

**EVALUASI KINERJA DAN
PENGEMBANGAN PENGOLAHAN
INSTALASI PENGOLAH AIR LIMBAH (IPAL)
MOJOSONGO**

***PERFORMANCE EVALUATION AND
PROCESSING DEVELOPMENT OF
MOJOSONGO WASTEWATER TREATMENT PLANT***

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret
Surakarta*



Disusun Oleh :

**FATAYAH NAHDLATUL UMMAH
I 0112048**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

EVALUASI KINERJA DAN PENGEMBANGAN PENGOLAHAN INSTALASI PENGOLAH AIR LIMBAH (IPAL) MOJOSONGO

*PERFORMANCE EVALUATION AND
PROCESSING DEVELOPMENT OF
MOJOSONGO WASTEWATER TREATMENT PLANT*

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret
Surakarta*



Disusun Oleh :

FATAYAH NAHDLATUL UMMAH
I 0112048

Telah disetujui untuk dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendaratan
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

Persetujuan :

Dosen Pembimbing I

Ir. Budi Utomo, M.T.
NIP. 19600629 198702 1 002

Dosen pembimbing II

Ir. Sudarto, M.Si.
NIP. 19570327 198603 1 002

PENGESAHAN SKRIPSI

EVALUASI KINERJA DAN PENGEMBANGAN PENGOLAHAN INSTALASI PENGOLAH AIR LIMBAH (IPAL) MOJOSONGO

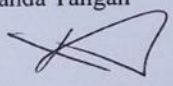
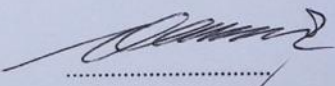
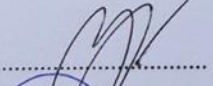
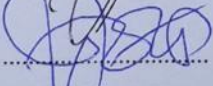
(PERFORMANCE EVALUATION AND PROCESSING DEVELOPMENT OF
MOJOSONGO WASTEWATER TREATMENT PLANT)

Disusun Oleh :

FATAYAH NAHDLATUL UMMAH
I 0112048

Telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendadaran Program Studi Teknik
Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta pada :

Hari : Kamis
Tanggal : 2 Agustus 2018

Nama/NIP	Tim Penguji	Tanda Tangan
1. Ir. Budi Utomo, M.T. 19600629 198702 1 002		
2. Ir. Sudarto, M.Si. 19570327 198603 1 002		
3. Ir. Adi Yusuf Muttaqien, M.T. 19581127 198803 1 001		
4. Ir. Solichin, M.Si. 19600110 198803 1 002		

Disahkan,
Tanggal : 21 AUG 2018

Kepala Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS


Wibowo, ST, DEA
NIP. 196810071995021001

ABSTRAK

Fatayah Nahdlatul Ummah, Budi Utomo, Sudarto, 2018. **Evaluasi Kinerja dan Pengembangan Pengolahan Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL) Mojosoongo**. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL) Mojosoongo adalah salah satu unit pengolah air limbah rumah tangga di Kota Surakarta yang berlokasi di Kelurahan Mojosoongo. IPAL Mojosoongo melayani kawasan bagian utara Kota Surakarta yang meliputi wilayah Mojosoongo, Nusukan, dan Kadipiro. Pengolahan air limbah di IPAL Mojosoongo dilakukan oleh PDAM Kota Surakarta dengan pengembangan kapasitas pengolahan sebesar 50 L/detik sejak 2011 dan telah melayani 5.425 SR dari pelanggan aktif pada 2015.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja eksisting dan memprediksi kinerja kuantitatif, terutama debit masukan di IPAL Mojosoongo berdasarkan proyeksi pertumbuhan jumlah penduduk dan jumlah pelanggan air limbah di wilayah pelayanan dalam 20 tahun mendatang. Alternatif pengembangan pengolahan air limbah juga diberikan sebagai salah satu solusi jangka panjang dalam konsep pengelolaan air limbah rumah tangga di Kota Surakarta.

Hasil analisis penelitian menunjukkan bahwa kinerja eksisting IPAL Mojosoongo dari segi kuantitatif berdasarkan debit air limbah yang mengalir dari 5.425 SR adalah 31 L/detik, sedangkan dari segi kualitatif berdasarkan nilai efisiensi pengolahan dari hasil uji kualitas air limbah adalah 71,31% efisiensi BOD₅ dan 60,83% efisiensi COD. Prediksi kinerja kuantitatif, yaitu debit masukan IPAL Mojosoongo dalam 20 tahun mendatang berdasarkan jumlah penduduk sebesar 149 L/detik dan berdasarkan jumlah pelanggan sebesar 50 L/detik. Alternatif pengembangan pengolahan air limbah sebagai solusi jangka panjang difokuskan pada pengolahan utama IPAL, yaitu unit aerasi, dengan melakukan perubahan waktu tinggal, perubahan alur sistem pengolahan secara paralel, dan peningkatan jumlah penggunaan aerator.

Kata kunci : Mojosoongo, IPAL, debit, jumlah penduduk, jumlah pelanggan.

ABSTRACT

Fatayah Nahdlatul Ummah, Budi Utomo, Sudarto, 2018. ***Performance Evaluation and Processing Development of Mojosongo Wastewater Treatment Plant***. Thesis. Civil Engineering Program. Faculty of Engineering. Sebelas Maret University. Surakarta.

Mojosongo wastewater treatment plant (WWTP) is one of the domestic wastewater treatment units in Surakarta, where is located in Mojosongo village. Mojosongo WWTP serves the northern area of Surakarta that includes the Mojosongo, Nusukan, and Kadipiro areas. Wastewater treatment is done by the regional water company of Surakarta with processing development capacity is 50 L/s since 2011 and has served 5,425 home connections from active customers by 2015.

The purpose of this research is to evaluate the performance of existing and to predict the quantitative performance, especially input discharge at Mojosongo WWTP based on the projected of population growth and the number of wastewater customers in the service area in the next 20 years. Alternative development of wastewater treatment is also given as one of long-term solution in domestic wastewater management concept in Surakarta.

The result of research analysis shows that the performance of Mojosongo WWTP in quantitative terms based on the waste water discharge flowing from 5,425 home connections is 31 L/s, while in qualitative terms based on the value of processing efficiency of the wastewater quality test is 71,31% BOD5 efficiency and 60,83% COD efficiency. Mojosongo WWTP in quantitative performance prediction, which is input debit, over the next 20 years based on the population is 149 L/s and based on the number of customers is 50 L/s. Alternative development of wastewater treatment as a long-term solution focused on the main processing of WWTP, which is aeration unit, by changing the residence time, parallel processing system change, and increasing the number of aerator usage.

Keywords : Mojosongo, WWTP, discharge, population, number of customers.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan pokok bagi kelangsungan hidup manusia yang digunakan sebagai air minum, untuk mandi, mencuci, sanitasi, pengairan, dan lain sebagainya secara konvensional. Pemanfaatan dan penggunaan air, terutama air bersih, dalam aktivitas manusia dapat menyebabkan turunnya kualitas air sehingga dihasilkan air limbah. Salah satu sumber air limbah terbesar berasal dari rumah tangga dikarenakan air limbah yang tidak memiliki akses terhadap bangunan pengolahan akan menjadi sumber pencemaran utama bagi air dan tanah yang dapat menimbulkan dampak serius bagi lingkungan, terutama di daerah perkotaan.

Kota Surakarta memiliki luas wilayah 44,4 km² dengan jumlah penduduk mencapai ±500.000 jiwa, sehingga dapat dipastikan bahwa air limbah yang dihasilkan dari aktivitas penduduk Kota Surakarta berada dalam jumlah yang cukup tinggi yaitu ±80% didominasi oleh rumah tangga dan ±20% oleh komersial dan niaga (BPS Kota Surakarta, 2014). Pengolahan air limbah rumah tangga atau domestik untuk Kota Surakarta telah ditetapkan dalam SP Walikota Surakarta Nomor 800/646 Tahun 1998 dan Perda Kota Surakarta Nomor 3 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Cair. Konsep pengelolaan air limbah domestik di Kota Surakarta terbagi menjadi sistem setempat (*onsite*) dan sistem perpipaan (*offsite*). Sistem *onsite* terkait dengan penggunaan *septic tank* dan IPAL komunal secara setempat, sedangkan sistem *offsite* akan terhubung atau terlayani ke unit pengolahan air limbah terdekat melalui perpipaan. Sistem *offsite* ini merupakan salah satu usaha jangka panjang dalam rangka peningkatan kuantitas dan kualitas pengolahan air limbah serta sebagai bentuk penanggulangan pencemaran air dan tanah dari air limbah domestik.

Salah satu unit pengolahan air limbah di Kota Surakarta adalah IPAL Mojosongo yang berlokasi di Kelurahan Mojosongo. IPAL ini melayani kawasan bagian utara Kota Surakarta yaitu wilayah Mojosongo, Nusukan, dan Kadipiro. Pengelolaan air limbah di IPAL Mojosongo dilakukan oleh PDAM Kota Surakarta sejak tahun 1999 dengan pengembangan kapasitas pengolahan pada tahun 2011 menjadi 50 L/detik dan telah melayani ± 5.000 sambungan rumah saat ini. Seiring dengan perkembangan pembangunan yang cukup pesat, peningkatan jumlah penduduk dan jumlah pelanggan air limbah di wilayah pelayanan IPAL Mojosongo akan menyebabkan peningkatan jumlah produksi air limbah domestik yang diolah oleh IPAL Mojosongo.

Fakta mengenai terjadinya peningkatan jumlah penduduk di wilayah Mojosongo, Nusukan, dan Kadipiro dapat dijelaskan sebagai berikut. Jumlah penduduk Mojosongo pada tahun 2009 adalah sebesar 44.665 jiwa dan pada tahun 2015 adalah sebesar 51.601 jiwa. Berdasarkan data jumlah penduduk yang diperoleh dari Kelurahan Mojosongo (2016) mulai tahun 2009 sampai 2015, diketahui bahwa terjadi pertambahan penduduk sebesar 2,44% setiap tahunnya. Peningkatan jumlah penduduk serupa terjadi di Nusukan dan Kadipiro dengan berdasarkan data jumlah penduduk yang diperoleh dari Kelurahan Nusukan (2016) dan Kelurahan Kadipiro (2016) mulai tahun 2009 sampai 2015. Pertumbuhan penduduk sebesar 1,05% terjadi di wilayah Nusukan dan 2,44% terjadi di wilayah Kadipiro setiap tahunnya.

