



TUGAS AKHIR - RE 141581

UJI KINERJA UNIT PENGADUK LAMBAT TIPE HIDRAULIS

HENDRO PRAKOSO
0321144000021

Dosen Pembimbing:
Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

UJI KINERJA UNIT PENGADUK LAMBAT TIPE HIDRAULIS

HENDRO PRAKOSO
0321144000021

Dosen Pembimbing:
Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - RE 141581

PERFORMANCE TEST OF HYDRAULIC TYPE SLOW MIX UNIT

HENDRO PRAKOSO
0321144000021

Supervisor
Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

DEPARTEMEN OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geo-Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

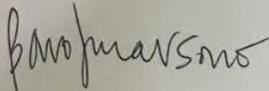
UJI KINERJA UNIT PENGADUK LAMBAT TIPE HIDRAULIS

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
HENDRO PRAKOSO
NRP 0321144000021

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng
NIP 196503171991021001



UJI KINERJA UNIT PENGADUK LAMBAT TIPE HIDRAULIS

Nama : Hendro Prakoso
NRP : 03211440000021
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

ABSTRAK

Unit koagulasi dan flokulasi merupakan unit bangunan pengolahan air minum yang sangat penting dalam mengolah air sungai untuk menurunkan kekeruhan yang disebabkan partikel koloid. Terdapat dua tipe pengolahan berdasarkan energi yang digunakan pada umumnya, yaitu menggunakan tenaga mekanis atau hidraulis. Kedua tipe tersebut sudah banyak digunakan di hampir seluruh PDAM yang menggunakan sistem pengolahan konvensional. Dalam penelitian ini telah dirancang sebuah unit koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi dengan aliran gravitasi atau tipe hidraulis. Khusus untuk unit flokulasi dibuat dengan rasio ukuran kedalaman yang lebih besar, sehingga luas bak dapat diminimalisir. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai *headloss* dan gradien kecepatan optimum, serta menentukan efisiensi penurunan kekeruhan dan TSS pada unit pengaduk lambat tipe hidraulis.

Penelitian ini menguji pengaruh debit aliran dan *headloss* terhadap efisiensi penurunan kekeruhan dan TSS dari sampel air Sungai Jagir pada unit pengaduk lambat tipe hidraulis. Nilai variasi debit aliran yang dipilih adalah 1 L/menit, 2 L/menit, dan 3 L/menit. Luas permukaan lubang yang digunakan untuk mengetahui nilai *headloss* yang dipilih adalah (0,283 – 0,770 – 1,005) cm², (0,283 – 0,385 – 1,508) cm², dan (0,283 – 0,385 – 1,005) cm². Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 set reaktor berbahan akrilik sebagai unit pengaduk lambat dan sedimentasi, serta reaktor pipa PVC sebagai unit pengaduk cepat. Pengoperasian reaktor dilakukan dengan aliran kontinyu. Sampel akan dialirkan melalui perpipaan ke dalam reaktor. *Running* dijalankan hingga volume bak sedimentasi mencapai 180 L yang dilanjutkan dengan proses sedimentasi selama 60 menit. Selama proses koagulasi –

flokulasi berlangsung, debit aliran selalu dipantau agar tidak terjadi fluktuasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit 2 L/menit dan luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,508) cm² menghasilkan *head loss* dan gradien kecepatan yang optimum. Adapun *head loss* total yang dihasilkan sebesar 97 mm dengan gradien kecepatan sebagai berikut: G1 = 42,8/detik; G2 = 13,7/detik; G3 = 12,50/detik. Efisiensi penyisihan kekeruhan dan TSS yang dihasilkan pada nilai *head loss* dan gradien kecepatan tersebut masing – masing sebesar 98,5 dan 87,8%.

Kata Kunci: flokulasi, gradien kecepatan, *headloss*, kekeruhan, *total suspended solid (TSS)*

PERFORMANCE TEST OF HYDRAULIC TYPE SLOW MIX UNIT

Name : Hendro Prakoso
NRP : 03211440000021
Departement : Environmental Engineering
Supervisor : Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

ABSTRACT

Coagulation and flocculation unit is a water treatment unit which is very important in processing river water to decrease turbidity caused by colloid particles. There are two types of processing based on energy used in general, using mechanical or hydraulic power. Both types are already widely used in almost Municipal Waterwork in Indonesia that use conventional processing systems. In this study has designed a unit of coagulation, flocculation, and sedimentation with the flow of gravity or hydraulic type. Especially for the flocculation unit will be made with a ratio of depth size is greater then the surface area, so the surface area of the unit can be minimized. This study aims to determine the optimum value of headloss and velocity gradient, also to determine the efficiency removal of turbidity and total suspended solid (TSS) on the hydraulic type slow mixing unit.

This study examined the effect of flow and headloss discharge on turbidity reduction efficiency and TSS from water samples of Sungai Jagir on hydraulic type slow mix unit. The selected flow rate variations are 1 L/min, 2 L/min, and 3 L/min. The cross-section area of the perforated hole used to determine the selected headloss value are (0,283 – 0,770 – 1,005) cm², (0,283 – 0,385 – 1,508) cm², and (0,283 – 0,385 – 1,005) cm². The reactor used in this research is 1 set of acrylic reactor as slow mixing and sedimentation unit, and PVC pipe reactor as flash mixing unit. The operation of the reactor is carried out with continuous flow. The sample will be piped through the piping into the reactor. Running is run until the volume of sedimentation unit reaches 180 L followed by sedimentation process for 60 minutes. During the coagulation process - flocculation takes place, flow discharge is always monitored to avoid fluctuations.

The results showed that the discharge of 2 L / min and hole surface area of (0.283 - 0.770 - 1.508) cm² resulted in optimum head loss and gradient velocity. The total head loss generated by 97 mm with the speed gradient as follows: G1 = 51,89 sec⁻¹; G2 = 15,12 sec⁻¹; G3 = 11,50 sec⁻¹. The efficiency of turbidity removal and TSS generated at head loss and gradient speed were 98,5% and 87,8% respectively.

Keywords: flocculation, headloss, total suspended solid, turbidity, velocity gradient

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT dan junjungan-Nya Rasulullah Muhammad SAW karena penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul "**Uji Kinerja Unit Pengaduk Lambat Tipe Hidraulis**". Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada program studi Strata-1 (S-1) Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing hingga selesainya penulisan tugas akhir.
2. Bapak Dr. Ali Masduqi, S.T., M.T., Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., P.hD., dan Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., P.hD. selaku dosen penguji.
3. Seluruh laboran di Departemen Teknik Lingkungan ITS yang telah membantu selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Kedua orang tua dan saudara yang terus-menerus memberikan doa dan dukungan.
5. Teman-teman S-1 Teknik Lingkungan ITS angkatan 2014 yang selalu memberikan doa dan semangat.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan ilmu yang bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kriteria Kualitas Air Minum	5
2.2 Zat Penyebab Kekeruhan	5
2.3 Partikel dalam Larutan	5
2.4 Koagulasi dan Flokulasi.....	6
2.5 Faktor Yang Mempengaruhi Koagulasi - Flokulasi.....	7
2.6 Koagulan	8
2.6.1 Alumunium Sulfat atau Tawas.....	9
2.6.2 <i>Poly Aluminium Chloride</i> (PAC)	9
2.7 Unit Pengaduk Cepat.....	10
2.8 Unit Pengaduk Lambat	11
2.9 Unit Sedimentasi.....	11
2.10 Penelitian Terdahulu.....	13
BAB 3 METODE PENELITIAN	15
3.1 Kerangka Penelitian.....	15
3.2 Ide Penelitian	16
3.3 Studi Literatur.....	17
3.4 Pelaksanaan Penelitian	18
3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan.....	18
3.4.2 Pengambilan Sampel	20
3.4.3 Penelitian Pendahuluan	20
3.4.4 Penelitian Utama	20

3.5 Analisis Data dan Pembahasan	31
3.6 Kesimpulan dan Saran	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Karakteristik Air Sungai Jagir Surabaya	33
4.2 Analisa Dosis Optimum Tawas	34
4.3 Analisis <i>Head loss</i>	36
4.4 Analisis Gradien Kecepatan dan $G.td$	39
4.5 Analisis Kekerusuhan	41
4.6 Analisis Total Padatan Tersuspensi (TSS).....	47
4.7 Penentuan Pengaruh Debit Pengaliran dan Luas Permukaan Lubang pada <i>Baffle</i> Terhadap Parameter Kekerusuhan dan TSS	53
4.8 Ringkasan Kinerja Unit Pengaduk Lambat Tipe Hidraulis	55
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN A	63
LAMPIRAN B	71
LAMPIRAN C	73
LAMPIRAN D	75
LAMPIRAN E	79
LAMPIRAN F.....	81
BIOGRAFI PENULIS.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kriteria Perencanaan Unit Pengaduk Lambat.....	12
Tabel 3.1 Variasi Penelitian.....	21
Tabel 4.1 Kualitas Air Sungai Jagir Surabaya.....	33
Tabel 4.2 Data Penurunan Konsentrasi Kekerusuhan.....	34
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Gradien Kecepatan tiap Variasi.	40
Tabel 4.4 Nilai Gradien Kecepatan Rata-Rata Tiap Variasi...	41
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan G.td tiap Variasi.	41
Tabel 4.6 Hubungan Nilai Rata-Rata Kekerusuhan.....	45
Tabel 4.7 Nilai G.td total dan Efisiensi Penyisihan Kekerusuhan	46
Tabel 4.8 Hubungan Nilai Rata-Rata Konsentrasi TSS	50
Tabel 4.9 Nilai G.td total dan Efisiensi Penyisihan TSS	52
Tabel 4.10 Hasil uji ANOVA dengan Program Minitab 16	54

