara gravitasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui total debit air limbah yang timbul di kawasan kampus UNS dan apakah desain jaringan pipa yang mengalirkan air limbah menuju IPAL sudah optimal bila didasarkan pada syarat yang telah ditentukan. Desain eksisting kemudian dibandingkan dengan desain variasi kecepatan dan kemiringan, yaitu kecepatan minimum 0.3 m/det – 1.2 m/det dengan kemiringan 0.1% - 0.5%, kecepatan medium 1.3 m/det – 2.2 m/det dengan kemiringan 0.5% - 3.5 % dan kecepatan maksimum 2.3 m/det – 3 m/det dengan kemiringan 1% - 10%. Analisis dilakukan secara manual dan dengan bantuan *software*. Hasil analisis desain rencana didapatkan nilai debit puncak sebesar 218.0806 liter/detik. Terdapat beberapa saluran pipa rencana tidak memenuhi persyaratan dan sebagian besar saluran debitnya melebihi desain rencana saat terjadi debit puncak. Hasil analisis desain dengan variasi kecepatan dipilih desain dengan kecepatan medium sebagai desain yang paling optimal dibanding desain lain karena desain dengan kecepatan medium mampu memenuhi syarat yang telah ditentukan.

**Kata Kunci:** Air Limbah, Debit, IPAL, Jaringan Perpipaan, Saluran Air Limbah.

## PENDAHULUAN

Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan pemukiman (*real estate*), rumah makan (restauran), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama. Di UNS sendiri permasalahan limbah ini timbul diantaranya karena jumlah dosen, karyawan dan mahasiswa yang banyak. Hal ini tentu berakibat pada banyaknya volume air limbah yang dihasilkan. Limbah dari dalam kampus tersebut berakhir dibuang di saptick tank sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan di dalam kampus khususnya air tanah karena limbah tersebut dibuang tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu.

Untuk mengatasi masalah tersebut, UNS sekarang telah memiliki sistem instalasi pengelolaan air limbah terpusat (*off site*) yang melayani seluruh fakultas di UNS. Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) (*Waste Water Treatment Plant*) adalah suatu struktur yang dirancang untuk mengelola dan mengolah limbah biologis dan kimiawi dari air sehingga memungkinkan air tersebut dapat memenuhi standar baku mutu air. Dalam pengoperasian IPAL UNS, timbul beberapa persoalan pada jaringan perpipaan, salah satunya adalah penyumbatan pada saluran pipa yang disebabkan oleh sampah yang dibuang ke dalam toilet dan kecepatan aliran air limbah yang tidak memenuhi syarat kecepatan minimum. Oleh sebab itu, perlu dilakukan analisis terhadap kecepatan aliran air limbah, kedalaman berenang air limbah dan debit timbulan air limbah untuk mengetahui kemampuan masing-masing pipa utama dalam mengalirkan air limbah menuju IPAL dan dimana saja letak saluran pipa yang rawan terjadi permasalahan.

## TINJAUAN PUSTAKA

Ravikiran K dan Arjun S. Virupakshi (2016) melakukan analisis perencanaan desain jaringan pipa air limbah di desa Janwad, India menggunakan *Software SewerCAD V8i*. Didapatkan desain dengan diameter pipa sebesar 150 mm dengan prosentase 92,8% atau sepanjang 3242 meter dan pipa berdiameter 200 mm dengan prosentase 7,2% atau sepanjang 250 meter.

Abdul Wahid Amiri, June-ichiro Giorgos Tsutsumi, Ryo Nakamatsu, dan Mohammad Asaduzzman (2016) melakukan analisis perencanaan desain jaringan pipa pengumpul air limbah di kota Kabul, India menggunakan *Software SewerCAD V8i* dan *GIS*. Perhitungan memperhatikan syarat kecepatan minimum sebesar 0,61 m/det, kedalaman pipa sebesar 0,9 dan kemiringan saluran sebesar 0,5%. Didapatkan hasil sekitar 70% kecepatan pada jaringan perpipaan sebesar 1 m/det dengan diameter minimal pipa yang digunakan adalah 150 mm.

## LANDASAN TEORI

### Kuantitas Air Limbah

Besarnya penggunaan air bersih oleh konsumen IPAL yang digunakan dalam penelitian ini menurut beberapa sumber berdasarkan jenis peruntukan bangunan dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Besaran *population equivalen (Pe)* untuk perancangan IPAL berdasarkan jenis peruntukan bangunan.