Fakta mengenai peningkatan jumlah pelanggan IPAL Mojosongo juga sama seperti peningkatan jumlah penduduk di atas. Jumlah pelanggan aktif IPAL Mojosongo pada tahun 2007 adalah sebesar 4.474 SR dan pada tahun 2015 adalah sebesar 5.425 SR. Berdasarkan data jumlah pelanggan aktif di IPAL Mojosongo yang diperoleh dari PDAM Kota Surakarta (2016) mulai tahun 2007 sampai 2015, diketahui bahwa terjadi pertambahan pelanggan sebesar 2,51% setiap tahunnya. Angka-angka pertumbuhan tersebut dianggap akan relatif tetap terjadi di tahun-tahun mendatang.

Berdasarkan fakta-fakta di atas, dapat dinyatakan bahwa peningkatan jumlah produksi air limbah domestik akan berbanding lurus dengan peningkatan jumlah penduduk dan pelanggan air limbah di wilayah pelayanan IPAL Mojosongo dalam 20 tahun mendatang. Hal ini akan menyebabkan terjadinya peningkatan pencemaran air dan tanah oleh air limbah apabila sebagian besar sistem pengolahan air limbah domestik penduduk di wilayah pelayanan IPAL Mojosongo masih menggunakan sistem setempat (*onsite*). Akibat dari peningkatan tersebut menyebabkan pengolahan sistem *onsite* yang sebelumnya digunakan oleh sebagian besar penduduk terpaksa harus berubah menjadi sistem *offsite* sepenuhnya di masa mendatang.

Air limbah yang disalurkan ke IPAL Mojosongo ini memiliki pengaruh terhadap kinerja kuantitatif dan kinerja kualitatif dari IPAL itu sendiri. Oleh karena itu, perlu dievaluasi kemampuan dari IPAL dalam mengolah produksi air limbah yang terjadi akibat dari pertambahan jumlah penduduk dan jumlah pelanggannya. Selanjutnya, diberikan solusi alternatif pengembangan pengolahan IPAL dalam mengolah air limbah di masa mendatang.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana evaluasi kinerja eksisting IPAL Mojosongo?
2. Bagaimana prediksi kinerja kuantitatif IPAL Mojosongo, yaitu debit masukan (*inflow*), dalam 20 tahun mendatang?
3. Bagaimana alternatif pengembangan yang dilakukan untuk sistem pengolahan air limbah di IPAL Mojosongo dalam 20 tahun mendatang?

1.3. Batasan Masalah

Pembatasan masalah diperlukan agar penulisan dapat lebih terkonsentrasi, tepat sasaran, dan mudah dikerjakan. Oleh karena itu, penulisan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di IPAL Mojosongo, yang berlokasi di Kelurahan Mojosongo, Kota Surakarta.
2. Aspek-aspek yang berhubungan dengan limbah cair domestik, meliputi sumber dan proses pengolahannya.
3. Evaluasi kinerja kuantitatif dilakukan untuk mengetahui kapasitas (debit) di IPAL Mojosongo.
4. Evaluasi kinerja kualitatif dilakukan untuk mengetahui efisiensi pengolahan di IPAL Mojosongo.
5. Perhitungan proyeksi dilakukan dengan asumsi laju pertumbuhan adalah tetap.
6. Penggunaan infrastruktur di IPAL Mojosongo diasumsikan dalam keadaan baik.
7. Tidak memperhitungkan debit air hujan.
8. Tidak memperhitungkan debit jam puncak dan debit hari maksimum.
9. Data-data sekunder yang digunakan berasal dari sejumlah lembaga / instansi terkait, yaitu IPAL Mojosongo, PDAM Kota Surakarta, Kantor Kelurahan, dan lain-lain.

1.4. Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai adalah :

1. Mengetahui hasil evaluasi kinerja eksisting IPAL Mojosongo.
2. Mengetahui prediksi kinerja kuantitatif IPAL Mojosongo, terutama debit masukan (debit *inflow*), dalam 20 tahun mendatang.
3. Mengetahui alternatif pengembangan yang dilakukan untuk sistem pengolahan air limbah di IPAL Mojosongo dalam 20 tahun mendatang.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bersifat terapan dan ditujukan untuk memberikan alternatif pengembangan pengolahan air limbah di IPAL Mojosongo. Maka dari itu, manfaat penelitian yang diharapkan dapat dilihat dari dua aspek, antara lain :

1. Manfaat Teoritis
 - a. Mengetahui langkah-langkah dalam pengevaluasian kinerja eksisting, baik kuantitatif dan kualitatif.
 - b. Mengetahui alternatif pengembangan pengolahan air limbah tentang sistem pengolahan.
2. Manfaat Praktis
 - a. Membantu pemerintah dalam meningkatkan kuantitas dan kualitas sanitasi masyarakat di perkotaan.
 - b. Membantu masyarakat yang berkeinginan untuk mengalirkan air limbahnya secara *offsite*.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 adalah suatu sistem pengolahan air limbah yang melakukan pengolahan terhadap air limbah domestik sehingga mutu air limbah yang dibuang ke lingkungan tidak melampaui baku mutu air limbah domestik yang telah ditetapkan dan membuat saluran pembuangan air limbah domestik tertutup dan kedap air agar tidak terjadi perembesan air limbah ke lingkungan. Pengolahan air limbah pada IPAL dilakukan secara bersama-sama (bersifat kolektif) sebelum dibuang ke badan air penerima guna mencegah terjadinya pencemaran lingkungan, khususnya bagi masyarakat perkotaan.

Ruang lingkup tugas IPAL dapat meliputi :

1. Pelaksanaan pengoperasian instalasi dan proses pengelolaan air limbah dan jaringan perpipaan.
2. Pengawasan dan penilaian terhadap pekerjaan pembangunan dan perbaikan yang diserahkan kepada pihak ketiga.
3. Pengadaan pemantauan terhadap kualitas air limbah.
4. Pelaksanaan analisis fisik, kimia, dan biologis (bakteriologi) serta pemakaian dan pengendalian penggunaan bahan kimia.
5. Pelaksanaan penelitian terhadap kemungkinan terjadinya pencemaran-pencemaran sumber air.
6. Pelaksanaan tugas-tugas lain yang diberikan atau diarahkan oleh Kepala Unit Pengelolaan Limbah.

Pengelolaan sanitasi di Kota Surakarta dilakukan oleh PDAM Kota Surakarta sejak 19 Juli 1999 dan pelayanannya dilakukan di beberapa instalasi pengolahan seperti IPAL Semanggi, IPAL Mojosongo, IPAL Pucang Sawit, dan IPLT Putri Cempo. IPAL dalam pelaksanaannya mengolah air limbah domestik dalam masa waktu tertentu akan berpengaruh terhadap kinerja yang dihasilkan maupun yang ingin dicapai. Menurut Bernardin dan Russel (1993), dinyatakan bahwa kinerja merupakan catatan tentang hasil-hasil yang diperoleh dari fungsi-fungsi pekerjaan atau kegiatan tertentu selama kurun waktu tertentu. Kinerja dapat diartikan pula sebagai kondisi yang harus diketahui dan diinformasikan kepada pihak-pihak tertentu untuk mengetahui tingkat pencapaian hasil suatu instansi yang dihubungkan dengan target atau rencana.

Hasil pengolahan air limbah di IPAL dapat ditunjukkan melalui hasil uji kualitas air limbah dengan mempertimbangkan beberapa parameter, seperti parameter BOD₅, COD, TSS, pH, suhu, dan sebagainya. Nilai dan skala efisiensi dari pengolahan air limbah yang telah berlangsung di IPAL dapat diketahui dari hasil uji kualitas tersebut. Efisiensi dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah suatu ketepatan cara (usaha, kerja) dalam menjalankan sesuatu dengan tidak membuang waktu, tenaga, dan biaya, sedangkan skala efisiensi adalah tingkat produksi efisiensi yang dihasilkan oleh operasi usaha di atas tingkat aktivitas minimum.

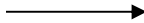
Skala efisiensi yang ingin dicapai dari suatu sistem pengolahan di IPAL diberikan berdasarkan pada kriteria-kriteria yang telah ditetapkan. Namun, beberapa penelitian-penelitian sebelumnya menggunakan skala efisiensi terkait pada hasil nilai efisiensinya, yaitu :

1. Nilai efisiensi di bawah angka 50%, termasuk dalam skala efisiensi yang terbilang buruk / belum baik.
2. Nilai efisiensi sama dengan angka 50%, termasuk dalam skala efisiensi yang terbilang cukup.
3. Nilai efisiensi di atas angka 50%, termasuk dalam skala efisiensi yang terbilang baik.

Penelitian mengenai IPAL Mojosongo telah banyak dilakukan dan beberapa diantaranya dijelaskan dalam Tabel 2.1. berikut.

Tabel 2.1. Penelitian Mengenai IPAL Mojosongo Kota Surakarta

No.	Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Arief Januar (2010)	Evaluasi Fungsi Struktur IPAL Mojosongo Surakarta	Fungsi dari masing-masing struktur pengolah air limbah di IPAL Mojosongo sudah berjalan dengan baik, namun beberapa efisiensi fungsi struktur belum mencapai kemampuan maksimal.
2.	Tomy Mahendra Yuri Asmoro (2010)	Efisiensi Unit Pengolah Limbah Cair Mojosongo PDAM Kota Surakarta	Analisis kualitas limbah cair yaitu pH berkisar 7,6–7,9, BOD efluen berkisar 12,7–28 mg/L, dan TSS efluen berkisar 10–30 mg/L. Nilai konstanta reaksi tingkat pertama adalah 2,679–7,774 per hari, efisiensi pengolahan TSS adalah 11,111–85,714%, dan efisiensi pengolahan BOD adalah 72–90,651%. Hasil efisiensi tersebut menunjukkan bahwa sistem pengolahan di IPAL Mojosongo telah berlangsung baik.
3.	Vina Arkedina (2013)	Tinjauan Yuridis Pengelolaan Limbah Rumah Tangga dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Limbah Domestik oleh Unit IPAL PDAM Mojosongo di Kota Surakarta	Proses pengolahan limbah rumah tangga oleh IPAL Mojosongo dilaksanakan sesuai dengan UU No.32/2009, Perda Jawa Tengah No.5/2012, dan Perda Surakarta No.3/1999. Hasil pengolahan limbah rumah tangga di IPAL Mojosongo memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan dalam Perda Jawa Tengah No.5/ 2012.

Dilanjutkan 

Lanjutan Tabel 2.1.