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	16
Gambar 3.2 (a) Tampak depan reaktor penelitian;	22
Gambar 3.3 Denah Rangkaian Alat Penelitian	23
Gambar 3.4 Gambar Teknik Reaktor Penelitian.....	25
Gambar 4.1 Penurunan Konsentrasi Kekeruhan	35
Gambar 4.2 Hubungan antara Debit dengan <i>Head Loss</i> pada Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm ²	37
Gambar 4.3 Hubungan antara Debit dengan <i>Head Loss</i> pada Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm ²	38
Gambar 4.4 Hubungan antara Debit dengan <i>Head Loss</i> pada Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,005) cm ²	38
Gambar 4.13 Hubungan Waktu Pengendapan dengan Efisiensi dan Konsentrasi Kekeruhan Outlet pada Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm ²	43
Gambar 4.6 Hubungan Waktu Pengendapan dengan Efisiensi Penyisihan dan Konsentrasi Kekeruhan Outlet pada Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm ²	43
Gambar 4.7 Hubungan Waktu Pengendapan dengan Efisiensi Penyisihan dan Konsentrasi Kekeruhan Outlet pada Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,005) cm ²	44
Gambar 4.8 Hubungan antara Gradien Kecepatan Rata – Rata dengan Efisiensi Penyisihan Kekeruhan tiap Variasi	45
Gambar 4.9 Hubungan antara G.td Total.....	47
Gambar 4.10 Hubungan Waktu Pengendapan dengan Efisiensi Penyisihan dan Konsentrasi TSS Outlet pada Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm ²	48
Gambar 4.11 Hubungan Waktu Pengendapan dengan Efisiensi Penyisihan dan Konsentrasi TSS Outlet	49

Gambar 4.12 Hubungan Waktu Pengendapan dengan Efisiensi Penyisihan	49
Gambar 4.13 Hubungan antara Gradien Kecepatan Rata-Rata	51
Gambar 4.14 Hubungan antara G.td Total dengan Efisiensi Penyisihan TSS tiap Variasi	52

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	63
LAMPIRAN B	71
LAMPIRAN C	73
LAMPIRAN D	75
LAMPIRAN E	79
LAMPIRAN F	81

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air sungai atau air permukaan digunakan oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) sebagai bahan baku dalam pengolahan air minum. Salah satu unsur penting dalam pengolahan air minum adalah penyisihan atau penurunan zat padat, baik itu tersuspensi maupun koloidal sebagai penyebab kekeruhan dalam air permukaan (Puteri, 2012). Tingkat kekeruhan dari air permukaan dapat bervariasi (Sasmitha, 2017). Kekeruhan tertinggi air permukaan tercapai pada musim hujan, yakni sebesar 2.175 NTU. Pada musim kemarau, kekeruhan hanya mencapai ≤ 50 NTU (Hutama dan Karnaningroem, 2013). Untuk menurunkan kekeruhan dalam air sungai, diperlukan proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi dalam suatu Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM).

Proses koagulasi dan flokulasi telah banyak digunakan baik dalam pengolahan air minum dan pengolahan air limbah (Bongiovani *et al.*, 2010). Koagulasi dan flokulasi merupakan proses memisahkan bagian padatan tersuspensi dari air. Padatan tersuspensi dalam air memiliki muatan negatif menyebabkan terjadinya gaya tolak-menolak antar partikel saat berdekatan (Prakash *et al.*, 2014). Flokulasi adalah proses pencampuran antara koagulan dengan sampel air yang berfungsi untuk meningkatkan ukuran partikel flok dari mikroflok yang berukuran submikroskopis hingga partikel flok tersebut tampak (Bratby, 2006). Koagulan yang paling umum digunakan dalam pengolahan air minum adalah aluminium yang berikatan secara *trivalent* dan garam besi. Koagulan tersebut telah terbukti baik dari efektivitas kinerja maupun biaya (Sahu dan Chaudhari, 2013).

Terdapat dua tipe pengolahan berdasarkan energi yang digunakan, yaitu menggunakan tenaga mekanis dan hidraulis. Koagulasi dan flokulasi yang paling efisien dalam penggunaan energi adalah tipe hidraulis atau dengan memanfaatkan energi gravitasi. Menurut Puteri (2012), flokulasi dengan tipe hidraulis mampu menurunkan kekeruhan dengan efisiensi sebesar 83%-87%.

Dalam penelitian ini telah dirancang sebuah unit koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi dengan aliran gravitasi atau tipe hidraulis. Energi yang digunakan pada unit pengaduk lambat tipe hidraulis berasal dari energi pompa yang digunakan pada pengaliran. Setiap pompa memiliki rentang kebutuhan energi yang berbeda. Gaya gravitasi digunakan pada unit pengaduk lambat tipe hidraulis dalam menciptakan turbulensi pada unit tersebut, sehingga pada alternatif unit pengaduk lambat tipe hidraulis yang telah dirancang memanfaatkan kedalaman bak. Penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap efisiensi penurunan kekeruhan dan TSS pada unit pengaduk lambat tipe hidraulis yang telah dirancang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, dapat dirumuskan beberapa permasalahan. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai *headloss* dan gradien kecepatan optimum pada unit pengaduk lambat tipe hidraulis?
2. Bagaimana efisiensi penurunan kekeruhan pada unit pengaduk lambat tipe hidraulis?
3. Bagaimana efisiensi penurunan TSS pada unit pengaduk lambat tipe hidraulis?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan *headloss* dan gradien kecepatan pada unit pengaduk lambat tipe hidraulis.
2. Menentukan efisiensi penurunan kekeruhan pada unit pengaduk lambat tipe hidraulis.
3. Menentukan efisiensi penurunan TSS pada unit pengaduk lambat tipe hidraulis.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup memiliki tujuan untuk membatasi masalah yang dibahas pada penelitian ini. Ruang lingkup pada penelitian ini meliputi:

1. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air dan Workshop Teknik Lingkungan ITS dengan skala pilot.
2. Reaktor yang digunakan adalah reaktor dengan aliran kontinyu.
3. Air baku yang digunakan berupa air baku yang diambil dari Sungai Jagir.
4. Parameter kunci yang diukur dalam penelitian ini adalah kekeruhan dan TSS.
5. Variasi luas permukaan lubang pada tiap *baffle channel* pada penelitian ini adalah $(0,283 - 0,770 - 1,005) \text{ cm}^2$, $(0,283 - 0,385 - 1,508) \text{ cm}^2$, dan $(0,283 - 0,385 - 1,005) \text{ cm}^2$, serta debit pengaliran sebesar 1 L/menit, 2 L/menit, dan 3 L/menit.
6. Pengambilan sampel air diambil pada menit ke – 30, 45, dan 60 pada proses sedimentasi untuk setiap *running*.
7. Kualitas air yang diperiksa adalah air baku (inlet) dan outlet bak pengendap.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan data hasil penelitian yang dapat digunakan dalam mendesain unit pengaduk lambat tipe hidraulis dengan lubang *baffle*.
2. Memberikan sebuah konsep dasar dalam penurunan nilai kekeruhan dan TSS dengan menggunakan unit pengaduk lambat tipe hidraulis dengan lubang *baffle*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kriteria Kualitas Air Minum

Air minum merupakan air yang melewati proses pengolahan maupun tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan sehingga dapat langsung diminum. Air minum yang dikonsumsi oleh masyarakat harus memiliki kualitas yang baik dan tidak menimbulkan gangguan kesehatan. Kriteria air layak minum harus memenuhi beberapa syarat sesuai dengan kualitas baku mutu air minum. Baku mutu yang digunakan yaitu Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.492/MENKES/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum.

Terdapat parameter wajib dan parameter tambahan sebagai persyaratan kualitas air minum. Kekeruhan termasuk parameter wajib pada persyaratan kualitas air minum. Baku mutu untuk kekeruhan pada air minum yang diperbolehkan 5 NTU.

2.2 Zat Penyebab Kekeruhan

Teori dasar warna dan kekeruhan menyebutkan bahwa terdapat dua macam warna dalam air. Warna sebenarnya adalah warna yang terukur dengan penghilangan kekeruhan terlebih dahulu pada air sampel. Warna tak sebenarnya adalah warna yang pada pengukurannya tidak didahului oleh penghilangan kekeruhannya (Alaerts dan Santika, 1984).

Dalam larutan, terdapat dua kelompok besar zat, yaitu zat terlarut seperti garam dan molekul organik dan zat tidak terlarut seperti tanah liat, kuarsa, dan lain-lain. Zat padat tidak terlarut dibagi menjadi dua, yaitu zat padat tersuspensi dan koloidal yang disebabkan oleh adanya perbedaan ukuran dan diameter partikel di antara keduanya (Benefield *et al.*, 1982).

2.3 Partikel dalam Larutan

Menurut Puteri (2012), koloid merupakan partikel yang sangat halus dan memiliki ukuran partikel 1 mikrometer sampai

dengan 10 nanometer. Hal ini menyebabkan koloid sukar dibedakan menjadi zat terlarut. Keduanya dibedakan dengan melihat ciri – ciri partikel koloid itu sendiri, yaitu:

- Menyebabkan larutan menjadi tidak jernih
- Bersifat antara homogen dan heterogen
- Tidak dapat disaring dan sulit mengendap

2.4 Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi adalah proses yang dilakukan untuk mengubah partikel-partikel kecil menjadi bentuk flok (partikel yang lebih besar) dan mampu menyerap senyawa organik sehingga polutan/pencemar tersebut dapat dihilangkan pada proses flokulasi dan sedimentasi (Jiang dan Graham, 1998). Menurut Joko (2010), untuk meratakan pencampuran zat koagulan dan pembentukan flok dilakukan proses koagulasi yang diikuti dengan flokulasi.

Koagulasi-flokuasi merupakan dua proses yang terangkai menjadi kesatuan proses yang tak terpisahkan. Pada proses koagulasi terjadi proses destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (disebut koagulan). Akibat pengadukan cepat, koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan dari proses penguraian koagulan. Proses ini berlanjut dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al^{3+}) dengan ion negatif dari partikel (misal OH^-) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca^{2+}) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO_4^{2-}) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat). Setelah terbentuk inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan flok kecil menjadi flok besar terjadi karena adanya tumbukan antar flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya pengadukan lambat (Masschelein, 1992).