No.	Peruntukan Bangunan	Pemakaian Air Bersih	Debit Air Limbah	Satuan	Acuan
1.	Rumah Biasa	150	120	liter/penghuni/hari	Study JICA 1990 (proyeksi 2010)
2.	Perguruan Tinggi	80	64	liter/mahasiswa atau pegawai/ hari	SNI 03-7065-2005
3.	Gedung Peribadatan	5	4,5	liter/orang/hari	SNI 03-7065-2005
4.	Perpustakaan	25	22,5	liter/pengunjung /hari	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura
5.	Laboratorium	150	120	liter/staf/hari	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura

Sumber: Peraturan Gubernur Propinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 Tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Propinsi DKI Jakarta

### Infiltrasi dan Inflow

Infiltrasi adalah sejumlah air tanah yang masuk ke dalam pipa air limbah melalui sambungan pipa, celah pipa, pipa yang rusak dan dinding *manhole*. Sedangkan *inflow* adalah aliran permukaan yang masuk ke dalam pipa air limbah melalui tutup *manhole* dan perpotongan sambungan dari saluran air hujan dan saluran campuran air hujan dan air limbah (Qasim, 1985). Besarnya nilai *inflow* yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan D.A. Okun dan G. Ponghis dalam *Community Wastewater Collection and Disposal* sebesar 4,38 x 10<sup>-3</sup> liter/detik per *manhole*. Sedangkan nilai infiltrasi dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Nilai infiltrasi pada saluran pipa

No.	Diameter Pipa (inchi)	Debit Infiltrasi (gal/hari/mil)
1	8	3500-5000
2	12	4500-6000
3	24	10000-12000

Sumber: Metcalf dan Eddy, 1991

### Perhitungan Debit Air Limbah

Langkah-langkah untuk memperkirakan debit air limbah adalah sebagai berikut (Hardjosuprpto, 2000):

1) Debit satuan air limbah untuk pipa dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_{ab} = F_{ab} \times q_{am} \dots \dots \dots [1]$$

Keterangan :

$Q_{ab}$  = debit satuan air limbah (liter / detik)

$F_{ab}$  = faktor air limbah (60 – 80 %)

$q_{am}$  = debit satuan air bersih (liter / detik)

2) Debit rata-rata Air Limbah ( $Q_r$ )

Debit rata-rata air limbah dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_r = P \times Q_{ab} \dots \dots \dots [2]$$

Keterangan :

$Q_r$  = debit rata-rata air limbah (liter / detik)

$P$  = jumlah penduduk total (orang)

$Q_{ab}$  = debit satuan air limbah (liter / detik)

3) Debit Harian Maksimum ( $Q_{md}$ )

Debit maksimum dirumuskan sebagai :

$$Q_{md} = f_m \times Q_r \dots \dots \dots [3]$$

Keterangan :

$Q_{md}$  = debit harian maksimum (liter/detik)

$f_m$  = faktor maksimum (1,1-1,3)

$Q_r$  = debit air limbah rata-rata (liter/detik)

4) Debit Minimum ( $Q_{min}$ )

Persamaan untuk menghitung debit minimum adalah :

$$Q_{min} = 0,2 \times \left(\frac{P}{1000}\right)^{0,2} \times 0,8 \times Q_r \dots \dots \dots [4]$$

Keterangan :

$Q_{min}$  = Debit air buangan minimum (liter/detik)

$Q_r$  = Debit air limbah rata-rata (liter/detik)

$P$  = Jumlah penduduk (orang)

5) Debit Infiltrasi ( $Q_{inf}$ )

Besarnya debit infiltrasi dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$Q_{inf} = (0,2 \times Q_r) + \left(\frac{L}{1000} \times q_{inf}\right) \dots \dots \dots [5]$$

Keterangan :

$Q_{inf}$  = Debit infiltrasi saluran (liter/detik/km)

$Q_r$  = Debit air limbah rata-rata (liter/detik)

Besarnya  $q_{inf}$  = 2 liter/detik/km

6) Debit Puncak ( $Q_{peak}$ )

Besarnya faktor puncak dihitung berdasarkan persamaan berikut (Abdul Wahid Amiri dkk, 2016):

$$F_p = \frac{18 + \sqrt{\frac{P}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{P}{1000}}} \dots \dots \dots [6]$$

Besarnya debit puncak dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$Q_p = (F_p \times Q_{md}) + Q_{inf} \dots \dots \dots [7]$$

Keterangan :

$Q_p$  = Debit puncak (liter/detik)

$Q_{inf}$  = Debit infiltrasi saluran (liter/detik/km)

$Q_{md}$  = Besarnya debit air limbah maksimum (liter/detik)

$F_p$  = Faktor *Peak*

$P$  = Jumlah penduduk (orang)

**Persamaan Geser Aliran**

Persamaan geser aliran yang digunakan adalah persamaan Hazen – Williams sebagai berikut (Hardjosuprpto, 2000):

$$V = 1,318 \times C \times R^{0,63} \times S^{0,54} \dots \dots \dots [8]$$

Keterangan :

$V$  = kecepatan (m/det)

$C$  = koefisien Hazen-Williams,

R = jari-jari hidrolis (m)

S = kemiringan gradien hidrolis / kemiringan permukaan air

### Kedalaman Berenang Aliran Air Limbah dalam Pipa

Aliran air limbah diusahakan secara gravitasi, tidak boleh dalam keadaan penuh, kecuali pada instalasi pemompaan. Aliran air dalam pipa dianjurkan mempunyai perbandingan maksimum antara kedalaman air (d) dan diameter pipa (D) yaitu  $d/D = 2/3$ . Untuk pipa berdiameter  $\leq 600$  mm,  $d/D$  dianjurkan 0,6. Sedangkan untuk pipa berdiameter  $> 600$  mm, angka  $d/D$  maksimum 0,8 (Hardjosuprpto, 2000).