No.	Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
4.	Oktabrina Adithia Syukma (2010)	Analisis Kuantitas dan Kualitas Pengolahan Limbah Cair IPAL Mojosongo Surakarta	<p>a. Prediksi limbah cair yang dihasilkan IPAL Mojosongo pada tahun 2020 adalah 30,409 L/detik, sedangkan kapasitas saat ini sebesar 24 L/detik, sehingga IPAL tidak dapat menampung dan mengolah limbah cair dalam 10 tahun mendatang</p> <p>b. Kualitas limbah cair setelah dilakukan pengujian adalah : Inlet suhu 30°C, pH 7,3, COD 224,08 mg/L, BOD 25,93 mg/L. Outlet suhu 29°C, pH 8,3, COD 94,94 mg/L, BOD 17,95 mg/L.</p> <p>c. Biaya untuk pemasangan jaringan baru limbah cair per pelanggan diperoleh Rp. 564.800,00.</p>
5.	Riya Puji Lestari (2011)	Pengujian Kualitas Air di IPAL Mojosongo Kota Surakarta	<p>a. Nilai parameter hasil pengujian kualitas sampel air diperoleh : Inlet berbau, suhu 30°C, warna kehitaman, TSS 50 mg/L, pH 8, DO 7,14 mg/L, COD 113,76 mg/L, BOD₅ 55,39 mg/L. Outlet tidak berbau, suhu 29°C, warna kehijauan, TSS 20 mg/L, pH 7, DO 5,24 mg/L, COD 88,48 mg/L, BOD₅ 11,5 mg/L.</p> <p>b. Proses pengolahan air limbah di IPAL Mojosongo telah berjalan dengan baik dan layak untuk dibuang ke badan air penerima.</p>
6.	Fatayah Nahdlatul Ummah (2018)	Evaluasi Kinerja dan Pengembangan Pengolahan IPAL Mojosongo	<p>Hasil yang diharapkan :</p> <p>a. Mengetahui kinerja kuantitatif dan kualitatif IPAL Mojosongo.</p> <p>b. Mengetahui kapasitas IPAL Mojosongo pada 20 tahun mendatang.</p> <p>c. Mengetahui beberapa alternatif pengembangan sistem pengolahan di IPAL Mojosongo sebagai strategi di masa mendatang.</p>

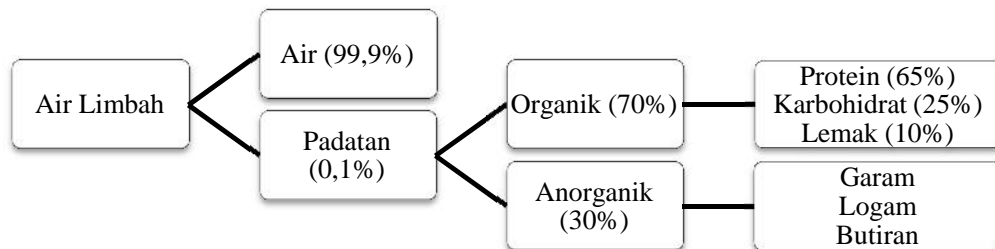
2.2. Dasar Teori

2.2.1. Pengertian Air Limbah

Definisi limbah menurut UU Nomor 13 Tahun 2010 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah sisa usaha dan/atau kegiatan. Limbah pada dasarnya berarti suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari suatu sumber hasil aktivitas manusia dan proses-proses alam yang tidak atau belum mempunyai nilai ekonomi atau bahkan dapat mempunyai nilai ekonomi yang negatif.

Menurut Sugiharto (2008), air limbah (*wastewater*) adalah kotoran dari masyarakat, rumah tangga, dan berasal dari industri, atau air permukaan serta buangan lainnya, sehingga air buangan ini merupakan hal yang bersifat kotoran umum. Maksud dari definisi tersebut adalah air limbah merupakan air buangan yang dihasilkan dari suatu kegiatan rumah tangga (domestik) dan/atau dari suatu kegiatan proses produksi industri atau juga dapat dihasilkan oleh alam yang pada suatu saat dan di tempat tertentu tidak diharapkan kehadirannya karena tidak mempunyai nilai ekonomis. Selain itu, air limbah juga bersifat merugikan karena memiliki kandungan mikroorganisme atau bakteri *pathogen* yang dapat menyebabkan penyakit.

Air limbah domestik banyak mengandung nutrien yang dapat merangsang pertumbuhan mikroorganisme dengan komposisi air limbah pada umumnya air (99,9%) dan padatan (0,1%). Padatan yang terdapat dalam air limbah terdiri dari padatan organik (70%) dan padatan anorganik (30%). Padatan organik dapat berupa protein (65%), karbohidrat (25%), dan lemak (10%), sedangkan padatan anorganik dapat berupa garam, logam-logam, dan butiran (Tebbutt, 1998). Penjelasan mengenai komposisi air limbah dapat diperlihatkan dengan skema pada Gambar 2.1. berikut.



Gambar 2.1. Skema Komposisi Air Limbah

2.2.2. Sumber Air Limbah

Air limbah tidak akan terlepas dari pembahasan tahapan proses pengolahan yang menggambarkan perjalanannya dari sumber asalnya. Dalam Sugiharto (2008), sumber asal air limbah dibedakan menjadi tiga, yaitu :

1. Air limbah rumah tangga, yang berasal dari perumahan, perdagangan, kelembagaan, dan rekreasi.
2. Air limbah industri, yang bergantung dari jenis dan besar-kecilnya industri, pengawasan pada proses industri, derajat penggunaan air, serta derajat pengolahan air limbah yang ada.
3. Air limbah limpasan dan rembesan air hujan yang meresap ke dalam tanah secara bersamaan sebagai akibat terjadinya hujan.

Air limbah rumah tangga (domestik) dapat dikelompokkan menjadi *sullage* (*gray water*) dan ekskreta (*black water*). *Sullage* (*gray water*) banyak mengandung bahan-bahan kimia, seperti sabun, deterjen, minyak, dan kotoran yang bercampur dari dapur, seperti daun, kulit sayuran, nasi, dan susu. Ekskreta (*black water*) merupakan bahan buangan yang berbentuk padat, contohnya tinja dan *urine* (air seni) manusia. Ekskreta mempunyai sifat yang lebih berbahaya dibandingkan dengan *sullage*. Hal ini disebabkan ekskreta mengandung banyak kuman *pathogen* yang merupakan sumber penyakit bawaan air (*water borne disease*) yang dapat menular kepada manusia seperti diare, hepatitis, disentri, dan gardiasis (Soemirat, 1994).

2.2.3. Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah perlu diketahui secara detail untuk mengetahui kandungan yang terdapat di dalam air limbah. Selain itu, perlu dipahami pula sifat-sifat air limbah beserta konsentrasinya untuk mengetahui tingkat pencemaran yang mungkin dapat ditimbulkan dan pengaruhnya terhadap lingkungan. Dalam menentukan karakteristik air limbah maka tiga jenis sifat perlu diketahui, yaitu :

1. Sifat fisika

Penentuan tingkat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang mudah terlihat. Sifat fisik air limbah ditentukan berdasarkan bau, warna, temperatur, dan kandungan zat padat sebagai efek estetika dari kejernihan.

a. Padatan (*solid*)

Padatan dalam air limbah dapat dikelompokkan menjadi padatan terendap, padatan tersuspensi, padatan terlarut, serta minyak dan lemak. Penentuan padatan digunakan untuk mengevaluasi kekuatan air limbah dan menentukan efisiensi unit pengolahan air limbah. Padatan ini memiliki korelasi yang positif terhadap tingkat kekeruhan air limbah, sehingga dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air dan mempengaruhi aktivitas fotosintesis fitoplankton dan alga (*Fardiaz, 1992*).

b. Bau (*odor*)

Bau yang ditimbulkan dalam air limbah berasal dari gas-gas hasil kegiatan dekomposisi oleh mikroorganisme, seperti sulfida atau amoniak. Air limbah yang baru biasanya tidak berbau atau sedikit berbau, sedangkan air limbah yang lama dan membusuk sering berbau dan sangat menyengat hidung.

c. Warna (*color*)

Warna dalam air limbah ditimbulkan oleh adanya bahan organik dan anorganik karena keberadaan plankton, humus, dan ion-ion logam. Secara kualitatif, air limbah dapat ditandai warna-warnanya. Air limbah yang baru biasanya berwarna keabu-abuan, sedangkan air limbah yang lama dan membusuk akan berwarna hitam (*Efendi, 2003*).

d. Suhu (*temperatur*)

Suhu pada air limbah sangat penting untuk diketahui, karena efeknya dapat mengganggu dan meninggalkan reaksi kimia kehidupan akuatik. Suhu juga berfungsi memperlihatkan aktifitas kimiawi dan biologis. Air limbah sendiri memiliki suhu yang berbeda dibandingkan dengan air biasa dan umumnya bersuhu tinggi akibat adanya proses pembusukan.

2. Sifat kimia

Kandungan bahan kimia yang ada di dalam air limbah dapat merugikan lingkungan.

a. Derajat keasaman (pH)

Nilai pH suatu perairan mencirikan keseimbangan antara kadar asam dan basa dalam air. Nilai pH yang baik memungkinkan organisme untuk hidup dan tumbuh serta kehidupan biologis yang baik. Kondisi tersebut umumnya berada dalam kisaran pH netral ($\text{pH} = 7 - 8,5$). Hal ini dikarenakan proses dekomposisi bahan organik berlangsung lebih cepat pada kondisi pH tersebut, sehingga selalu diupayakan air limbah memiliki pH netral (*Efendi, 2003*).

b. Kebutuhan oksigen biokimiawi (*Biochemical Oxygen Demand* atau BOD)

BOD adalah banyaknya oksigen yang diperlukan oleh mikroba aerob untuk menguraikan bahan organik yang ada di dalam air limbah secara biologis. Nilai BOD digunakan untuk mengetahui apakah air limbah mengalami biodegradasi atau tidak, dengan melibatkan mikroba melalui sistem oksidasi aerobik dan anaerobik yang distabilkan secara biologi (*Siregar, 2005*).

c. Kebutuhan oksigen kimiawi (*Chemical Oxygen Demand* atau COD)

COD adalah banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik yang ada di dalam air limbah secara kimiawi, baik yang dapat diuraikan secara biologi maupun yang sukar diuraikan menjadi CO_2 dan H_2O . Penentuan nilai COD berdasarkan kemampuan oksidasi dianggap paling baik dalam menggambarkan keberadaan bahan organik, baik yang dapat diuraikan secara biologi maupun yang tidak (*Efendi, 2003*).

d. Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* atau DO)

DO adalah banyaknya oksigen yang terkandung di dalam air dan diukur dalam satuan miligram per liter. Oksigen terlarut digunakan sebagai tanda derajat pengotoran air limbah yang ada. Semakin besar oksigen yang terlarut, maka menunjukkan derajat pengotoran yang relatif kecil (*Gurnham, 1965*).