2.5 Faktor Yang Mempengaruhi Koagulasi - Flokulasi

Dalam pengolahan air, untuk mencapai proses koagulasi-flokulasi yang optimum, diperlukan pengaturan semua kondisi yang saling berkaitan dan mempengaruhi proses tersebut. Kondisi yang memengaruhi antara lain adalah pH, temperatur, turbulensi dan gradien kecepatan dalam pengadukan.

a. pH

pH adalah suatu besaran yang menyatakan sifat asam atau basa larutan atau suspensi. pH sangat berpengaruh pada proses koagulasi dan flokulasi karena pemilihan pH yang tepat akan mempengaruhi dosis optimum dari koagulan. Hal ini disebabkan oleh sifat kimia koagulan yang sangat tergantung pada pH. Batas nilai pH dipengaruhi oleh jenis koagulan yang dipakai dan komposisi kimia yang terdapat dalam air (Susanto, 2008).

Pada proses koagulasi dan flokulasi, terdapat rentang pH terjadinya proses yang baik dalam waktu singkat dengan suatu dosis koagulan tertentu. Besarnya rentang pH dipengaruhi oleh:

- Jenis dan dosis koagulan yang dipakai.
- Komposisi kimiawi air baku (pH awal, alkalinitas, dan lain-lain).

Untuk pemakaian alum sebagai koagulan ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), rentang pH optimum untuk air sebesar 6,5 – 7,5 (Stumm dan Morgan, 1996).

b. Temperatur

Efisiensi pada proses koagulasi dapat berkurang apabila proses tersebut dilakukan pada temperatur air yang rendah (rentang temperatur: $20^\circ\text{C} \leq T^\circ\text{C} < 30^\circ\text{C}$) karena adanya peningkatan viskositas dan perubahan struktur agregat menjadi lebih kecil sehingga dapat lolos dari saringan. Pada suhu tinggi (rentang temperatur: $T^\circ\text{C} \geq 30^\circ\text{C}$), air memiliki kerapatan lebih kecil dan mengalir ke dasar unit flokulasi (Susanto, 2008).

c. Turbulensi

Turbulensi adalah keadaan aliran fluida tidak tenang, melainkan sedikit bergolak. Hal ini disebabkan karena adanya tekanan atau gesekan oleh fluida tersebut. Aliran turbulensi dapat dibuat dengan cara: pengadukan, penerjunan air, dan jeram tajam.

Turbulensi sangat diperlukan oleh koagulasi dan flokulasi. Untuk proses koagulasi, turbulensi membantu meratakan zat koagulan ke seluruh bagian fluida dan memberi kesempatan pada partikel-partikel koloid untuk saling bergabung membentuk inti flok. Dalam proses flokulasi, turbulensi diperlukan untuk memberi kesempatan pada inti-inti flok membentuk flok yang lebih besar dan lebih mudah untuk diendapkan (Puteri, 2012).

d. Gradien Kecepatan

Gradien kecepatan merupakan perbedaan kecepatan antara dua titik atau volume terkecil fluida yang tegak lurus dengan perpindahan koloid. Nilai G yang terlalu besar dapat mengganggu titik akhir pembentukan flok. Dalam proses koagulasi memerlukan gradien kecepatan yang cukup tinggi, sedangkan untuk proses flokulasi memerlukan gradien kecepatan yang lebih rendah (Kawamura, 1991).

2.6 Koagulan

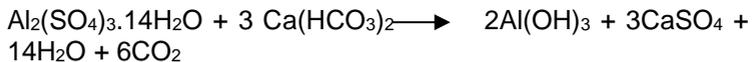
Reynold dan Richards (1982) menyatakan bahwa koagulan adalah bahan kimia yang digunakan sebagai koagulasi. Aluminium sulfat banyak digunakan dalam pengolahan air minum. Dalam proses pelunakan dengan kapur-soda, kapur berfungsi sebagai koagulan karena menghasilkan flok yang berat yang terdiri atas kalsium karbonat dan magnesium hidroksida.

Menurut Davis dan Cornwell (1991), pemilihan suatu koagulan harus memperhatikan beberapa faktor agar koagulasi berjalan dengan baik. Faktor – faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan koagulan adalah:

- keadaan alami air baku dan kualitasnya,
- variasi kualitas air baku (harian atau musiman, khususnya pengaruh temperatur),
- kualitas yang dibutuhkan dan penggunaan air bersih,
- kation bervalensi tiga (trivalen) merupakan kation yang paling efektif untuk menetralkan listrik koloid,
- tidak beracun, dan
- tidak larut dalam kisaran pH netral.

2.6.1 Alumunium Sulfat atau Tawas

Aluminium sulfat dibuat dengan mengolah bauksit (aluminium sulfat oksida) dengan asam sulfat. Produk yang dihasilkan biasanya dimurnikan untuk menghilangkan material inert yang terdapat dalam bauksit. Kelebihan asam sulfat biasanya terdapat material komersial, sehingga memberikan pH pada rentang 2,0 – 2,5 (Sutrisno dan Suciastuti, 1991). Reaksi kimia aluminium sulfat yang menghasilkan flok adalah:



Pada air yang mempunyai alkalinitas tidak cukup untuk bereaksi dengan alum, maka perlu ditambahkan alkalinitas dengan menambah kalsium hidroksida. Tawas adalah koagulan yang lebih mudah terlarut (*dissolved*) dalam air, sehingga dapat mengikat lebih banyak partikel suspensi. Walaupun air sampel didiamkan lebih dari satu minggu, namun sifat tawas yang mudah larut menyebabkan partikel koagulan dalam air bekerja optimal menurunkan TSS (Ramadhani *et al.*, 2013).

2.6.2 Poly Aluminium Chloride (PAC)

Poly aluminium chloride atau disingkat PAC adalah koagulan anorganik dengan material penyusunnya terdiri atas polimer makromolekul. PAC memiliki tingkat adsorpsi, kekuatan lekat, dan pembentukan flok yang tinggi dengan dosis kecil, serta tingkat sedimentasi yang cepat (Yuliati, 2006).

Dalam cairan PAC, ion – ion garam aluminium dibentuk menjadi polimer – polimer yang terdiri dari sekelompok ion yang dihubungkan oleh atom – atom oksigen. Polimer ini hanya terbentuk dalam cairan garam aluminium yang sebagian telah dinetralkan melalui reaksi dengan basa. Derajat polimerisasi meningkat seiring dengan besarnya netralisasi. Netralisasi mengubah karakteristik dasar cairan. Netralisasi total garam aluminium mengakibatkan presipitasi aluminium hidroksida, dengan formula $Al(OH)_3$ atau $Al_2(OH)_6$ (Hardman, 2002)

2.7 Unit Pengaduk Cepat

Unit pengaduk cepat atau *rapid mixing* berfungsi untuk mencampur antara partikel kekeruhan khususnya koloid dengan bahan koagulan, sehingga diperoleh partikel mikroflok. Partikel mikroflok ini selanjutnya akan diperbesar ukurannya pada unit pengaduk lambat. Pengadukan cepat dilakukan dengan waktu yang singkat, yakni 5 – 10 detik dengan gradien kecepatan yang besar, yakni $\geq 750 \text{ detik}^{-1}$ (Hamer, 1977).

Menurut Schulz dan Okun (1984), jenis unit pengadukan cepat meliputi mekanis dan hidraulis. Pengaduk cepat jenis mekanis mempunyai penggerak motor listrik sebagai pengaduk. Pada jenis hidraulis, energi untuk pengadukan memanfaatkan energi statik berupa *head* atau tinggi air. Dimensi unit pengaduk cepat dengan tipe hidraulis dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots (2.1)$$

$$C = Q \cdot t_d \dots\dots\dots (2.2)$$

$$G = (P / \mu C)^{1/2} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$P = \rho g H Q \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

- Q = kapasitas pengolahan (m^3/detik).
- v = kecepatan aliran (m/detik).
- A = luas area (m^2).
- g = gravitasi ($9,81 \text{ m}/\text{detik}^2$).
- μ = viskositas dinamik air ($N \cdot \text{detik}/m^2$).
- C = kapasitas bak (m^3).
- ρ = massa jenis air (g/cm^3).

- G = gradien kecepatan (detik⁻¹).
- H = *head* atau *headloss* (m).

2.8 Unit Pengaduk Lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel flok dan membentuk partikel flok yang lebih besar, yang selanjutnya dapat diendapkan di bak sedimentasi.

Pada umumnya pengadukan lambat dilakukan pada gradien kecepatan kurang dari 100 detik⁻¹ selama 10-60 menit. Besar kecilnya angka parameter G dan waktu tinggal tergantung pada kualitas kekeruhan air baku maupun jenis air baku (Fair *et al.*, 1971). Formulasi untuk perencanaan unit pengaduk cepat sama dengan unit pengaduk lambat yang meliputi perhitungan *headloss* dan pengaduknya.

Pengaduk lambat dapat dilakukan dengan 3 cara, yakni mekanis, hidraulis, dan pneumatis. Pengadukan mekanis merupakan salah satu metoda yang umum digunakan untuk pengadukan lambat. Tipe pengadukan mekanis adalah tipe *paddle* baik dipasang secara horizontal maupun vertikal. Penggunaan energi hidraulis pada pengadukan lambat dengan tipe hidraulis relatif kecil sehingga ini berguna untuk menghasilkan gerakan air sehingga terjadi kontak antar partikel. Jenis pengaduk lambat tipe hidraulis meliputi *horizontal baffled channel*, *vertical baffle channel*, *gravel bed*, dan *perforated* (Hamer, 1977). Tabel 2.1 menunjukkan kriteria perencanaan pengaduk lambat untuk tipe mekanis dan hidraulis.

2.9 Unit Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses pemisahan *solid-liquid* menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk menyisihkan padatan tersuspensi. Pada umumnya, sedimentasi digunakan pada pengolahan air minum, pengolahan air limbah, dan pengolahan air limbah tingkat lanjutan. Pada pengolahan air minum, terapan sedimentasi digunakan pada pengendapan air permukaan, filter pasir cepat,

dan pengendapan flok hasil koagulasi-flokulasi (Reynolds dan Richards, 1982).