### Kecepatan Aliran Air Limbah dalam Pipa

Kecepatan pengaliran minimum adalah sebesar 0,3 m/det agar memenuhi syarat *self cleansing velocity* dan syarat kecepatan maksimum sebesar 3 m/det (Hardjosuprpto, 2000).

### Perletakan Pipa

Pipa yang digunakan dalam perencanaan jaringan perpipaan IPAL UNS berbahan PVC. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam perletakan pipa sebagai berikut (Perencanaan Pengelolaan Air Limbah dengan Sistem Terpusat Kementerian Pekerjaan Umum, 2015):

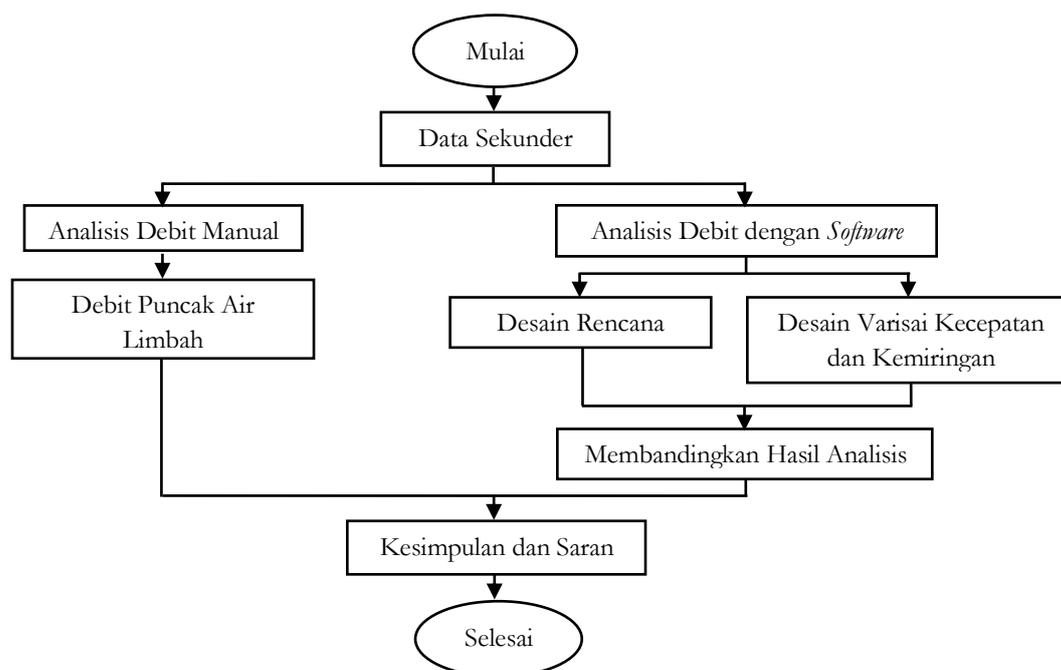
- 1) Kedalaman perletakan pipa minimal untuk perlindungan pipa dari beban di atasnya dan gangguan lain.
- 2) Kedalaman galian pipa :
  - a) Persil  $> 0,4$  m (bila beban ringan) dan  $> 0,8$  m (bila beban berat)
  - b) Pipa *service* 0,75 m
  - c) Pipa lateral (1-1,2) m
- 3) Kedalaman maksimal pipa induk untuk saluran terbuka (*open trench*) 7m atau dipilih kedalaman ekonomis dengan pertimbangan biaya dan kemudahan/resiko pelaksanaan galian dan pemasangan pipa.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa jumlah civitas akademika di UNS Ketingan yang meliputi jumlah dosen, karyawan dan mahasiswa disetiap gedung di UNS. Analisis debit puncak air limbah menggunakan dua cara yaitu dengan cara manual sesuai persamaan 1 sampai dengan persamaan 7 diatas dan dengan bantuan *software* perhitungan jaringan penyalur air kotor.