3. Sifat biologi

Sifat biologi dalam air limbah merupakan hal yang penting dalam menentukan tingkat pencemaran, karena berbagai jenis mikroorganisme yang terkandung dalam air limbah memiliki sifat *pathogen*. Keberadaan mikroorganisme dalam unit pengolahan air limbah merupakan kunci efisiensi proses biologis dan kunci evaluasi kualitas air (*Siregar, 2005*).

2.2.4. Baku Mutu Air Limbah

Definisi baku mutu air limbah menurut Perda Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan/atau kegiatan. Ruang lingkup penetapan baku mutu air limbahnya meliputi berbagai macam usaha dan/atau kegiatan, yang salah satunya adalah kegiatan domestik. Syarat baku mutu air limbah domestik berdasarkan Perda Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 ditampilkan pada Tabel 2.2. berikut.

Tabel 2.2. Baku Mutu Air Limbah Domestik

No.	Parameter	Kadar Maksimum
1.	BOD	100 mg/L
2.	TSS	100 mg/L
3.	Minyak dan Lemak	10 mg/L
4.	pH	6,0 – 9,0

2.2.5. Pengolahan Air Limbah

Prinsip dalam pengolahan air limbah adalah mengurangi atau menghilangkan kontaminan yang terdapat dalam air limbah, sehingga hasil olahannya tidak akan mengganggu lingkungan. Sasaran pengolahan air limbah adalah untuk mengurangi BOD, COD, partikel tercampur, membunuh bakteri *pathogen*, serta mengurangi bahan nutrisi, komponen beracun, dan bahan yang tidak dapat didegradasikan agar konsentrasi yang ada menjadi rendah (Sugiharto, 2008). Tujuan pengolahan ini tergantung dari tipe air limbah yang dihasilkan, sehingga tujuan utama pengolahan limbah domestik adalah untuk mereduksi kandungan senyawa berbahaya yang terkandung dalam air limbah. Metode dasar penanganan limbah domestik terdiri dari tahap pengolahan primer, pengolahan sekunder, dan penanganan tersier (Sami, 2012).

Kegiatan pengolahan air limbah secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi lima bagian, antara lain :

1. Pengolahan awal (*pre treatment*)

Pengolahan ini melibatkan proses fisik yang bertujuan untuk menghilangkan zat padat dalam aliran air limbah dengan melakukan pemisahan kerikil, lumpur, dan lemak. Beberapa proses pengolahan yang berlangsung pada tahap ini adalah pengapungan (*flotation*), penyaringan (*screening*), dan pengendapan (*sedimentation*). Unit pengolahan ini dapat berupa sumur pengumpul, saringan sampah (*screen*), bak penangkap pasir (*grit chamber*), dan bak pengendap.

2. Pengolahan tahap pertama (*primary treatment*)

Pengolahan ini bertujuan untuk menghilangkan zat padat tercampur melalui pengendapan atau pengapungan. Selain itu, bahan kimia dapat ditambahkan untuk menetralkan keadaan atau meningkatkan pengurangan dari partikel kecil yang tercampur. Namun perlu diperhatikan bahwa penambahan zat kimia tidak boleh mengakibatkan masalah pada akhir pembuangan. Proses pengolahan yang terjadi pada tahap ini adalah netralisasi (*neutralization*), penambahan bahan kimia dan koagulasi (*chemical addition and coagulation*), pengapungan (*flotation*), serta pengendapan (*sedimentation*).

3. Pengolahan tahap kedua (*secondary treatment*)

Pengolahan ini umumnya mencakup proses biologis untuk mengurangi bahan-bahan organik melalui mikroorganisme yang ada di dalam air limbah. Proses ini sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti jumlah air limbah dan tingkat kekotoran. Peralatan pengolahan yang umum digunakan pada tahap ini adalah lumpur aktif (*activated sludge*), saringan tetes (*tricking filter*), kolam stabilisasi (*stabilization basin*), reaktor cakram biologis (*rotating biological contactor*), serta saringan dan kontak anaerobik (*anaerobic contactor and filter*).

4. Pengolahan tahap ketiga (*tertiary treatment*)

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan-pengolahan terdahulu, sehingga pengolahan ini baru akan dipergunakan jika pada pengolahan pertama dan kedua masih banyak terdapat zat tertentu yang masih berbahaya. Proses pengolahan yang terlibat dalam tahap ini adalah koagulasi dan sedimentasi (*coagulation and sedimentation*), penyerapan karbon (*carbon adsorption*), pertukaran ion (*ion exchange*), pemisahan membran (*membrane separation*), serta pengentalan atau pengapungan (*thickening gravity or flotation*).

5. Pengolahan lumpur (*sludge treatment*)

Pengolahan ini secara khusus mengolah lumpur yang terbentuk sebagai hasil dari pengolahan sebelumnya. Lumpur kembali diolah pada tahap ini melalui proses pengolahan panas (*wet combustion*), penyaringan bertekanan (*pressure filtration*), penyaringan hampa udara (*vacuum filtration*), pemutaran sentrifugal (*centrifugation*), kolam atau bak pengeringan (*lagooning or drying bed*), pembakaran (*incineration*), atau penimbun tanah (*landfill*).

2.2.6. Pengolahan Biologis

Seperti yang telah disebutkan di atas, sistem pengolahan biologis dikategorikan sebagai pengolahan tahap kedua (*secondary treatment*), melanjutkan sistem pengolahan secara fisik sebagai pengolahan tahap pertama (*primary treatment*). Pengolahan air limbah secara biologis merupakan pengolahan air limbah dengan memanfaatkan bakteri / mikroorganisme untuk mendegradasi polutan organik.

Tujuan pengolahan ini adalah untuk menghilangkan zat padat organik terlarut yang dapat hancur atau terurai oleh mikroorganisme hidup (*biodegradable*), berbeda dengan sistem pengolahan sebelumnya yang lebih ditujukan untuk menghilangkan zat padat tersuspensi. Komponen dalam proses ini adalah bakteri / mikroba berfungsi sebagai pengurai / pengonsumsi dan polutan organik sebagai sumber makanan bagi bakteri. Pengolahan biologis relatif lebih ekonomis dari aspek biaya kapital dan operasi sehingga menjadi pilihan yang lebih diunggulkan.

Penentuan penggunaan unit pengolah biologis sangat ditentukan oleh beberapa faktor antara lain :

1. Kontinuitas *feeding*
2. Pengendalian temperatur dan pH
3. Pengadukan
4. Penambahan nutrien
5. Adaptasi mikroorganisme

Sedangkan jenis pengolahan biologis yang digunakan bergantung pada :

1. Derajat pengolahan yang dikehendaki
2. Jenis air limbah yang akan diolah
3. Konsentrasi air limbah
4. Variasi aliran
5. Volume air limbah
6. Biaya operasi dan pemeliharaan

Jenis pengolahan air limbah secara biologis dapat dibedakan menjadi :

1. Berdasarkan kebutuhan oksigen

Pengolahan biologis berdasarkan kebutuhan oksigen dibagi menjadi :

- a. Proses aerobik
- b. Proses anoksik
- c. Proses anaerobik

2. Berdasarkan pola pertumbuhan mikroba

Pengolahan biologis berdasarkan pola pertumbuhan mikroba dibagi menjadi :

a. Pola pertumbuhan tersuspensi

Beberapa pengolahan dengan sistem tersuspensi adalah :

- 1) *Activated sludge* (lumpur aktif)
- 2) *Extended aeration* (perluasan sistem aerasi)
- 3) *Sequencing batch reactor* (rangkaian kelompok reaktor)
- 4) *Oxydation ditch* (parit oksidasi)
- 5) *Stabilization pond* (kolam stabilisasi)

b. Pola pertumbuhan terlekat

Beberapa pengolahan dengan sistem terlekat adalah :

- 1) *Tricking filter* (saringan tetes)
- 2) *Rotating biological contactor* (reaktor cakram biologis)

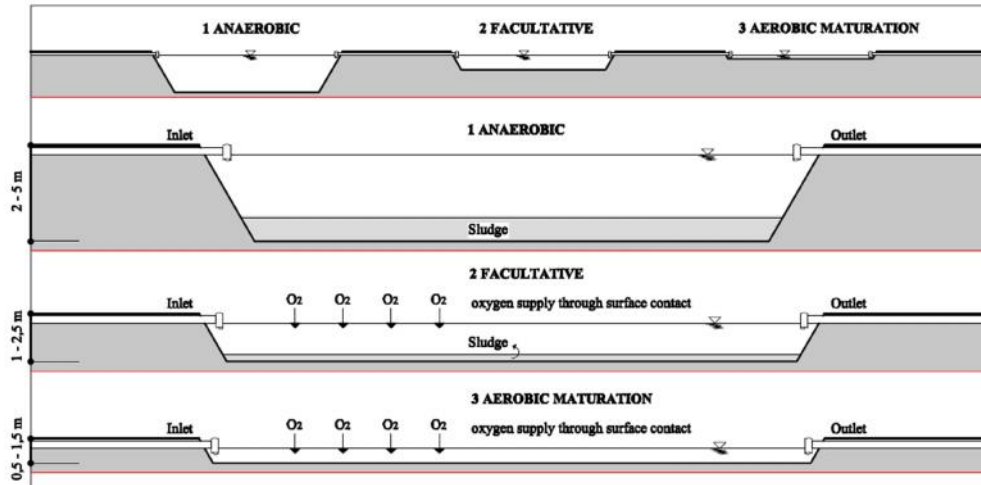
Kolam stabilisasi (*stabilization pond*) merupakan salah satu modifikasi dari pengolahan air limbah secara biologis dengan sistem tersuspensi dari metode lumpur aktif. Fungsi dari kolam stabilisasi adalah sebagai reservoir, sebagai tempat pengendapan pertama, sebagai tempat penguraian bahan organik secara alami baik aerobik maupun anaerobik, dan sebagai tempat penurunan bakteri *pathogen*. Karakteristik, kelebihan, dan kelemahan dari kolam stabilisasi dapat ditampilkan pada Tabel 2.3. berikut.