Tabel 2.1 Kriteria Perencanaan Unit Pengaduk Lambat

Kriteria Umum	Flokulator Hidraulis	Flokulator Mekanis	
		Sumbu Horizontal dengan Pedal	Sumbu Horizontal dengan Bilah
G (gradien kecepatan) (detik ⁻¹)	60 (menurun) – 5	60 (menurun) – 10	70 (menurun) - 10
Waktu tinggal (menit)	30 – 45	30 – 40	20 – 40
Tahap flokulasi (buah)	6 – 10	3 – 6	2 – 4
Pengendalian energi	Bukaan pintu / sekat	Kecepatan putaran	Kecepatan putaran
Kecepatan aliran max (m/detik)	0,9	0,9	1,8 – 2,7
Luas bilah / pedal dibandingkan luas bak (%)	-	5 – 20	0,1 – 0,2
Kecepatan perputaran sumbu (rpm)	-	1 – 5	8 – 25
Tinggi (m)	-	-	-

Sumber: SNI 6774: 2008

Sedimentasi tipe II adalah pengendapan partikel *flokulen* dalam suspensi encer, di mana selama pengendapan terjadi saling interaksi antar partikel. Selama dalam operasi pengendapan, ukuran partikel *flokulen* bertambah besar sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh sedimentasi tipe II antara lain pengendapan pertama pada pengolahan air limbah atau pengendapan partikel hasil proses koagulasi-flokulasi pada pengolahan air minum maupun air limbah (Rangwala, 2005).

2.10 Penelitian Terdahulu

Beberapa peneliti dari beberapa negara telah melakukan penelitian mengenai proses flokulasi pada unit pengaduk lambat dengan menggunakan variasi yang berbeda, diantaranya adalah sebagai berikut:

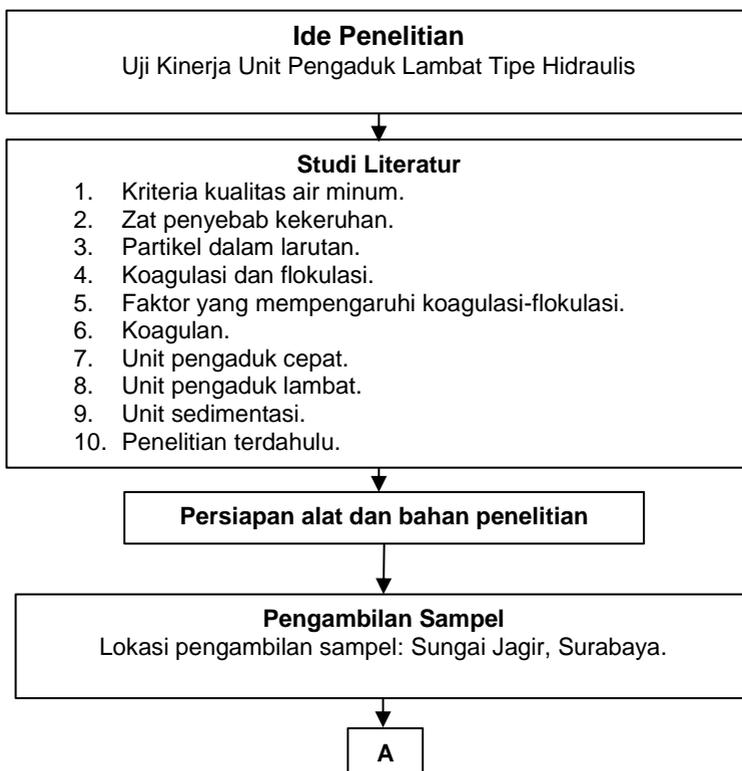
1. Penelitian yang dilakukan oleh Vianna *et al.*, (2015), menggunakan sistem pengaduk lambat bertipe *perforated tray*. Pada *tray* pertama, ukuran diameter lubang kecil dan membesar pada *tray* akhir. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan *headloss* yang besar pada *tray* pertama sehingga diperoleh gradien kecepatan yang besar untuk mendapatkan jumlah tumbukan antar partikel yang banyak. Hal penting dalam penelitian ini adalah perhitungan lubang *perforated* menggunakan rumus $H_L = (Q/C_D \cdot A)^2 / (2g)$ di mana harga C_D atau koefisien *discharge* diambil 0,61 menyebabkan kegagalan dari aspek hidraulis, sehingga direkomendasikan digunakan $C_D = 0,8$
2. Penelitian yang dilakukan oleh Puteri (2012), menggunakan sistem pengaduk lambat bertipe flokulator pipa *circular*. Penyisihan kekeruhan air baku yang diambil dari Kali Surabaya, Indonesia, dengan rentang kekeruhan awal 40 NTU – 80 NTU menghasilkan persentase penyisihan sebesar 83% - 87%. Persentase penyisihan paling baik terjadi pada model pipa ½ inci dengan panjang pipa 50 m dan diameter melingkar pipa 0,6 m. Nilai $G \cdot t_d$ yang dicapai pada model adalah $4,1 \times 10^4$ ($G = 186,6 \text{ det}^{-1}$ dan $t_d = 3,67$ menit) dengan *headloss* sebesar 58,3 cm.

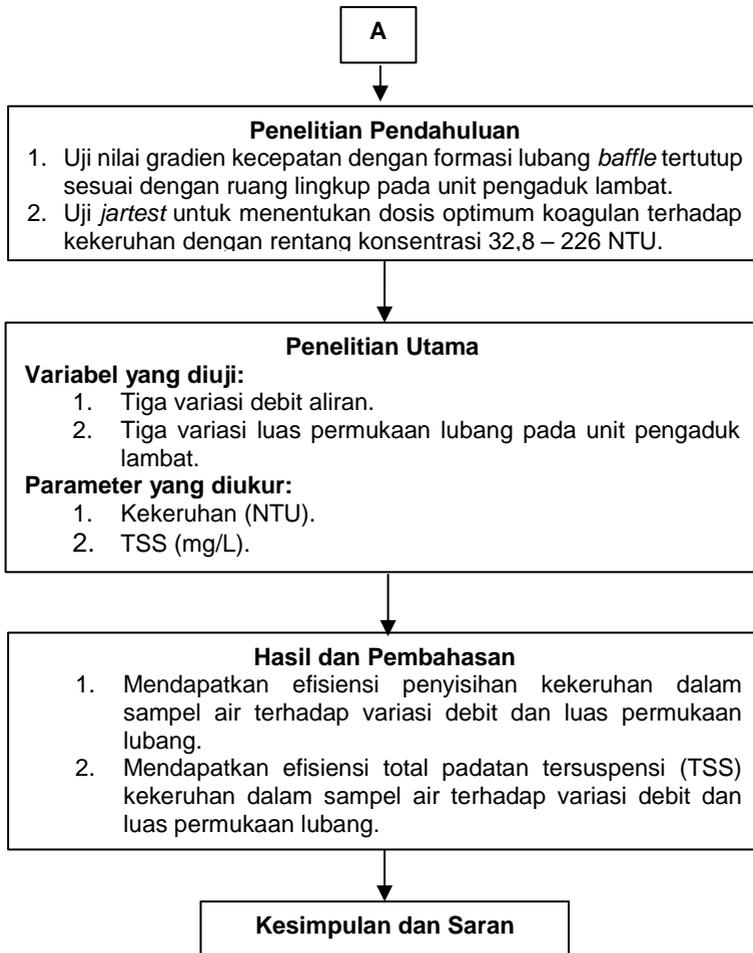
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan kerangka acuan yang berisi rangkaian pokok kegiatan yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Kerangka penelitian dapat mempermudah proses pengerjaan penelitian agar konsisten dengan tujuan dan rumusan yang telah direncanakan. Kerangka alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2 Ide Penelitian

Unit koagulasi dan flokulasi merupakan unit bangunan pengolahan air minum yang sangat penting dalam mengolah air sungai untuk menurunkan kekeruhan yang disebabkan partikel koloid. Terdapat dua tipe pengolahan berdasarkan energi yang digunakan pada umumnya, yaitu menggunakan tenaga mekanis

atau hidraulis. Koagulasi dan flokulasi yang paling efisien dalam penggunaan energi adalah tipe hidraulis atau dengan memanfaatkan energi gravitasi. Menurut Puteri (2012), flokulasi dengan tipe hidraulis mampu menurunkan kekeruhan dengan efisiensi sebesar 83%-87%.

Beberapa tipe flokulator hidraulis membutuhkan lahan yang relatif luas, misalnya tipe *horizontal baffle channel* dan *vertical baffle channel*. Kedua tipe tersebut sudah banyak digunakan hampir seluruh PDAM yang menggunakan sistem pengolahan konvensional. Jumlah lahan yang tersedia, khususnya di Indonesia, mengalami penurunan setiap tahun. Hal ini yang menyebabkan penggunaan flokulator tipe *horizontal* dan *vertical baffle channel* mulai banyak ditinggalkan dan beralih pada penggunaan motor penggerak.

3.3 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk memperoleh dasar teori yang jelas dan dapat dipertanggung jawabkan dalam menunjang jalannya penelitian dari awal hingga akhir penelitian. Dalam analisis penelitian, studi literatur menunjang informasi yang dapat dijadikan dasar dalam pembuatan pembahasan dan memperoleh kesimpulan dari hasil penelitian. Penggunaan literatur disesuaikan dengan topik penelitian yang dibahas dan perlu diperhatikan mengenai bahasan dari beberapa literatur yang akan digunakan.

Literatur yang diperlukan antara lain adalah

1. Kriteria kualitas air minum.
2. Zat penyebab kekeruhan.
3. Partikel dalam larutan.
4. Koagulasi dan flokulasi.
5. Faktor yang mempengaruhi koagulasi dan flokulasi.
6. Koagulan berupa aluminium sulfat atau alum.
7. Unit pengaduk cepat.
8. Unit pengaduk lambat.
9. Unit sedimentasi.
10. Penelitian terdahulu.