### Tahap Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 Diagram Alir Penelitian berikut ini.

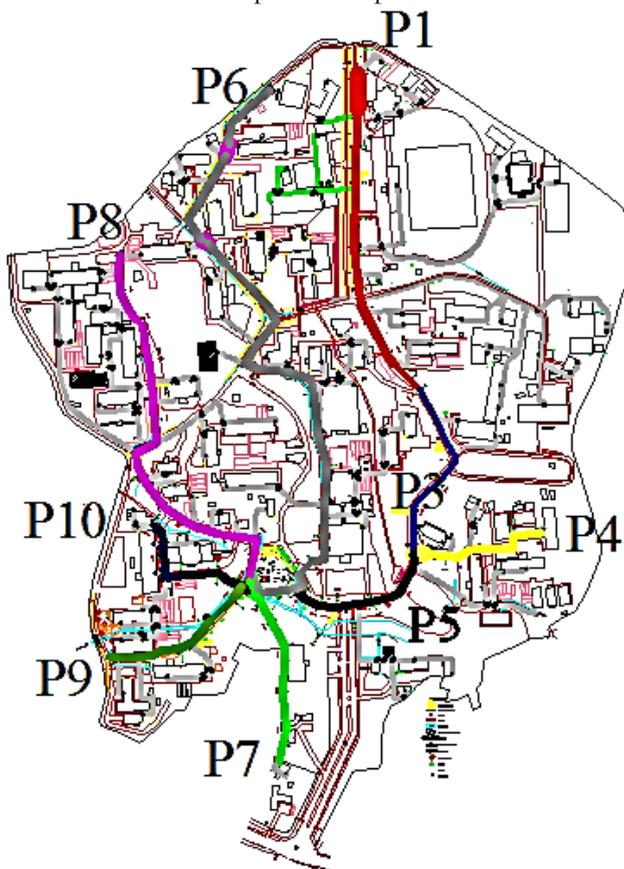


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Jaringan Pipa Air Limbah yang Melayani Tiap Gedung di UNS

Sketsa jaringan layanan pipa utama IPAL UNS dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Peta Jaringan Pipa Layanan IPAL UNS

### Analisis Debit Puncak Secara Manual

Penjelasan mengenai perhitungan manual dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Perhitungan Manual Debit Puncak Air Limbah

No.	Peruntukan Bangunan	Jumlah Pengguna	Debit Satuan Air Bersih (liter/orang/detik)	Debit Satuan Air Limbah (liter/detik)	Debit Rata-Rata Air Limbah (liter/detik)
1	Kantor (Dosen dan Karyawan)	5103	8	0.0028	0.00222
2	Kelas (Mahasiswa)	38214	5	0.0014	0.00111
3	Kantin	75	1	0.0014	0.00111
4	Perpustakaan	598	3	0.0023	0.00185
5	Tempat Ibadah	2844	0.5	0.0028	0.00222
6	Laboratorium	398	8	0.0052	0.00417
7	Pengunjung	7077	5	0.0014	0.00111
8	Wisma Tamu	250	24	0.0017	0.00139
9	Rumah Rektor	9	24	0.0017	0.00139
	Jumlah	54568			71.1921

Hasil perhitungan tersebut mendapatkan nilai debit rata-rata air limbah ( $Q_r$ ) sebesar 71.1921 liter/detik kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai debit puncak sebagai berikut:

$$\text{Debit Maksimum Harian, } Q_{md} = f_m \times Q_r = 1.3 \times 71.1921 = 92.5498 \text{ liter/detik}$$

$$\text{Debit Infiltrasi, } Q_{inf} = (0,2 \times Q_r) + \left(\frac{L}{1000} \times Q_{inf}\right) = (0,2 \times 71.1921) + \left(\frac{3531.77}{1000} \times 2\right) = 21.3020 \text{ liter/detik}$$

$$\text{Faktor Peak, } F_p = \frac{18 + \sqrt{\frac{P}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{P}{1000}}} = \frac{18 + \sqrt{\frac{54598}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{54598}{1000}}} = 2.229$$

$$\text{Debit Puncak, } Q_p = (F_p \times Q_{md}) + Q_{inf} = (2.229 \times 92.5498) + 21.3020 = 227.6389 \text{ liter/detik}$$

Dari analisis manual tersebut didapatkan nilai debit puncak sebesar 227.6389 liter/detik.

### Analisis Debit dengan *Software*

#### 1) Hasil Analisis Desain Rencana

Nilai debit puncak hasil analisis *software* sebesar 218.081 liter/detik. Contoh hasil analisis desain rencana jalur Pipa P1 dapat dilihat pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Hasil Analisis Desain Rencana Jalur Pipa P1