Tabel 2.3. Karakteristik, Kelebihan, dan Kelemahan Kolam Stabilisasi

Kolam Stabilisasi		
Karakteristik	Kelebihan	Kelemahan
<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pengolahan yang lama. • Kualitas bakteriologis yang baik. • Pemurnian air limbah terjadi secara alami. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proses perencanaan sederhana. • Proses pengoperasian dan perawatan mudah dan murah. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dibutuhkan lahan yang luas. • Sering timbul bau akibat proses biodegradasi anaerob. • Biaya investasi mahal.

(Sumber : Modul Pengolahan Biologis Aerobik Sistem Tersuspensi dan Terlekat, FTSP ITS)

Konfigurasi kolam stabilisasi didasarkan pada tipe reaksi atau aktivitas biologi yang terjadi di dalam kolam dan dapat diklasifikasikan menjadi kolam anaerobik (*anaerobic lagoon*), kolam fakultatif (*facultative lagoon*), dan kolam aerobik maturasi (*aerobic maturation lagoon*). Rangkaian dari ketiga jenis kolam stabilisasi dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2. berikut.



Gambar 2.2. Konfigurasi Kolam Stabilisasi

A. Kolam Anaerobik

Kolam anaerobik memiliki fungsi sebagai pengolah pendahuluan (*pre treatment*) pada kolam stabilisasi karena beban organik yang masih tinggi dalam air limbah. Keuntungan dari proses anaerobik dibandingkan dengan aerobik adalah produksi lumpur yang rendah dan tidak memerlukan peralatan aerasi, namun memiliki kelemahan yakni prosesnya menghasilkan senyawa yang menyebabkan timbulnya bau, sehingga diperlukan proses lanjutan berupa proses aerobik.

Kriteria kolam anaerobik menurut U.S. EPA (1983) adalah :

1. Kedalaman kolam = 2,5 – 5 m
2. Waktu tinggal kolam = 20 – 50 hari
3. Beban BOD (BOD/ha.hari) = 224 – 560 kg
4. Efisiensi penyisihan BOD = 50% – 85%

Langkah perhitungan untuk perencanaan kolam anaerobik antara lain :

1. Penetapan kedalaman kolam anaerobik.
2. Perhitungan kebutuhan lahan kolam anaerobik berdasarkan pada beban organik yang ditetapkan sesuai dengan Tabel 2.4. berikut.

Tabel 2.4. Tingkat Pembebanan BOD Kolam Anaerobik

Temperatur (°C)	Tingkat Pembebanan BOD (g/m ³ .hari)
< 10	100
10 – 20	20T – 100
20 – 25	10T + 100
> 25	350

dengan : T = temperatur (°C)

(Sumber : Mara et al., 1997a)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kebutuhan lahan adalah :

$$A_a = \frac{L_i Q}{\lambda_a H} \quad (2.1)$$

dengan : A_a = luas kolam anaerobik (m²)

L_i = konsentrasi BOD influen (mg/L)

Q = debit aliran air limbah (m³/hari)

λ_a = tingkat pembebanan BOD (g/m³.hari) (Tabel 2.4.)

H = kedalaman kolam (m)

3. Perhitungan waktu tinggal hidrolis kolam berdasarkan persamaan berikut :

$$t_a = \frac{L_i}{\lambda_a} \quad (2.2)$$

dengan : t_a = waktu tinggal hidrolis kolam anaerobik (hari)

L_i = konsentrasi BOD influen (mg/L)

λ_a = tingkat pembebanan BOD (g/m³.hari) (Tabel 2.4.)

Jika waktu tinggal tidak terpenuhi, maka dilakukan perhitungan ulang kebutuhan lahan berdasarkan pada waktu tinggal minimum yang disyaratkan dalam kriteria perencanaan.

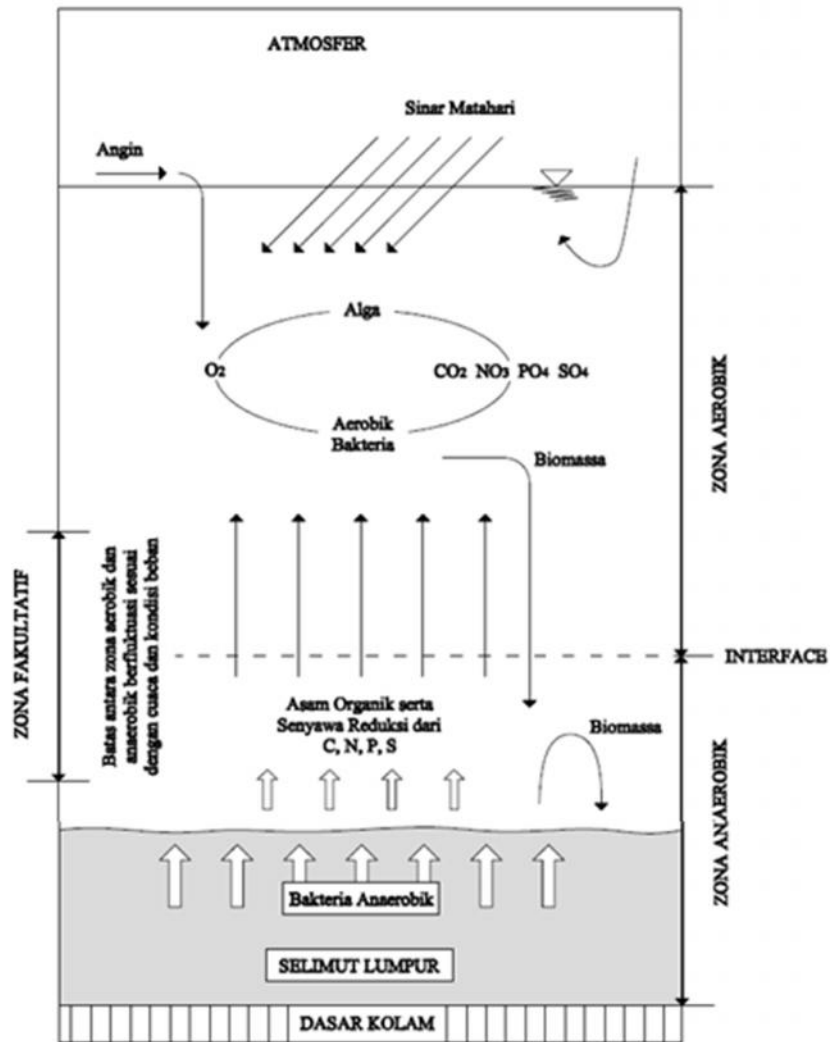
4. Penggambaran sketsa dimensi kolam beserta penetapan model dan lokasi inlet sedemikian rupa sehingga aliran terjadi semerata mungkin pada seluruh area kolam.

(Sumber : Modul Pengolahan Biologis Aerobik Sistem Tersuspensi dan Terlekat, FTSP ITS)

B. Kolam Fakultatif

Jenis kolam stabilisasi yang biasanya banyak digunakan adalah kolam fakultatif. Kolam fakultatif merupakan kolam yang terjadi proses biodegradasi secara aerobik (terjadi pada permukaan sampai pada $\frac{3}{4}$ kedalaman kolam) dan biodegradasi secara anaerobik (terjadi pada lumpur di dasar kolam sampai $\frac{1}{4}$ kedalaman kolam). Kolam fakultatif berfungsi sebagai bioreaktor alami tanpa resirkulasi lumpur aktif.

Oksigen terlarut untuk kondisi aerobik yang terdapat pada bagian atas kolam diperoleh dari proses fotosintesis dari alga yang tumbuh di kolam serta sebagian dari difusi oksigen dari udara atau atmosfer. Kondisi menggenang (*stagnant*) di dalam lumpur di daerah sekitar kolam menyebabkan terhambatnya transfer oksigen ke daerah tersebut, sehingga menyebabkan kondisi anaerob. Batas antara zona aerobik dan anaerobik tidak tetap karena dipengaruhi oleh adanya pengadukan (*mixing*) oleh angin serta penetrasi sinar matahari. Perubahan siang dan malam juga menyebabkan terjadi fluktuasi oksigen terhadap batas antara zona tersebut. Daerah terjadinya fluktuasi oksigen terlarut ini kemudian disebut daerah fakultatif (*facultative zone*). Hal itu dikarenakan mikroorganisme yang terdapat pada zona ini harus mampu menyesuaikan proses metabolismenya terhadap perubahan kondisi oksigen terlarut. Diagram sistem biologi yang terdapat pada kolam fakultatif secara umum digambarkan seperti pada Gambar 2.3. berikut.



Gambar 2.3. Sistem Biologi pada Kolam Fakultatif

Kriteria kolam fakultatif menurut U.S. EPA (1983) adalah :

1. Kedalaman kolam = 1,2 – 2,4 m
2. Waktu tinggal kolam = 5 – 30 hari
3. Beban BOD (BOD/ha.hari) = 56 – 201 kg
4. Efisiensi penyisihan BOD = 80% – 95%

Dalam prakteknya, kolam fakultatif yang dirancang menghasilkan efluen dengan penurunan nilai BOD menjadi sekitar 30 – 40 mg/L, penguraian zat organik yang mudah menguap berkisar antara 77% – 96%, penurunan kadar nitrogen mencapai

40% – 95%, penurunan kadar fosfor menjadi kurang dari 40%, nilai TSS berkisar 40 – 100 mg/L, dan penurunan nilai densitas *faecal coliform* (FC) mejadi 200 FC/100 ml (WEF dan ASCE, 1991).