Studi literatur yang digunakan pada penelitian ini berasal dari berbagai sumber, yaitu jurnal penelitian, baik itu nasional maupun internasional, *text book*, tugas akhir, tesis, peraturan pemerintah, prosiding, dan *website* resmi yang informasinya dapat dipertanggung jawabkan dan mendukung penelitian ini.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian yang dilakukan terdiri dari persiapan alat dan bahan, pengambilan sampel air, penelitian pendahuluan, dan penelitian utama. Kegiatan tersebut dijelaskan pada subbab 3.4.1 hingga 3.4.4 di bawah ini.

3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan

a. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. *Magnetic stirrer*, digunakan untuk mengaduk koagulan.
2. Timbangan, digunakan untuk menimbang massa alum yang dibutuhkan.
3. Galon air minum, digunakan sebagai bak pembubuhan alum.
4. Pipa pvc Ø 100 mm, digunakan sebagai bak pengaduk cepat.
5. Reaktor akrilik, satu set reaktor yang terdiri dari unit pengaduk lambat dan bak pengendap II yang digunakan untuk pelaksanaan proses koagulasi-flokulasi dan sedimentasi yang dilengkapi outlet pada masing-masing unit.
6. Bak penampung air, digunakan untuk menampung air baku.
7. Pipa pvc Ø 1 inci, digunakan untuk mengalirkan air baku dari satu reaktor ke reaktor yang lain.
8. *Flow meter*, digunakan sebagai kontrol debit yang mengalir pada rangkaian alat.
9. *Gate valve*, digunakan sebagai pengatur debit yang mengalir rangkaian alat.
10. Spatula, digunakan untuk mengambil padatan alum.
11. Turbidimeter, digunakan untuk menganalisis kekeruhan dari sampel air.

12. Kuvet turbidimeter, digunakan sebagai wadah sampel yang akan dianalisis menggunakan turbidimeter.
13. *Submersible pump*, digunakan untuk mengalirkan air sampel ke dalam rangkaian reaktor.
14. *Beaker glass*, digunakan sebagai wadah sampel pada analisis *jartest*.
15. Alat *jartest*, digunakan dalam menganalisis dosis optimum pembubuhan alum pada sampel air.
16. Gelas ukur, digunakan untuk mengukur volume larutan.
17. *Vacuum pump*, digunakan untuk menghisap filtrat yang ada pada sampel air.
18. Oven, digunakan untuk menguapkan air pada padatan tersuspensi yang tersaring pada kertas saring.
19. Cawan porselen, digunakan sebagai tempat meletakkan kertas saring.
20. Timbangan analitis, digunakan untuk menimbang cawan dan sampel pada saat analisis zat padat tersuspensi.
21. *Furnace*, digunakan untuk membakar dan membersihkan cawan porselen dari zat pada organik saat analisis zat padat tersuspensi.
22. Desikator, digunakan untuk menurunkan suhu cawan dan sampel menjadi suhu ruangan.

b. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Air baku dari Sungai Jagir, Surabaya.
Sampel air diambil di Sungai Jagir, Surabaya.
2. Aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$).
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ digunakan sebagai koagulan dalam proses koagulasi-flokulasi air baku. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ atau tawas yang digunakan merupakan tawas teknis yang biasa digunakan oleh PDAM. Tawas adalah koagulan yang lebih mudah terlarut (*dissolved*) dalam air. Sifat tawas yang mudah larut menyebabkan partikel koagulan dalam air bekerja optimal menurunkan TSS (Ramadhani *et al.*, 2013).

3. *Aquadest*.
Aquadest digunakan sebagai pelarut dalam melarutkan koagulan.
4. Kertas saring *Whatman* no. 42.
Kertas saring *Whatman* no. 42 digunakan untuk menyaring padatan tersuspensi pada sampel air.

Spesifikasi lengkap alat dan bahan di atas dapat dilihat pada Lampiran D.

3.4.2 Pengambilan Sampel

Sampel diambil Sungai Jagir, Surabaya. Dalam melakukan sampling, perlu memperhatikan beberapa hal, seperti lokasi, frekuensi, teknik yang digunakan, dan pengawetan sampel. Sampel diambil menggunakan jerigen.

Sampel tidak bisa diawetkan lantaran kapasitas *freezer* atau kulkas kurang memenuhi untuk penyimpanan, baik di dalam laboratorium maupun *workshop* di Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS. Karakteristik sampel harus diuji terlebih dahulu untuk mendapatkan tingkat kekeruhan dan TSS awal sebelum dilakukan *running*.

3.4.3 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilaksanakan untuk mengetahui dosis optimum alum yang dibubuhkan pada proses koagulasi-flokulasi. Analisis dosis optimum alum menggunakan alat *jartest*. Prosedur analisis dosis optimum dapat dilihat pada Lampiran B. Adapun variasi dosis alum yang digunakan dalam penentuan dosis optimum adalah 10, 20, 40, 50, 60, dan 80 mg/L. Parameter yang akan diuji dalam penelitian pendahuluan ini adalah kekeruhan yang diukur dengan menggunakan turbidimeter dan TSS yang diukur sesuai dengan prosedur pada Lampiran C.

3.4.4 Penelitian Utama

Pada tahap penelitian utama, dilakukan pengaturan variasi penelitian, pelaksanaan penelitian, dan pengukuran parameter uji. Penjelasan mengenai masing-masing tahapan dijelaskan pada subbab 3.4.4.1 hingga 3.4.4.3.

3.4.4.1 Variasi Penelitian

Pada penelitian ini, terdapat 2 variabel yang digunakan, yaitu debit air dan formasi lubang *baffle channel* yang ditutup. Penelitian ini dilakukan dengan aliran kontinyu. Variasi penelitian yang digunakan ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variasi Penelitian yang Digunakan

Perlakuan	Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm ²	Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm ²	Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm ²
Debit 1 (1 L/menit)	D1L1	D1L2	D1L3
Debit 2 (2 L/menit)	D2L1	D2L2	D2L3
Debit 3 (3 L/menit)	D3L1	D3L2	D3L3

Keterangan:

D1 = Debit 1 (1 L/menit)

D2 = Debit 2 (2 L/menit)

D3 = Debit 3 (3 L/menit)

L1 = Luas Permukaan Lubang 1 ((0,283 – 0,770 – 1,005) cm²)

L2 = Luas Permukaan Lubang 1 ((0,283 – 0,385 – 1,508) cm²)

L3 = Luas Permukaan Lubang 1 ((0,283 – 0,385 – 1,005) cm²)

a. Debit aliran

Nilai variasi debit aliran yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 L/menit, 2 L/menit, dan 3 L/menit. Pengaturan debit dilakukan dengan menggunakan *valve* serta *flowmeter* sebagai pengontrol debit. Pemilihan debit tersebut didasari pada nilai maksimal *surface loading* reactor yang didesain untuk debit maksimal 3 L/menit.

b. Luas permukaan lubang pada *baffle*

Luas permukaan lubang pada *baffle* 1 yang digunakan adalah 0,283 cm². Pada *baffle* 2 digunakan luas permukaan lubang sebesar 0,385 cm² dan 0,770 cm². Digunakan luas permukaan

lubang sebesar $1,005 \text{ cm}^2$ dan $1,508 \text{ cm}^2$ untuk *baffle* 3. Adapun variasi susunan luas permukaan lubang pada tiap *baffle channel* pada penelitian ini adalah $(0,283 - 0,770 - 1,005) \text{ cm}^2$, $(0,283 - 0,385 - 1,508) \text{ cm}^2$, $(0,283 - 0,385 - 1,005) \text{ cm}^2$. Variasi luas permukaan lubang pada tiap *baffle* dilakukan dengan cara melakukan penyumbatan lubang yang ada pada *baffle* dengan menggunakan mur dan baut.

3.4.4.2 Pelaksanaan Penelitian

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 set reaktor akrilik yang terdiri dari pengaduk lambat dan sedimentasi II yang sudah dilengkapi pipa inlet dan outlet, pipa PVC dengan diameter 100 mm sebagai bak pengaduk cepat, galon air minum sebagai bak pembubuh alum, serta bak penampung air sampel yang sudah dilengkapi dengan *submersible pump*. Reaktor penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.

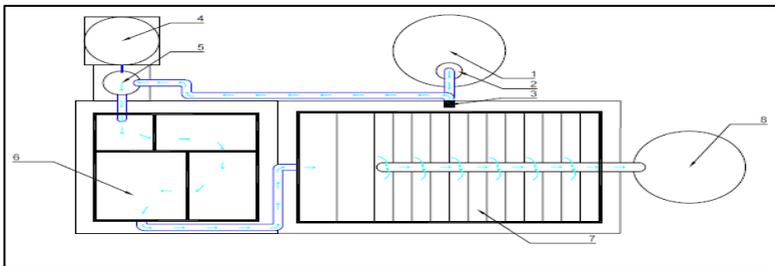


Gambar 3.2 (a) Tampak depan reaktor penelitian; (b) Tampak samping reaktor penelitian

Pengoperasian reaktor dilakukan dengan sistem kontinyu. Sebelum melakukan *running* pada penelitian, terlebih dahulu air sampel dimasukkan ke dalam bak penampung bervolume 80 L. Sampel air diaduk kemudian diendapkan selama 2 jam sebagai

proses pra-sedimentasi. Sampel dialirkan menggunakan *submersible pump* dengan variasi dan kontrol debit dapat dilakukan menggunakan *valve* serta *flowmeter* yang digunakan untuk melihat debit yang mengalir. Selama *running*, debit yang mengalir pada rangkaian alat harus selalu dipantau pada *flowmeter* mengingat pengaliran harus konstan. Apabila terjadi penurunan atau kenaikan debit, maka dapat dilakukan kontrol pada *valve*. Air masuk ke dalam bak pengaduk cepat bersamaan dengan pembubuhan alum. Proses koagulasi terjadi secara terjunan.