Jalur Pipa	Conduit	Diameter (mm)	Velocity (m/det)	Flow (liter/detik)	Capacity (Design) (liter/detik)	Capacity (Full Flow) (liter/detik)	Flow / Capacity (Design) (%)
Pipa P1	CO-M37-M36	100	0.26	0.688	10.858	10.858	6.30
	CO-M36-M19	150	1.40	24.273	101.607	101.607	23.9
	CO-M19-M35	150	1.96	34.553	11.131	11.131	310.4
	CO-M35-M	150	1.96	34.616	59.910	59.910	57.8
	CO-M-M40	150	1.96	34.623	60.024	60.024	57.7
	CO-M40-M59	150	2.43	42.884	12.614	12.614	340.0
	CO-M59-M54	150	2.43	42.893	13.653	13.653	314.2
	CO-M54-M34	150	2.62	46.214	12.321	12.321	375.1
	CO-M34-M39	150	2.62	46.318	15.681	15.681	295.4
	CO-M39-M1	200	2.05	64.412	33.404	33.404	192.8
	CO-M1-M4	250	1.85	90.650	59.935	59.935	151.2
	CO-M4-M62	250	1.89	92.734	50.682	50.682	183.0
	CO-M62-M3	250	1.89	92.745	57.095	57.095	162.4

Tabel 4 di atas menunjukkan adanya saluran pipa yang kecepatan alirannya kurang dari syarat yang ditentukan yakni pada saluran pipa (*conduit*) CO-M37-M36. Debit aliran yang melebihi desain sebanyak 9 saluran pipa (*conduit*), itu artinya telah terjadi aliran penuh pada pipa yang dapat mengakibatkan kerusakan pada jaringan pipa IPAL. Rekapitulasi kecepatan aliran air limbah pada desain rencana dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Rekapitulasi Kecepatan Aliran Air Limbah Desain Rencana

No	Kecepatan (m/det)	Jumlah	Panjang (m)	Persentase
1	< 0.3	2	83.00	0.93%
2	0.3 - 3	100	3344.79	97.56%
3	3 <	3	103.98	1.50%
	Jumlah	105	3531.77	100%

Tabel 5 di atas menunjukkan bahwa persentase kecepatan yang tidak sesuai dengan syarat tidak terlalu besar yakni hanya sekitar 2.44% dan yang memenuhi persyaratan sebesar 97.56%. Masalah yang dapat timbul akibat kecepatan dibawah syarat misalnya materi yang terbawa oleh aliran air limbah dapat mengendap dipermukaan saluran sehingga mengganggu sistem pengaliran limbah menuju IPAL. Sedangkan akibat kecepatan yang melebihi persyaratan adalah penggerusan permukaan pipa, sehingga dapat memperpendek umur penggunaan pipa. Selain menimbulkan penggerusan pada pipa, kecepatan aliran air limbah yang tinggi dapat menimbulkan semburan air limbah saat masuk ke dalam manhole sehingga *manhole* dapat mengalami kerusakan.

Masalah yang terjadi selain kecepatan yang tidak memenuhi syarat adalah kedalaman berenang air limbah yang melebihi kapasitas desain rencana dengan persyaratan d/D maksimal 0.6. Meskipun kecepatan aliran memenuhi

syarat namun ternyata debit aliran masih terlalu besar bila dibandingkan dengan debit desain rencana. Desain dapat dikatakan memenuhi syarat apabila *flow/capacity design* atau kedalaman berenang aliran tidak lebih dari 100%. Rekapitulasi debit aliran air limbah pada desain rencana dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 6. Rekapitulasi Kedalaman Berenang Desain Rencana

No	Flow / Capacity Design (Kedalaman Berenang)	Jumlah Conduit	Panjang (m)	Persentase
1	Memenuhi syarat	26	840	23.78%
2	Tidak memenuhi syarat	79	2691.77	76.22%
	Jumlah	105	3531.77	100.00%

Tabel 6 di atas menunjukkan bahwa sebagian besar aliran pada pipa melebihi kapasitas debit desain rencana. Hal ini berarti telah terjadi aliran penuh, syarat kedalaman berenang maksimal  $d/D$  sebesar 0.6 terlampaui sehingga berpotensi merusak struktur jaringan perpipaan. Masalah ini dapat di atasi dengan mengubah diameter pipa dan kemiringannya agar kecepatan dan debit aliran dapat sesuai dengan persyaratan.

Hasil analisis desain rencana terhadap kedalaman perletakanan pipa (*Cover*) terdapat cukup banyak saluran pipa yang tidak memenuhi syarat penanaman pipa. Rekapitulasi kedalaman penanaman pipa saluran air limbah dapat dilihat pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Rekapitulasi Kedalaman Penanaman Pipa Air Limbah Desain Rencana

No	Kedalaman Pipa (m)	Jumlah	Persentase
1	< 1	45	42.86%
2	1 - 7	60	57.14%
3	7 <	0	0.00%
	Jumlah	105	100.00%

Tabel 7 di atas menunjukkan bahwa sebanyak 42.86% pipa yang memiliki kedalaman perletakannya kurang dari 1 meter, hal ini dikhawatirkan dapat mengganggu saluran pipa lain seperti pipa air bersih dan saluran listrik. Untuk itu perlu dilakukan perubahan kedalaman penanaman pipa agar sesuai dengan syarat yang ditentukan.