Langkah perhitungan untuk perencanaan kolam fakultatif antara lain :

1. Perhitungan nilai k_f berdasarkan suhu pada perencanaan dengan persamaan yang digunakan adalah :

$$k_f = 0,3 \cdot (1,05)^{T-20} \quad (2.3)$$

dengan : k_f = tingkat reaksi orde pertama aliran tercampur kolam fakultatif
(hari⁻¹)

T = temperatur (°C)

2. Perhitungan waktu tinggal hidrolik kolam berdasarkan pada efisiensi penyisihan BOD dan persamaan yang digunakan adalah :

$$\frac{L_e}{L_i} = \frac{1}{1+k_f \cdot t_f} \quad (2.4)$$

dengan : L_e = BOD efluen (mg/L)

L_i = BOD influen (mg/L)

k_f = tingkat reaksi orde pertama aliran tercampur kolam fakultatif
(hari⁻¹)

t_f = waktu tinggal hidrolik kolam fakultatif (hari)

3. Penetapan kedalaman kolam fakultatif.
4. Perhitungan kebutuhan lahan kolam fakultatif dengan persamaan berikut :

$$A_f = \frac{Q \cdot t_f}{H} \quad (2.5)$$

dengan : A_f = luas kolam fakultatif (m²)

Q = debit aliran air limbah (m³/hari)

t_f = waktu tinggal hidrolik kolam fakultatif (hari)

H = kedalaman kolam (m)

5. Pemilihan nilai waktu tinggal hidrolik dan perhitungan ulang kebutuhan lahan kolam secara seri menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{L_e}{L_i} = \left[\frac{1}{1+k_f \cdot t_f} \right]^n \quad (2.6)$$

dengan : $L_e = \text{BOD efluen (mg/L)}$
 $L_i = \text{BOD influen (mg/L)}$
 $k_f = \text{tingkat reaksi orde pertama aliran tercampur kolam fakultatif}$
 (hari^{-1})
 $t_f = \text{waktu tinggal hidrolik kolam fakultatif (hari)}$
 $n = \text{jumlah kolam fakultatif dalam rangkaian seri}$

(Sumber : Modul Pengolahan Biologis Aerobik Sistem Tersuspensi dan Terlekat, FTSP ITS)

Dalam Lin (2007), terdapat pula langkah lain dalam perancangan kolam fakultatif menurut panduan manual perancangan U.S. EPA (1974b). Metode perancangan yang dibahas pada bagian ini adalah mengenai perancangan kebutuhan lahan kolam berdasarkan tingkat pembebanan BOD dan persamaan *Wehner and Wilhelm*, dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Tingkat pembebanan BOD

Metode ini merupakan metode desain yang paling konservatif dan dapat disesuaikan dengan standar spesifik karena didasarkan pada tingkat pembebanan organik. Berdasarkan pada temperatur, tingkat pembebanan BOD yang direkomendasikan dapat ditampilkan pada Tabel 2.5. berikut.

Tabel 2.5. Tingkat Pembebanan BOD Kolam Fakultatif

Temperatur (°C)	Kedalaman		Tingkat Pembebanan BOD	
	m	ft	kg/ha.hari	lb/acre.day
< 0	1,5 – 2,1	5 – 7	11 – 22	10 – 20
0 – 15	1,2 – 1,8	4 – 6	22 – 45	20 – 40
> 15	1,1	3,6	45 – 90	40 – 80

(Sumber : U.S. EPA, 1974b)

Kebutuhan lahan kolam fakultatif berdasarkan tingkat beban organik dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$A = \frac{10 \cdot L_i \cdot Q}{\lambda_f} \quad (2.7)$$

dengan : A_f = luas kolam fakultatif (m^2)

L_i = BOD influen (mg/L)

Q = debit aliran air limbah (m^3 /hari)

f = tingkat pembebanan BOD (kg/ha.hari) (Tabel 2.5.)

2. Persamaan *Wehner and Wilhelm*

Persamaan *Wehner and Wilhelm* merupakan persamaan tingkat reaksi orde pertama dalam penyisihan BOD untuk reaktor yang memiliki pola aliran yang tidak teratur dan diusulkan oleh Thirumurthi (1969) sebagai metode perancangan kolam fakultatif dengan persamaan-persamaan berikut :

$$\frac{L_e}{L_i} = \frac{4ae^{\frac{1}{2d_f}}}{\left[(1+a)^2 \cdot e^{\frac{a}{2d_f}} \right] - \left[(1-a)^2 \cdot e^{-\frac{a}{2d_f}} \right]} \quad (2.8)$$

$$a = \sqrt{1 + (4 \cdot k_{Tf} \cdot t_f \cdot d_f)} \quad (2.9)$$

$$k_{Tf} = k_{20} \cdot (1,09)^{T-20} \quad (2.10)$$

$$d_f = \frac{D}{vL} \quad (2.11)$$

dengan : L_e = BOD efluen (mg/L)

L_i = BOD influen (mg/L)

k_{Tf} = tingkat reaksi orde pertama aliran tersebar di setiap temperatur (hari⁻¹)

k_{20} = tingkat reaksi orde pertama aliran tersebar di temperatur 20°C (hari⁻¹)

T = temperatur minimum kolam (°C)

t_f = waktu tinggal hidrolis kolam fakultatif (hari)

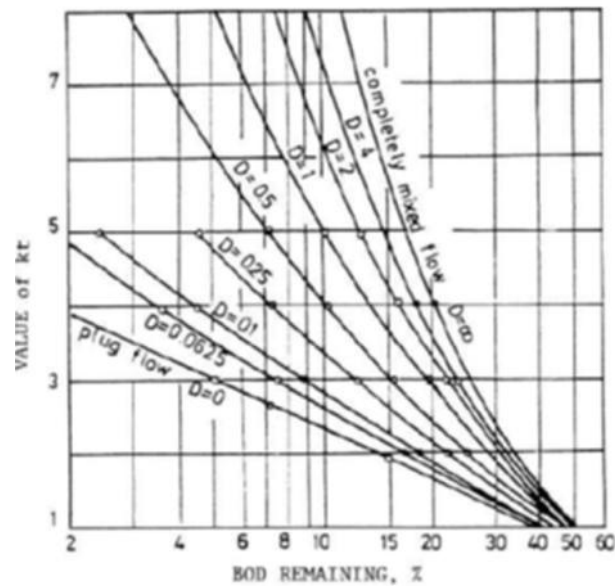
d_f = angka dispersi

D = koefisien dispersi memanjang (m^2 /jam)

v = kecepatan melintasnya partikel (m/jam)

L = panjang lintasan dari partikel di kolam (m)

Thirumurthi mengembangkan grafik yang digunakan untuk memudahkan penggunaan Persamaan 2.8, yang merupakan hasil penggambaran antara $(k_{Tf} \times t_f)$ terhadap persentase BOD tersisa dalam air limbah dengan angka dispersi yang bervariasi. Angka dispersi kolam berkisar dari 0,1 sampai 4 dengan sebagian besar nilai tidak melebihi 1,0 karena syarat pencampuran. Nilai tipikal untuk keseluruhan tingkat reaksi orde pertama dalam penyisihan BOD bervariasi dari 0,05 sampai 1,0 per hari tergantung pada proses pengoperasian dan karakteristik hidrolis dari kolam. Nilai 0,15 per hari dianjurkan untuk nilai k_{20} (U.S. EPA, 1984). Grafik yang dikembangkan Thirumurthi dapat dilihat pada Gambar 2.4. berikut.



Gambar 2.4. Grafik Hubungan antara Nilai $(k \times t)$ dengan Persentase BOD Sisa

C. Kolam Aerobik Maturasi

Kolam maturasi memiliki fungsi untuk menyisihkan nutrien N (*nitrogen*) dan P (*phosphor*), menyisihkan bakteri *pathogen* akibat sinar UV (*ultraviolet*) matahari, dan meningkatkan kualitas efluen dalam hal penyisihan *faecal coliform* (FC). Konfigurasi kolam aerobik maturasi adalah diletakkan setelah kolam fakultatif dan umumnya dibuat secara seri.

Kriteria kolam aerobik maturasi menurut U.S. EPA (1983) adalah :

1. Kedalaman kolam = 0,3 – 0,6 m
2. Waktu tinggal hidrolis = 4 – 6 hari
3. Beban BOD (BOD/ha.hari) = 90 – 180 kg
4. Efisiensi penyisihan BOD = 60% – 80%

Langkah perhitungan untuk perencanaan kolam aerobik maturasi antara lain :

1. Perhitungan nilai k_m berdasarkan suhu pada perencanaan dengan persamaan yang digunakan adalah :

$$k_m = 2,6 \cdot (1,19)^{T-20} \quad (2.12)$$

dengan : k_m = tingkat reaksi orde pertama dalam penyisihan FC (hari^{-1})

T = temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

2. Perhitungan waktu tinggal hidrolis kolam berdasarkan pada efisiensi penyisihan *faecal coliform* (FC) dan persamaan yang digunakan adalah :

$$\frac{N_e}{N_i} = \frac{1}{(1+k_m \cdot t_m)} \quad (2.13)$$

dengan : N_e = angka efluen FC per 100 ml

N_i = angka influen FC per 100 ml

k_m = tingkat reaksi orde pertama dalam penyisihan FC (hari^{-1})

t_m = waktu tinggal hidrolis kolam maturasi (hari)

3. Pemilihan nilai waktu tinggal hidrolis dan perhitungan ulang kebutuhan lahan kolam secara seri dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{N_e}{N_i} = \frac{1}{(1+k_m \cdot t_m)^n} \quad (2.14)$$

dengan : N_e = angka efluen FC per 100 ml

N_i = angka influen FC per 100 ml

k_m = tingkat reaksi orde pertama dalam penyisihan FC (hari^{-1})

t_m = waktu tinggal hidrolis kolam maturasi (hari)

n = jumlah kolam maturasi dalam rangkaian seri

(Sumber : Modul Pengolahan Biologis Aerobik Sistem Tersuspensi dan Terlekat, FTSP ITS)

2.3. Dasar-Dasar Perhitungan

2.3.1. Efisiensi Pengolahan

Nilai efisiensi pengolahan air limbah, terutama BOD₅ dan COD, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Eff.} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100\% \quad (2.15)$$

dengan : Eff. = nilai efisiensi (%)

C_i = konsentrasi influen (mg/L)

C_e = konsentrasi efluen (mg/L)

2.3.2. Proyeksi Jumlah Penduduk atau Pelanggan

Proyeksi jumlah penduduk atau pelanggan dilakukan untuk menentukan perkiraan jumlah penduduk atau pelanggan pada tahun-tahun mendatang sesuai dengan periode perencanaan yang diinginkan. Metode proyeksi yang digunakan adalah metode geometrik dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_n = P_o (1 + r)^n \quad (2.16)$$

$$r = \frac{\text{jumlah \% penambahan}}{\text{tahun}_n - \text{tahun}_o} \quad (2.17)$$

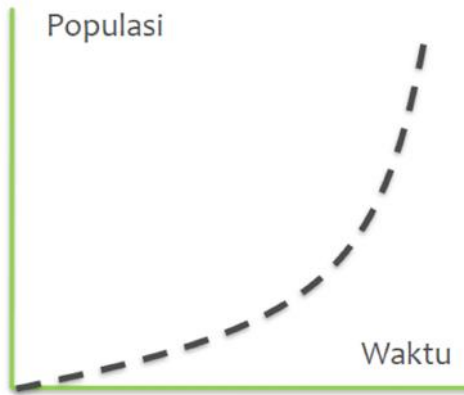
dengan : P_n = jumlah penduduk atau pelanggan pada tahun ke-n

P_o = jumlah penduduk atau pelanggan pada tahun awal

r = angka pertumbuhan penduduk atau pelanggan per tahun (%)

n = waktu periode proyeksi (tahun)

Metode geometrik dipilih untuk melakukan proyeksi jumlah penduduk atau pelanggan dikarenakan hanya jumlah penduduk total maupun jumlah pelanggan aktif total yang diketahui dan angka pertumbuhannya dianggap relatif tetap / konstan setiap tahun. Contoh grafik pertumbuhan hasil proyeksi dengan metode geometrik dapat ditampilkan pada Gambar 2.5. berikut.