Kemudian, air masuk ke dalam bak pengaduk lambat melewati lubang pada *baffle*. Proses flokulasi terjadi secara hidraulis melalui lubang pada *baffle*. Proses sedimentasi berlangsung selama 60 menit setelah air masuk ke dalam bak sedimentasi. Titik pengambilan sampel berada pada titik 1 dan titik 8 pada Gambar 3.3. Pengambilan sampel pada titik sampling dilakukan pada menit ke – 30, 45, dan 60 untuk tiap *running*. Gambar 3.4 menunjukkan detail unit flokulasi hidraulis.

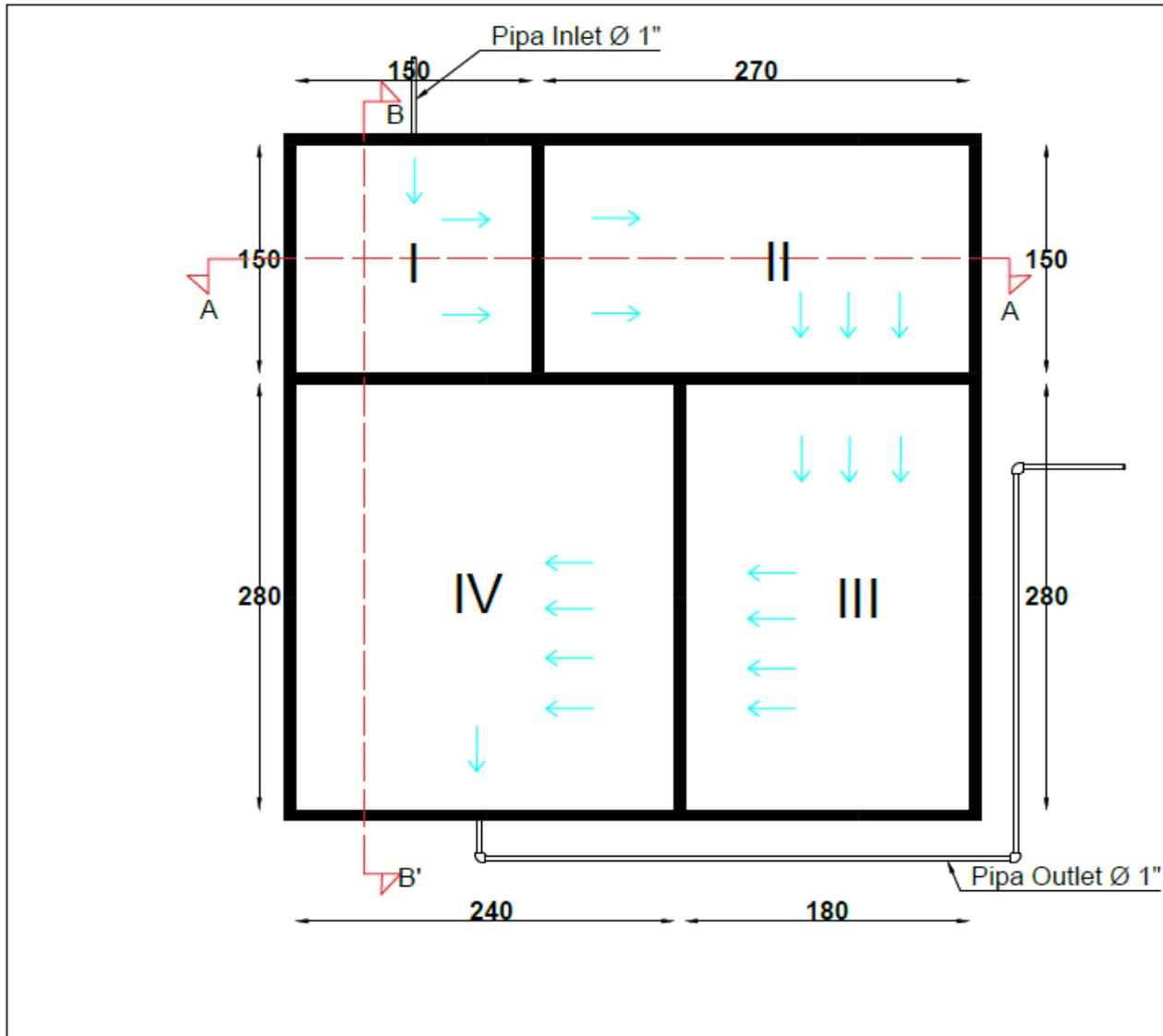


Gambar 3.3 Denah Rangkaian Alat Penelitian

Keterangan **Gambar 3.3:**

- 1 = Bak inlet dengan volume 80 L.
 - 2 = *Submersible pump*.
 - 3 = *Flowmeter*.
 - 4 = Bak pembubuh alum.
 - 5 = Reaktor pipa pvc pengaduk cepat.
 - 6 = Reaktor akrilik pengaduk lambat.
 - 7 = Reaktor pengendap.
 - 8 = Bak penampung dengan volume 80 L.
- = Arah aliran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