## 2) Hasil Analisis Desain Dengan Variasi Kecepatan Dan Kemiringan Saluran

Dalam pemilihan desain hasil analisis digunakan kriteria diantaranya kedalaman perletakan pipa dan kecepatan aliran air limbah, sedangkan untuk syarat  $d/D$  desain dengan variasi kecepatan dan kemiringan semua memenuhi. Hasil analisis lengkap dari tiga desain dengan variasi kecepatan dan kemiringan dapat dilihat pada Lampiran B. Rekapitulasi perbandingan hasil analisis dari ketiga desain tersebut dijelaskan pada uraian berikut:

### a. Berdasarkan Kedalaman Perletakan Pipa

Rekapitulasi perbandingan kedalaman perletakan pipa dapat dilihat pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8. Rekapitulasi Kedalaman Perletakan Pipa Air Limbah Desain dengan Variasi Kecepatan dan Kemiringan

No	Desain	Kedalaman (m)	Prosentase
1	Desain kecepatan minimum	< 1	0.00%
		1 - 7	100.00%
		7 <	0.00%
2	Desain kecepatan medium	< 1	0.00%
		1 - 7	100.00%
		7 <	0.00%
3	Desain kecepatan maksimum	< 1	0.00%
		1 - 7	85.71%
		7 <	14.29%

Tabel 8 di atas menunjukkan bahwa desain yang memenuhi syarat kedalaman perletakan pipa adalah desain dengan kecepatan minimum dan desain dengan kecepatan medium. Sedangkan desain dengan kecepatan maksimum gugur karena terdapat saluran yang memiliki kedalaman perletakan pipa lebih dari 7 meter yakni sebanyak 15 titik atau sebesar 14.29% dari total saluran sebanyak 105 saluran.

b. Berdasarkan Syarat Kecepatan

Rekapiulasi perbandingan kecepatan aliran pada pipa dapat dilihat pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9. Rekapiulasi Perbandingan Kecepatan Desain kecepatan minimum dan kecepatan medium

No	Kecepatan (m/det)	Desain Kecepatan Minimum		Desain Kecepatan Medium	
		Panjang (m)	Persentase	Panjang (m)	Persentase
1	< 0.3	58.65	1.66%	0.00	0.00%
2	0.3 - 3	3473.12	98.34%	3531.77	100.00%
3	3 <	0.00	0.00%	0.0000	0.00%
Jumlah		3531.77	100%	3531.77	100%

Tabel 9 menunjukkan bahwa nilai kecepatan pada desain kecepatan minimum sebesar 1.66% tidak memenuhi syarat minimal kecepatan. Sedangkan pada desain kecepatan medium semua saluran sepanjang 3531.77 m kecepatannya memenuhi syarat.

**3) Pemilihan Desain**

Dengan demikian dari ketiga variasi desain tersebut desain yang dipilih adalah desain kecepatan medium. Contoh hasil analisis desain kecepatan medium jalur pipa P1 dapat dilihat pada Tabel 10 berikut:

Tabel 10. Hasil Analisis Desain Kecepatan Medium Jalur Pipa P1

Jalur Pipa	Conduit	Diameter (mm)	Velocity (m/det)	Flow (liter/detik)	Capacity (Design) (liter/detik)	Capacity (Full Flow) (liter/detik)	Flow / Capacity (Design) (%)
Pipa P1	CO-M37-M36	100	0.35	0.688	9.292	13.885	7.40
	CO-M36-M19	150	1.80	24.273	26.993	40.332	89.9
	CO-M19-M35	200	1.28	34.553	57.523	85.949	60.1
	CO-M35-M	200	1.28	34.616	43.688	65.277	79.2
	CO-M-M40	200	1.24	34.623	57.523	85.949	60.2
	CO-M40-M59	200	2.10	42.884	57.256	85.551	74.9
	CO-M59-M54	250	1.19	42.893	75.143	112.277	57.1
	CO-M54-M34	250	1.98	46.214	100.057	149.504	46.2
	CO-M34-M39	300	1.08	46.318	109.300	163.315	42.4
	CO-M39-M1	375	1.07	64.412	177.853	265.746	36.2
	CO-M1-M4	375	1.33	90.650	157.650	235.558	57.5
	CO-M4-M62	375	1.35	92.734	156.646	234.058	59.2
	CO-M62-M3	375	1.34	92.745	156.643	234.053	59.2

Tabel 10 di atas menunjukkan bahwa semua saluran pipa kecepatan alirannya sudah memenuhi syarat, begitu juga dengan debit alirannya tidak melebihi kapasitas desain. Dari hasil analisis desain dengan kecepatan dan kemiringan medium, didapatkan bahwa semua saluran pipa kedalaman berenangnya sudah memenuhi syarat yang ditentukan.