Gambar 2.5. Grafik Pertumbuhan Hasil Proyeksi dengan Metode Geometrik

2.3.3. Debit Air Limbah

Dalam menentukan besarnya debit air limbah di suatu wilayah, ada beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain :

1. Proyeksi jumlah pemakai air bersih
2. Jenis pemakaian air bersih
3. Standar pemakaian air bersih
4. Faktor reduksi pemakaian air bersih menjadi air buangan.

Proyeksi jumlah penduduk atau jumlah pelanggan air limbah yang terhubung ke IPAL melalui sambungan rumah dapat diperkirakan jumlahnya pada 20 tahun mendatang dengan menggunakan Persamaan 2.16 dan 2.17.

Penentuan debit air limbah diperoleh berdasarkan besarnya pemakaian air bersih dengan memperhitungkan faktor timbulan air buangan yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{al} = f_{ab} \times Q_{ab} \quad (2.18)$$

dengan : Q_{al} = debit air limbah (L/hari)

f_{ab} = faktor timbulan air buangan = 60% – 85%

Q_{ab} = kebutuhan air bersih (L/hari)

(Sumber : Metcalf & Eddy, 1991)

Analisis kebutuhan air bersih penduduk atau pelanggan ditentukan berdasarkan kriteria perencanaan Dirjen Cipta Karya (1996), yaitu kriteria untuk sektor domestik. Jumlah kebutuhan air bersihnya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{ab} = 80\% \times q \times (P \times K_a) \quad (2.19)$$

dengan : Q_{ab} = kebutuhan air bersih (L/hari)

K_a = tingkat kebutuhan air (%) (Tabel 2.6)

q = konsumsi rata-rata air bersih (L/jiwa/hari)

P = jumlah pemakai (jiwa)

(Sumber : Dirjen Cipta Karya, 1996)

Analisis sektor domestik merupakan aspek penting dalam menganalisis kebutuhan penyediaan di masa mendatang yang dilaksanakan dengan dasar analisis pertumbuhan penduduk pada wilayah yang dilayani. Kebutuhan air domestik dibagi dalam beberapa kategori, yaitu :

1. Kategori I : Kota Metropolitan
2. Kategori II : Kota Besar
3. Kategori III : Kota Sedang
4. Kategori IV : Kota Kecil
5. Kategori V : Desa

Kriteria perencanaan kebutuhan air bersih sektor domestik untuk tiap-tiap kategori dapat ditampilkan pada Tabel 2.6. berikut.

Tabel 2.6. Kriteria Perencanaan Kebutuhan Air Bersih Sektor Domestik

Uraian	Kategori Kota berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
	> 1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	< 20.000
	Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1. Kebutuhan Unit Sambungan Rumah (SR) (L/jiwa/hari)	> 150	150 – 120	90 – 120	80 – 120	60 – 80
2. Konsumsi Unit Hidran (HU) (L/jiwa/hari)	20 – 40	20 – 40	20 – 40	20 – 40	20 – 40
3. Konsumsi Unit Non-Domestik					
a. Niaga Kecil (L/unit/hari)	600 – 900	600 – 900		600	
b. Niaga Besar (L/unit/hari)	1000 – 5000	1000 – 5000		1500	
c. Industri Besar (L/detik/hari)	0,2 – 0,8	0,2 – 0,8		0,2 – 0,8	
d. Pariwisata (L/detik/hari)	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3		0,1 – 0,3	
4. Kehilangan Air (%)	20 – 30	20 – 30	20 – 30	20 – 30	20 – 30
5. Faktor Hari Maksimum	1,15 – 1,25 * harian	1,15 – 1,25 * harian	1,15 – 1,25 * harian	1,15 – 1,25 * harian	1,15 – 1,25 * harian
6. Faktor Jam Puncak	1,75 – 2,0 * hari maks	1,75 – 2,0 * hari maks	1,75 – 2,0 * hari maks	1,75 * hari maks	1,75 * hari maks
7. Jumlah Jiwa per SR (jiwa)	5	5	5	5	5
8. Jumlah Jiwa per HU (jiwa)	100	100	100	100 – 200	200
9. Jam Operasi (jam)	24	24	24	24	24
10. Volume Reservoir (% <i>max day demand</i>)	15 – 25	15 – 25	15 – 25	15 – 25	15 – 25
11. Tingkat Kebutuhan Air SR : HU (%)	50 : 50 s/d 80 : 20	50 : 50 s/d 80 : 20	80 : 20	70 : 30	70 : 30
12. Cakupan Pelayanan (%)	90	90	90	90	90

(Sumber : Dirjen Cipta Karya, 1996)

BAB 3

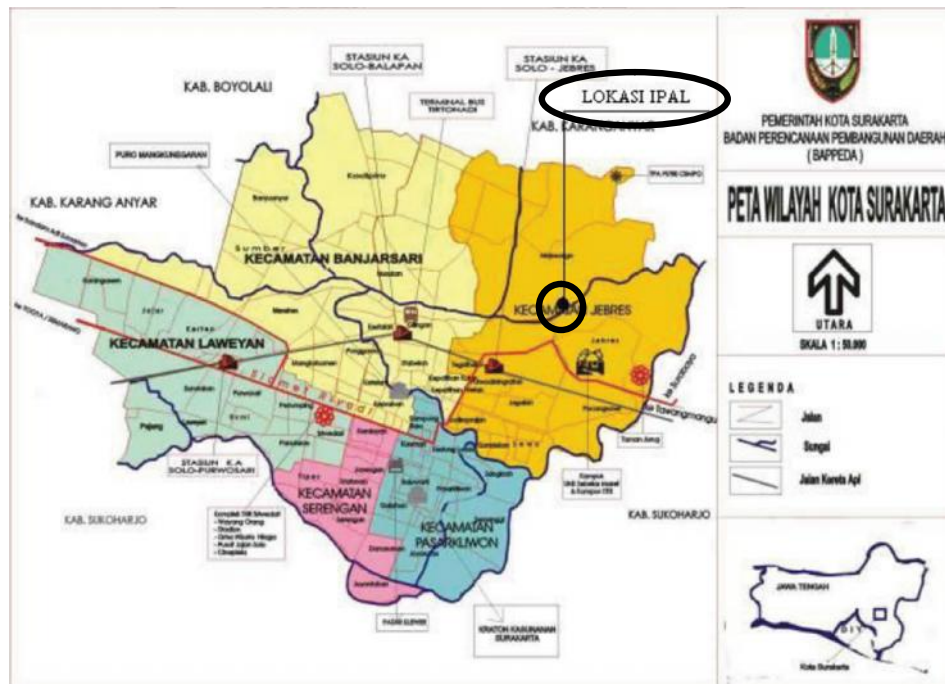
METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif dan evaluatif. Metode ini berupa pengumpulan data, analisis data dan evaluasi, serta pembahasan hasil analisis dan evaluasi untuk memperoleh informasi guna pengambilan keputusan.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di IPAL Kedung Tungkul Mojosongo yang berlokasi di Kelurahan Mojosongo, Kota Surakarta seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Peta Lokasi IPAL Mojosongo Kota Surakarta

3.3. Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan oleh peneliti untuk melakukan analisis data adalah :

1. *Microsoft Office Excel* untuk mengolah data dalam bentuk tabel dan grafik.
2. *Microsoft Office Word* untuk menyusun laporan tugas akhir.
3. *AutoCAD* untuk menghitung luas dan volume dari kolam pengolahan IPAL Mojosongo.
4. Kamera untuk keperluan dokumentasi penelitian selama survei lapangan.

3.4. Tahapan Penelitian

3.4.1. Persiapan

Tahap persiapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Studi pustaka, bertujuan untuk memberikan arahan dan wawasan sehingga mempermudah penelitian dalam penentuan data, analisis, dan penyusunan laporan.
2. Persiapan administrasi untuk memperoleh data-data yang diperlukan.
3. Penentuan lembaga / instansi terkait untuk memperoleh data-data yang ditentukan.
4. Pembuatan proposal, bertujuan untuk memberikan gambaran secara tertulis mengenai tujuan, rencana, dan langkah-langkah yang akan diambil dalam pelaksanaan penelitian.

3.4.2. Pengumpulan Data

Tahap ini dilakukan untuk mengumpulkan data-data yang digunakan dalam penelitian antara lain :

1. Data primer

Data primer yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari :

- a. Wawancara, yaitu melakukan wawancara terhadap pihak-pihak dari lembaga atau instansi terkait untuk memperoleh informasi yang diperlukan.
- b. Observasi atau pengamatan, yaitu melakukan pengamatan secara langsung terhadap objek yang diteliti untuk memperoleh data atau informasi yang diperlukan.

- c. Data hasil uji parameter kualitas sampel air limbah IPAL Mojosongo oleh Laboratorium Lingkungan Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kab. Sukoharjo.

2. Data sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian terdiri dari :

- a. Data jumlah penduduk Kelurahan Mojosongo, Kelurahan Nusukan, dan Kelurahan Kadipiro.
- b. Data jumlah pelanggan air limbah IPAL Mojosongo.
- c. Data pengujian laboratorium parameter air limbah IPAL Mojosongo.
- d. Diagram pengolahan air limbah IPAL Mojosongo.
- e. Peta konstruksi dan peta jaringan pelayanan IPAL Mojosongo.

3.4.3. Analisis Data

Tahap analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

1. Evaluasi kinerja eksisting IPAL Mojosongo

Pengevaluasian kinerja eksisting IPAL Mojosongo dilakukan terhadap :

- a. Kinerja kuantitatif IPAL Mojosongo dievaluasi berdasarkan kapasitas (debit) air limbah eksisting yang mengalir menuju IPAL yang berasal dari pelanggan air limbah di wilayah pelayanan IPAL pada tahun 2015.
- b. Kinerja kualitatif IPAL Mojosongo dievaluasi berdasarkan nilai efisiensi pengolahan dari hasil uji kualitas air limbah IPAL yang dilakukan di Laboratorium PDAM Kota Surakarta selama tahun 2015.