JUDUL TUGAS AKHIR

UJI KINERJA UNIT PENGADUK
LAMBAT TIPE HIDRAULIS

JUDUL GAMBAR

DENAH UNIT PENGADUK LAMBAT
TIPE HIDRAULIS

MAHASISWA / NRP

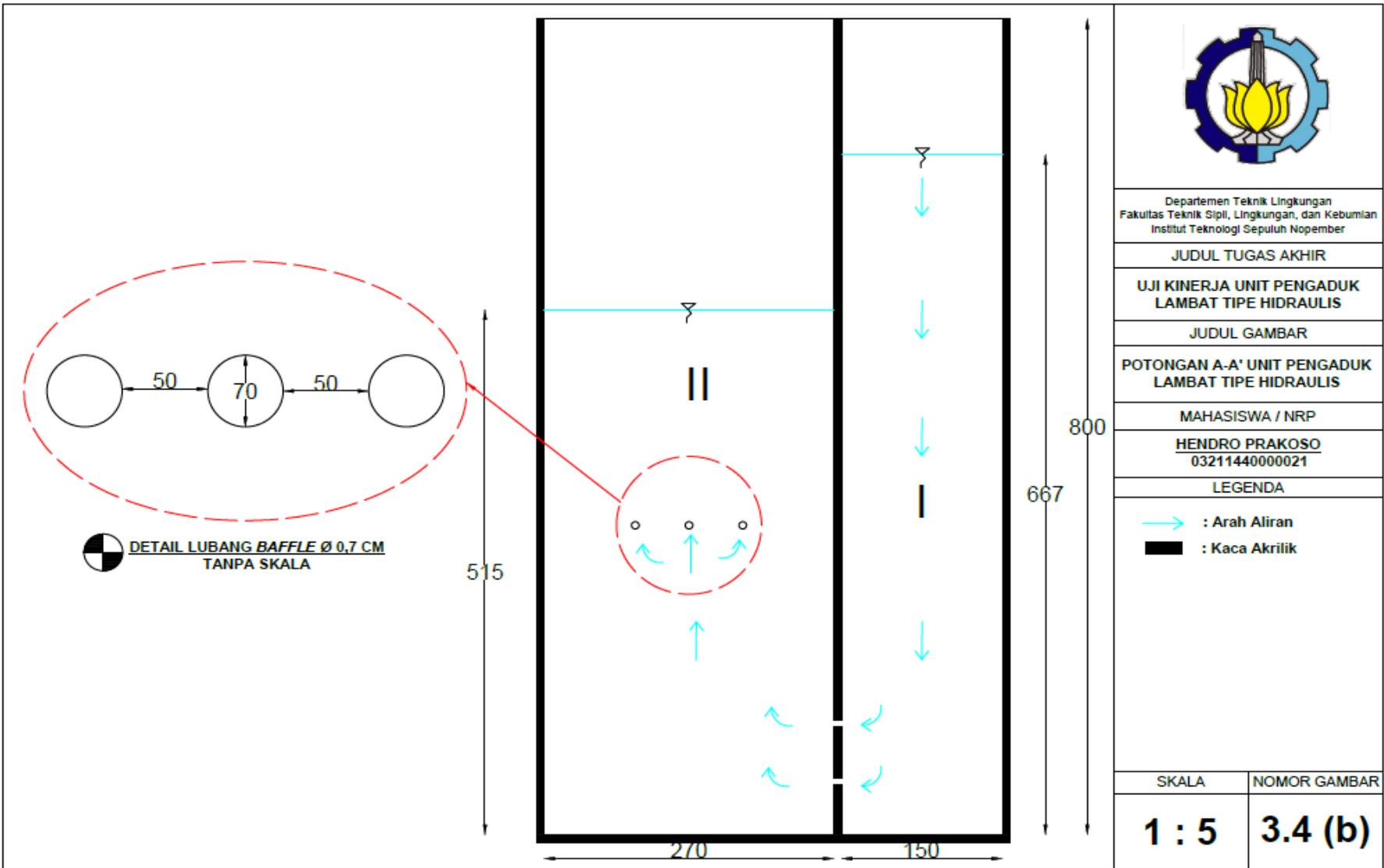
HENDRO PRAKOSO
0321144000021

LEGENDA

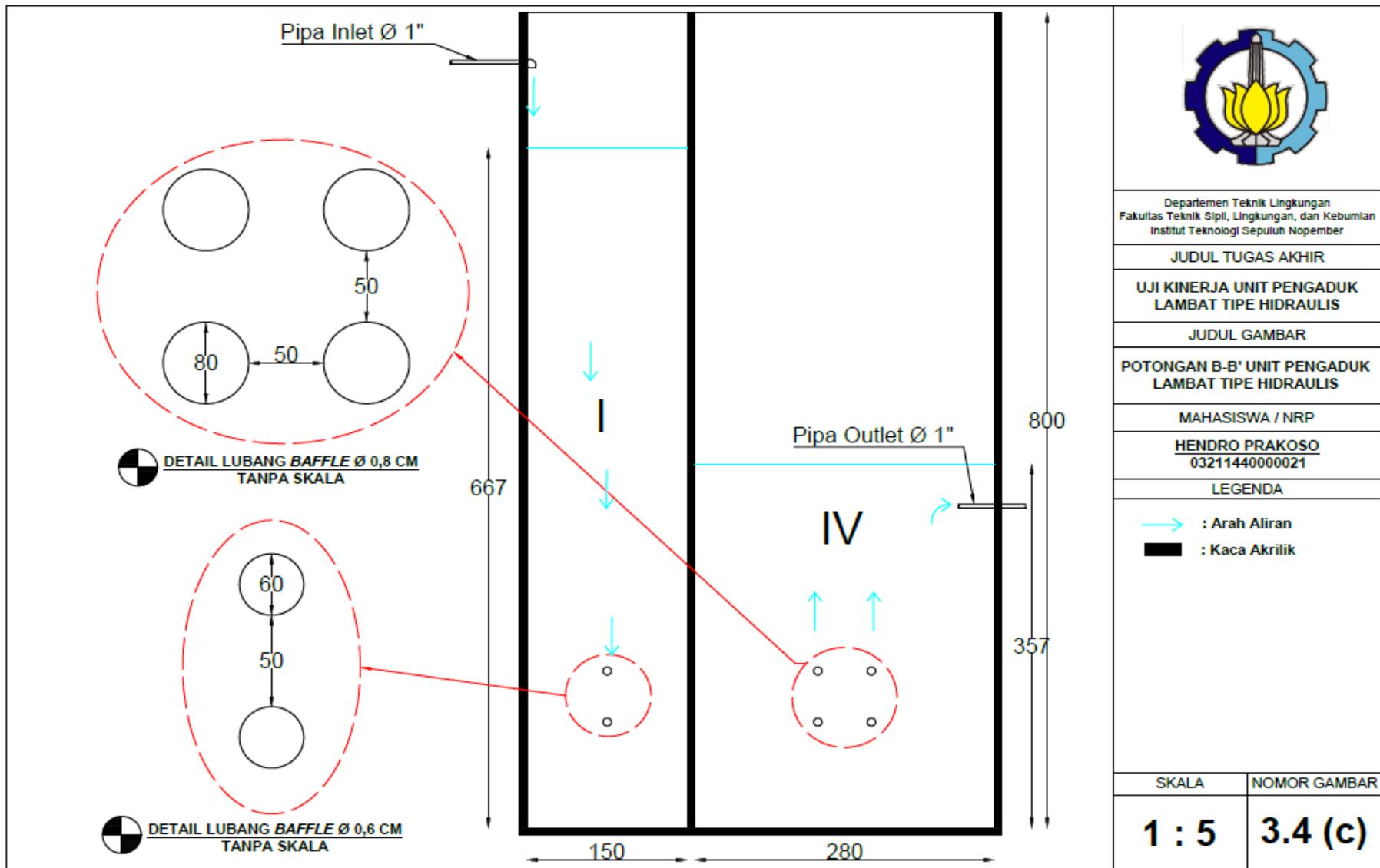
- : Arah Aliran
- : Kaca Akrilik

SKALA	NOMOR GAMBAR
1 : 4	3.4 (a)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

3.4.4.3 Pengukuran Parameter Uji

Parameter yang diuji adalah kekeruhan dan TSS. Parameter kekeruhan dan TSS diukur sesuai dengan *standard methods* menurut APHA (2005) sebelum dan sesudah dilakukannya *running*. Prosedur pengukuran kekeruhan dan TSS dapat dilihat pada Lampiran C.

3.5 Analisis Data dan Pembahasan

Perbandingan antara studi literatur dengan hasil penelitian terkait menjadi dasar dalam pembuatan analisis dan pembahasan pada penelitian ini. Data terkait meliputi hasil uji parameter kekeruhan dan TSS outlet unit pengaduk lambat tipe hidraulis, serta pengukuran *head loss*. Berdasarkan hasil uji parameter terhadap sampel air dari titik *inlet* dan *outlet* serangkaian reaktor, dapat diketahui persentase efisiensi penyisihan kekeruhan dan TSS pada reaktor.

Hasil dari penelitian ini terdiri atas hasil penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Data yang diperoleh kemudian dibahas sesuai dengan tinjauan pustaka dan penelitian terdahulu. Hasil yang diperoleh dari penelitian pendahuluan adalah:

1. Mendapatkan nilai kekeruhan dan TSS awal dari sampel air baku yang diambil di Sungai Jagir, Surabaya.
2. Mendapatkan nilai *head loss* dan gradien kecepatan hasil variasi luas permukaan lubang *baffle channel* dan debit pada unit pengaduk lambat hidraulis.

Sementara itu, hasil yang diperoleh dari penelitian utama adalah:

1. Mendapatkan efisiensi penyisihan kekeruhan dalam sampel air terhadap variasi debit dan luas permukaan lubang.
2. Mendapatkan efisiensi total padatan tersuspensi (TSS) kekeruhan dalam sampel air terhadap variasi debit dan luas permukaan lubang.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran didasarkan dari hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan selama penelitian. Kesimpulan bertujuan untuk menjawab tujuan dari penelitian dan untuk mempermudah pembaca memperoleh gambaran ringkasan

hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Saran yang berisi evaluasi dan rekomendasi dapat berguna bagi penelitian selanjutnya agar tidak terjadi kesalahan yang sama dan dapat tercapainya penyempurnaan penelitian sehingga diperoleh informasi yang dapat dipertanggung jawabkan dalam penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Air Sungai Jagir Surabaya

Air baku yang digunakan pada penelitian ini merupakan air Sungai Jagir Surabaya. Air Sungai Jagir Surabaya dipilih karena digunakan oleh PDAM sebagai air baku. Sampel yang diambil merupakan sampel air dengan kandungan lumpur yang sangat kecil di Sungai Jagir Surabaya. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir kandungan partikel diskrit yang ada pada air baku yang digunakan. Berdasarkan hasil analisa laboratorium yang telah dilakukan, tingkat kekeruhan dan total padatan tersuspensi (TSS) pada air baku dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kualitas Air Sungai Jagir Surabaya

Tanggal Pengambilan Sampel	Kekeruhan (NTU)	Total Padatan Tersuspensi (mg/L)
8 Maret 2018	214	276
15 Maret 2018	32,8	292
26 Maret 2018	118	184
29 Maret 2018	72,1	100
2 April 2018	226	272
5 April 2018	100	136
11 April 2018	143	128
16 April 2018	175	136

Pada tabel di atas disajikan data kualitas air Sungai Jagir Surabaya yang diambil pada saat keadaan tidak hujan. Hasil pengukuran air Sungai Jagir Surabaya menunjukkan bahwa kekeruhan dan total padatan tersuspensi mengalami fluktuasi. Pada saat pengoperasian reaktor, air baku terlebih dahulu diendapkan selama 2 jam sebagai proses pra-sedimentasi. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan/mencegah *gravel*, pasir, lumpur, maupun material kasar agar tidak masuk ke dalam unit pengaduk cepat. Pra-sedimentasi selama 2 jam mampu menyisihkan partikel diskrit sebesar 40-50% (Ambat dan Prasetyo, 2015). Setelah diendapkan selama 2 jam, air baku dialirkan ke dalam bak inlet dan

dilakukan proses *mixing* secara terus-menerus agar tidak terjadi pengendapan dan perubahan kekeruhan yang signifikan.

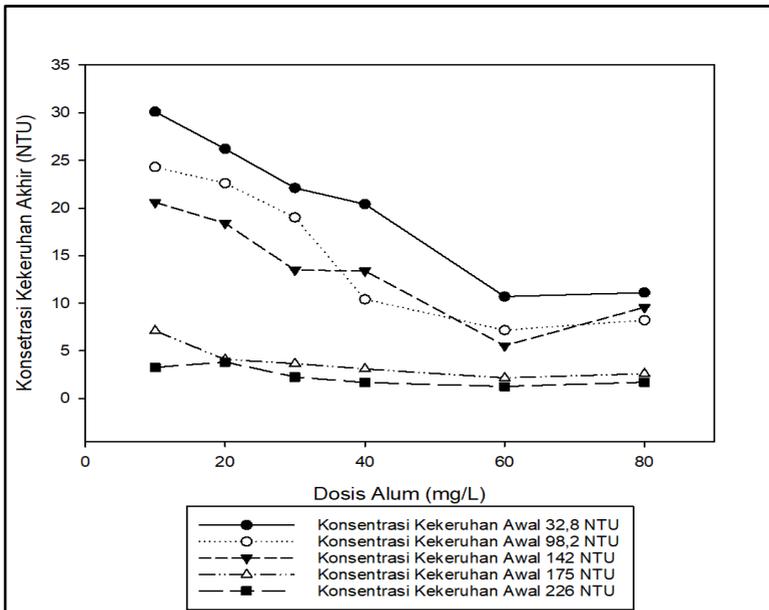
4.2 Analisa Dosis Optimum Tawas

Penentuan dosis optimum tawas bertujuan untuk mendapatkan kebutuhan tawas yang mampu menghasilkan hasil kekeruhan akhir seminim mungkin. Penentuan dosis optimum koagulan dilakukan dengan metode *Jar-Test* yang dapat dilihat pada Lampiran B. Digunakan lima (5) macam kekeruhan awal dalam analisis ini, yaitu 32,8; 98,2; 142; 175; dan 226 NTU. Hasil percobaan untuk menentukan dosis optimum tawas untuk 5 konsentrasi kekeruhan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1 menunjukkan grafik penurunan kekeruhan terhadap dosis koagulan.