**4) Perbandingan Diameter Desain Rencana dengan Desain Kecepatan Medium**

Dari hasil analisis desain rencana dan desain dengan kecepatan medium, ukuran diameter kedua desain tersebut dibandingkan untuk mengetahui seberapa besar perubahan ukuran diameternya. Rekapitulasi perubahan ukuran diameter pipa saluran dapat dilihat pada Tabel 11 berikut:

Tabel 11. Perbandingan Diameter Desain Rencana dengan Desain Kecepatan Medium

No	Diameter (mm)	Desain Rencana		Desain Kecepatan Medium	
		Panjang (m)	Persentase	Panjang (m)	Persentase

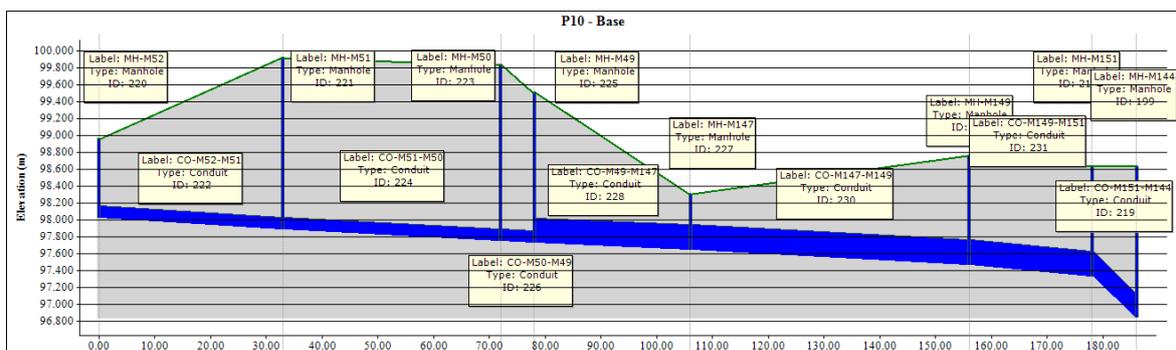
1	100	1211.98	34.32%	278.00	7.87%
2	150	1070.15	30.30%	623.00	17.64%

Lanjutan Tabel 11

No	Diameter (mm)	Desain Rencana		Desain Kecepatan Medium	
		Panjang (m)	Persentase	Panjang (m)	Persentase
3	200	470.64	13.33%	600.55	17.00%
4	250	630.00	17.84%	494.50	14.00%
5	300	149.00	4.22%	653.34	18.50%
6	375			571.40	16.18%
7	450			286.00	8.10%
8	600			24.98	0.71%
Jumlah		3531.77	100.00%	3531.77	100.00%

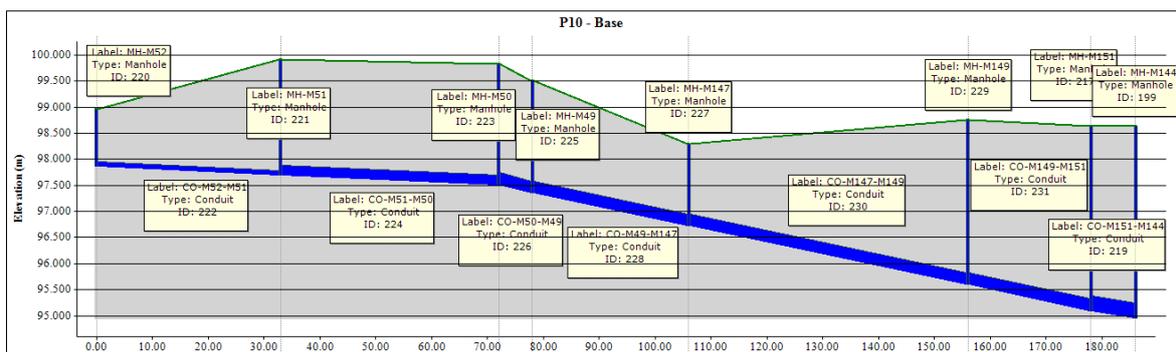
Tabel 11 di atas menunjukkan adanya perubahan persentase ukuran diameter dan panjang pipa desain rencana dan desain kecepatan medium. Diameter pipa 100 mm mengalami penurunan sebesar 26.45%, diameter 150 mm mengalami penurunan sebesar 12.66%, diameter 200 mm mengalami kenaikan sebesar 3.68%, diameter 250 mm mengalami penurunan sebesar 3.84% dan diameter 300 mm mengalami kenaikan sebesar 14.28%. Contoh hasil analisis lainnya berupa gambar profil saluran Pipa P10 dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 dibawah.