2. Prediksi kinerja kuantitatif IPAL Mojosongo dalam 20 tahun mendatang

Prediksi kinerja kuantitatif IPAL Mojosongo dalam 20 tahun mendatang dilakukan pada debit masukan (*inflow*) berdasarkan analisis pertambahan jumlah penduduk dan jumlah pelanggan air limbah serta analisis debit air limbah yang dihasilkan dari pertambahan jumlah tersebut.

3.4.4. Hasil dan Pembahasan

Tahap hasil dan pembahasan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan pembahasan berdasarkan hasil analisis prediksi kinerja kuantitatif IPAL Mojosongo dalam 20 tahun mendatang, yaitu :

1. Kolam tampungan masih mampu menampung

Efisiensi sistem pengolahan air limbah di IPAL Mojosongo akan dianalisis sesuai dengan beban muat BOD yang diolah. Beban muat BOD yang ada akan dipertahankan apabila efisiensi pengolahan masih dalam batas kriteria desain, sedangkan beban muat BOD akan diubah sesuai dengan kriteria desain apabila efisiensi pengolahan sebelumnya tidak sesuai hingga tercapainya batas efisiensi sesuai kriteria desain.

2. Kolam tampungan tidak mampu menampung

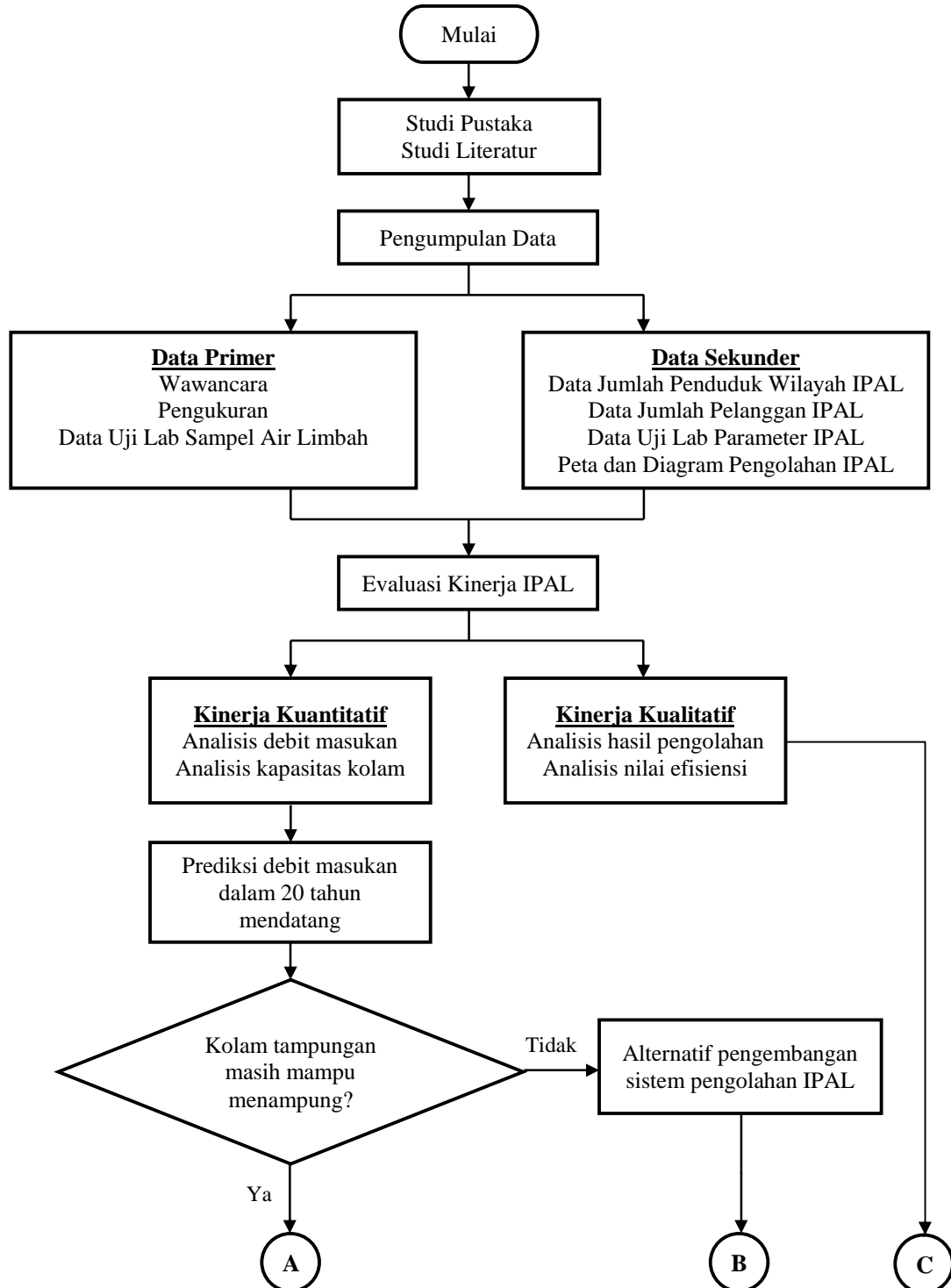
Pemberian alternatif pengembangan terhadap sistem pengolahan air limbah di IPAL Mojosongo akan diberikan apabila hasil analisis menunjukkan bahwa kolam tampungan tidak mampu menampung. Beberapa contoh pilihan alternatif yang diberikan antara lain dengan menurunkan waktu tinggal bak, meningkatkan beban muat BOD, meningkatkan penggunaan aerator, dan lain sebagainya yang disesuaikan berdasarkan kriteria desain serta efisiensi pengolahan akan dianalisis sesuai dengan beban muat BOD yang diolah. Perluasan kolam tampungan akan dilakukan sebagai solusi terakhir jika pemberian alternatif yang diberikan tetap tidak mencapai kolam tampungan masih mampu menampung.

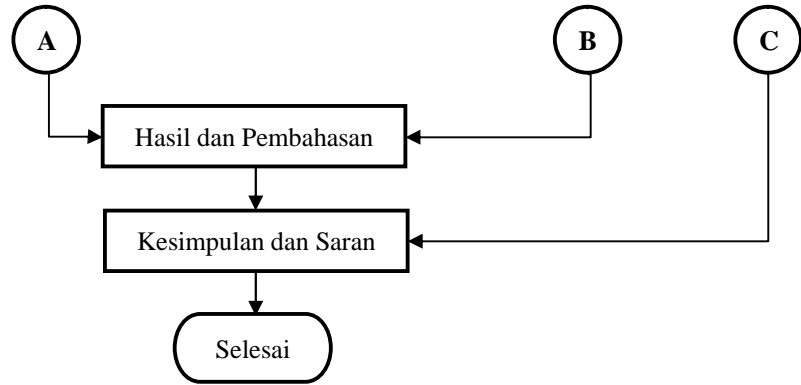
3.4.5. Kesimpulan dan Saran

Dalam tahap ini, hasil dari analisis data, evaluasi, dan pembahasan yang dilakukan kemudian disimpulkan dan diberikan saran-saran terkait dengan kesimpulan yang ditulis.

3.5. Diagram Alir Penelitian

Penelitian yang dilakukan dapat digambarkan dengan diagram alir seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.2. berikut.





Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kinerja kuantitatif eksisting IPAL Mojosongo dievaluasi berdasarkan kapasitas (debit) air limbah yang mengalir ke IPAL yang berasal dari 5.425 SR adalah sebesar 31 L/detik. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kapasitas IPAL Mojosongo masih memenuhi untuk mengolah air limbah.
2. Kinerja kualitatif eksisting IPAL Mojosongo dievaluasi berdasarkan nilai efisiensi pengolahan dari hasil uji kualitas air limbah IPAL yang dilakukan oleh Unit Laboratorium PDAM Kota Surakarta adalah sebesar 71,31% untuk nilai efisiensi BOD₅ dan 60,83% untuk nilai efisiensi COD. Nilai efisiensi tersebut menunjukkan bahwa efisiensi pengolahan di IPAL Mojosongo termasuk baik.
3. Prediksi kinerja kuantitatif IPAL Mojosongo, yaitu debit masukan (*inflow*), dalam 20 tahun mendatang berdasarkan jumlah penduduk di wilayah pelayanan IPAL adalah sebesar 149 L/detik dan berdasarkan jumlah pelanggan IPAL adalah sebesar 50 L/detik.
4. Alternatif pengembangan yang diberikan untuk sistem pengolahan air limbah di IPAL Mojosongo agar tetap mampu melayani penduduk dan pelanggan dalam 20 tahun mendatang dilakukan pada unit pengolahan utama IPAL, yaitu unit aerasi, dengan melakukan perubahan waktu tinggal yang dipercepat dengan disertai perubahan alur sistem pengolahan secara paralel, peningkatan jumlah penggunaan aerator, serta melakukan pelayanan air limbah yang mencakup 80% dari jumlah penduduk total di wilayah pelayanan IPAL Mojosongo.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah disusun, maka dapat diberikan saran, salah satunya kepada pihak instansi yang bertanggung jawab dalam pengelolaan pengolahan air limbah, sebagai berikut :

1. Alternatif pengembangan pengolahan air limbah di IPAL Mojosongo perlu dilakukan untuk menghindari terjadinya kelebihan (*overload*) kapasitas kolam tampungan IPAL dalam 20 tahun mendatang.
2. PDAM Kota Surakarta tetap dapat membangun jaringan perpipaan baru kepada masyarakat di sekitar wilayah pelayanan IPAL Mojosongo hingga 20 tahun mendatang dengan melaksanakan alternatif pengembangan pengolahan IPAL.
3. Perlunya peningkatan dalam pengawasan dan pemantauan terhadap sistem pengolahan air limbah, penggunaan peralatan yang menunjang pengolahan air limbah, dan pemeriksaan kualitas air limbah di IPAL Mojosongo.
4. Masyarakat di sekitar wilayah pelayanan IPAL Mojosongo diharapkan dapat mengalirkan air limbah domestiknya ke IPAL melalui pemasangan sambungan rumah air limbah sebagai bagian dari pengolahan air limbah sistem *offsite* di Kota Surakarta serta menghindari terjadinya pencemaran air dan tanah akibat air limbah di masa mendatang.
5. Ruang lingkup penelitian selanjutnya dapat diperluas dengan meninjau instalasi pengolah air limbah lainnya di Kota Surakarta sehingga tidak hanya pada satu lingkup penelitian di IPAL Mojosongo saja.