Hasil analisis desain rencana berupa profil memanjang saluran Pipa P10 dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Profil Saluran Pipa P10 Desain Rencana

Hasil analisis desain kecepatan medium berupa profil memanjang saluran Pipa P10 dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Profil Saluran Pipa P10 Desain Kecepatan Medium

Gambar 3 dan Gambar 4 di atas menunjukkan aliran air limbah yang mengalir dari kiri ke arah kanan profil. Diameter dan kemiringan pipa rencana yang ditunjukkan pada Gambar 3 mengalami perubahan pada desain pipa kecepatan medium yang ditunjukkan Gambar 4. Perubahan yang terjadi pada pipa P10 tersebut sebagian besar mengalami penurunan ukuran diameter dan diikuti dengan naiknya nilai kemiringan saluran pipa.

## KESIMPULAN

Dari analisis data yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis Software Perhitungan Jaringan Air Kotor total debit timbulan air limbah domestik yang dihasilkan dari kawasan kampus UNS setiap harinya sebesar 218.0806 liter/detik. Sedangkan dengan cara manual sebesar 227.6389 liter/detik.
2. Debit air limbah tiap cabang pipa rencana yaitu, untuk pipa P1 sebesar 92,74 liter/detik, Pipa P3 sebesar 100,45 liter/detik, Pipa P4 sebesar 13,55 liter/detik, Pipa P5 sebesar 115,08 liter/detik, Pipa P6 sebesar 161,09 liter/detik, Pipa P7 sebesar 218,08 liter/detik (debit total), Pipa P8 sebesar 53,29 liter/detik, Pipa P9 sebesar 16,63 liter/detik dan Pipa P10 sebesar 38,55 liter/detik.
3. Beberapa saluran pipa pada desain rencana yang kecepatan alirannya tidak memenuhi syarat kecepatan 0,3 m/det sampai 3,0 m/det adalah saluran pipa CO-M37-M36 kekepatannya 0,26 m/det, CO-M52-M51 kekepatannya 0.09 m/det, CO-M87-M114 kekepatannya 5.13 m/det, CO-M144-M116 kekepatannya 5.62 m/det dan CO-M144-IPAL kekepatannya 27,76 m/det. Persentase saluran yang debitnya melebihi kapasitas rencana sebesar 76.22%. Selain itu untuk kedalaman penanaman pipa rencana ada 45 titik yang tidak memenuhi syarat minimal kedalaman 1 m. Saluran dalam desain rencana yang rawan terjadi penyumbatan karena kekepatannya dibawah persyaratan adalah saluran CO-M52-M51.
4. Dari hasil analisis didapat bahwa desain rencana belum optimal, maka dilakukan analisis dengan variasi kecepatan aliran dan kemiringan saluran pipa maka didapatkan desain dengan kecepatan medium adalah yang paling optimal dibanding desain lain karena memenuhi syarat kriteria yang telah ditentukan.

## REFERENSI

- Anonim.2003.*Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*.Kementerian Lingkungan Hidup.Jakarta.
- Anonim.2005. *Peraturan Gubernur Propinsi DKI Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 Tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Propinsi DKI Jakarta*.Jakarta.
- Anonim.2005. *SNI 03-7065-2005 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem Plambing*.Badan Standarisasi Nasional.Jakarta.
- Anonim.2015.*Perencanaan Pengelolaan Air Limbah dengan Sistem Terpusat*. Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Cipta Karya.Jakarta.
- Anonim.2015.*Tatacara Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*.Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Cipta Karya.Jakarta.
- Assaduzzman, Abdul Wahid Amiri, June-ichiro Giorgos Tsutsumi, Ryo Nakamatsu, dan Mohammad. *Gravity Sewer Collection Design, Using GIS & SewerCAD*. Academic Star Publishing Company Vol.2 No.6, Juni 2016 (403-410) ISSN:2333-2581
- D.A. Okun dan G. Ponghis.1975. *Community Wastewater Colletion and Disposal*. World Health Organization. Geneva.
- Hardjosuprpto Masduki. 2000. *Penyaluran Air Buangan (PAB) Volume II*.ITB. Bandung.
- Japan International Cooperation Agency.1990. *The Study On Urban Drainage and Wastewater Disposal Project In The City Of Jakarta : Master Plan Study (Main Report)*.Jakarta.
- Metcalf & Eddy, Inc.1991.*Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, 3<sup>rd</sup> ed*. McGraw-Hill Inc.New York.
- Morimura, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo.2009.*Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing*.Pradnya Paramita.Jakarta.
- Qasim, Syed R. 1985. *Wastewater Treatment Plant (Planning, Design, and Operation)*.CBS College Publishing. Amerika Serikat.
- Tim Konsultan IPAL UNS. 2015. *Gambar Perencanaan Teknis Sistem Air Limbah IPAL Kawasan Kota Surakarta*. CV. Piramida Kreasi Mandiri.Surakarta.
- Virupakshi , Ravikiran K dan Arjun S. *Design of Sewer Network System For The Janwad Village Using SewerCAD V8i*. International Reasearch Journal of Engineering and Technology Vol. 03, Juli 2016 ISSN:2395-0056