Tabel 4.2 Data Penurunan Konsentrasi Kekeruhan

Konsentrasi Kekeruhan Awal (NTU)	Dosis Koagulan (mg/L)	Konsentrasi Kekeruhan Outlet (NTU)	Efisiensi Penyisihan (%)
32,8	10	30,1	8,2%
	20	26,2	20,1%
	30	22,1	32,6%
	40	20,4	37,8%
	60	10,7	67,3%
	80	11,1	66,2%
98,2	10	24,3	75,3%
	20	22,6	77,0%
	30	19	80,7%
	40	10,4	89,4%
	60	7,2	92,7%
	80	8,2	91,7%
142	10	20,6	85,5%
	20	18,4	87,0%
	30	13,5	90,5%
	40	13,4	90,6%
	60	5,5	96,1%
	80	9,6	93,3%

Konsentrasi Kekeruhan Awal (NTU)	Dosis Koagulan (mg/L)	Konsentrasi Kekeruhan Outlet (NTU)	Efisiensi Penyisihan (%)
175	10	7,1	95,9%
	20	4,1	97,7%
	30	3,7	97,9%
	40	3,1	98,2%
	60	2,2	98,8%
	80	2,6	98,5%
226	10	3,3	98,6%
	20	3,8	98,3%
	30	2,2	99,0%
	40	1,7	99,3%
	60	1,3	99,5%
	80	1,7	99,3%



Gambar 4.1 Penurunan Konsentrasi Kekeruhan terhadap Dosis Koagulan

Pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1 menunjukkan bahwa dosis optimum tawas untuk seluruh konsentrasi kekeruhan adalah 60 mg/L. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi kekeruhan, maka penyisihan yang dilakukan oleh tawas semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena penambahan konsentrasi kekeruhan menambah muatan koloid sehingga bisa berinteraksi lebih efektif dengan koagulan, sehingga mempermudah penggabungan partikel koloid.

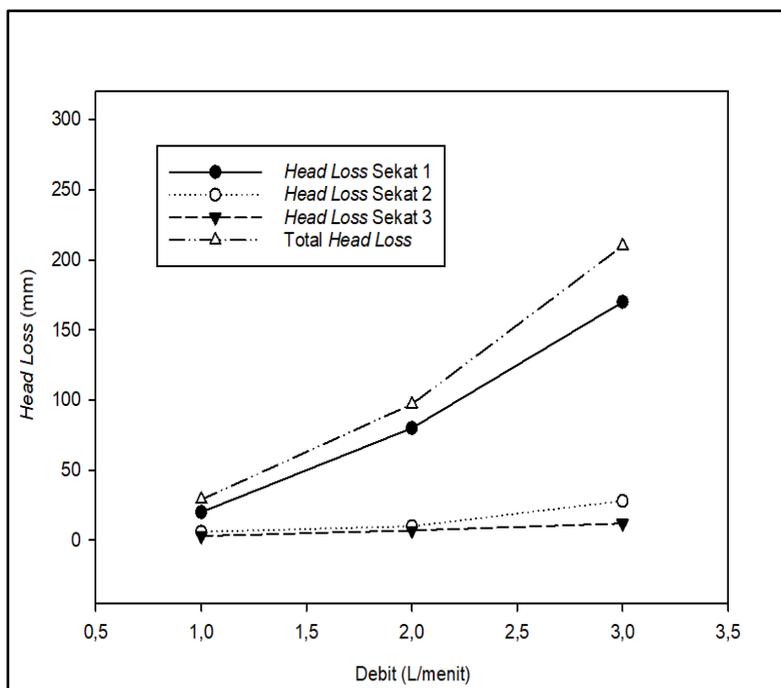
4.3 Analisis *Head loss*

Head loss merupakan kehilangan tinggi atau tekanan yang ada dalam suatu unit yang dialiri oleh fluida (Linsley dan Franzini, 1985). *Head loss* juga dapat diartikan sebagai kehilangan tinggi tekanan air antara inlet dan outlet (Khumyahd, 1991). Pengukuran *head loss* pada unit pengaduk lambat tipe hidraulis dilakukan dengan mengukur selisih tinggi muka air pada tiap kompartemen. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *roll meter* atau penggaris dan diukur untuk tiap variasi yang digunakan.

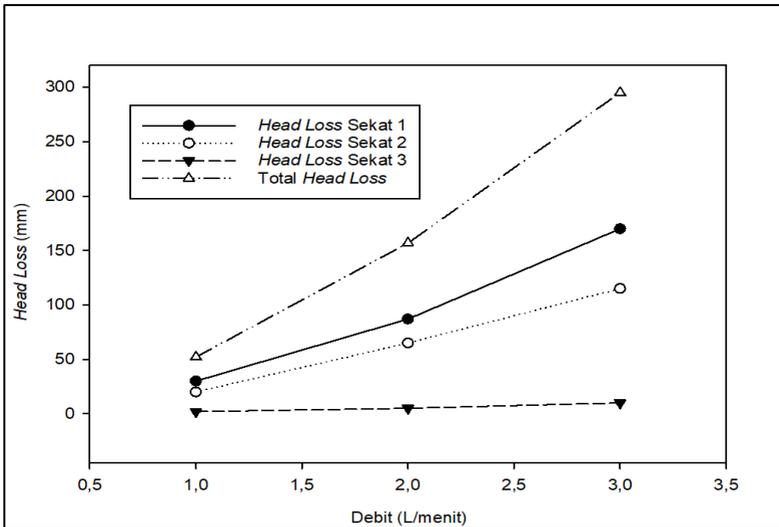
Berdasarkan hasil pengamatan, pada luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm² total *head loss* paling tinggi dihasilkan pada variasi debit 3 L/menit. Adapun total *headloss* yang dihasilkan pada debit 1 L/menit, 2 L/menit, dan 3 L/menit masing-masing sebesar 29 mm, 97 mm, dan 210 mm. Peningkatan nilai total *headloss* terjadi sebanding dengan peningkatan debit di dalam reaktor. Grafik kenaikan nilai *head loss* untuk luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm² dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Pada luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm², terjadi peningkatan nilai total *head loss* dari variasi sebelumnya. Total *headloss* yang dihasilkan oleh debit 1 L/menit, 2 L/menit, dan 3 L/menit pada variasi ini adalah 52 mm, 157 mm, dan 295 mm. Nilai *head loss* mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan variasi sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai debit dan penurunan luas permukaan lubang yang digunakan pada sekat ke-2 dapat meningkatkan nilai total *head loss* yang ada di dalam unit pengaduk lambat tipe hidraulis. Grafik kenaikan nilai *head loss* untuk luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm² dapat dilihat pada Gambar 4.3.

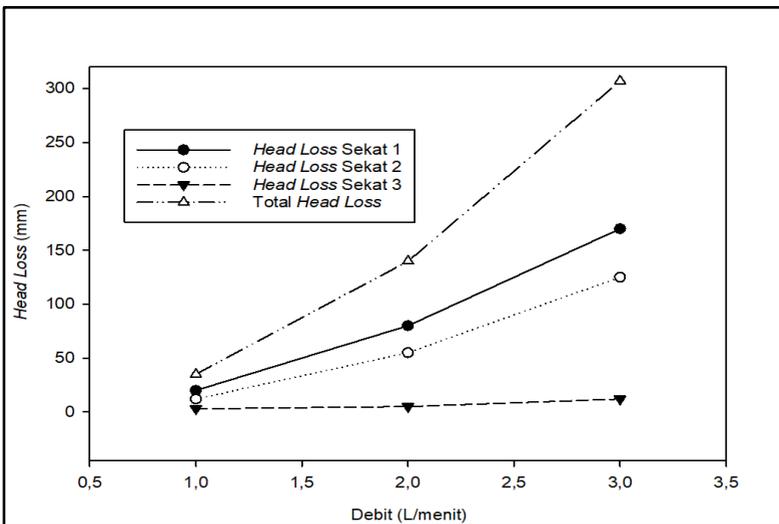
Hal yang sama diperlihatkan oleh variasi luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 – 1,005) cm². Pada variasi ini, total *head loss* yang dihasilkan pada debit 1 L/menit, 2 L/menit, dan 3 L/menit masing-masing sebesar 35 mm, 140 mm, dan 310 mm. Nilai total *head loss* pada debit 1 L/menit dan 2 L/menit mengalami penurunan jika dibandingkan dengan variasi ke – 2. Hal ini disebabkan terjadinya peningkatan tinggi muka air pada sekat ke - 1 dan sekat ke - 2 yang mengakibatkan *head loss* yang dihasilkan berkurang. Pada sekat berlubang, secara teoritis dapat dihitung dengan mengkuadratkan kecepatan dan dibagi terhadap gravitasi dan koefisien drag, sehingga mengakibatkan nilai *headloss* tidak linear terhadap debit (Vianna *et al.*, 2015).



Gambar 4.2 Hubungan antara Debit dengan *Head Loss* pada Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm²



Gambar 4.3 Hubungan antara Debit dengan *Head Loss* pada Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm²



Gambar 4.4 Hubungan antara Debit dengan *Head Loss* pada Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,005) cm²

Berdasarkan hasil analisis pengukuran *head loss*, terlihat bahwa peningkatan nilai *head loss* berbanding lurus terhadap debit dan berbanding terbalik terhadap luas permukaan lubang. Semakin besar debit yang digunakan, nilai *head loss* yang dihasilkan meningkat, serta semakin rendah luas permukaan lubang antar sekat yang digunakan, juga meningkatkan nilai *head loss*. Peningkatan nilai *head loss* yang dihasilkan tidak linear dengan debit yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan waktu detensi tiap kompartemen yang menyebabkan ketinggian air dalam kompartemen meningkat. Pada debit 1 L/menit, waktu detensi air pada tiap kompartemen sangat singkat, dibuktikan dengan ketinggian air yang rendah.

4.4 Analisis Gradien Kecepatan dan G.td

Gradien kecepatan dan g.td dapat ditentukan berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.3. Pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20-100 detik⁻¹) selama 10 hingga 60 menit atau nilai G.td (bilangan *Champ*) berkisar 48.000 hingga 21.000 (Reynolds dan Richard, 1982). Adapun data yang diperlukan dalam perhitungan gradien kecepatan dan g.td berupa debit yang digunakan, nilai *head loss*, dan tinggi air tiap sekat. Pada perhitungan gradien kecepatan dan G.td, akan terlihat besarnya turbulensi yang dihasilkan pada suatu aliran dengan debit dan *head loss* tertentu. Turbulensi dapat menyebabkan pencampuran antara koagulan dengan air baku menjadi homogen sehingga mampu meningkatkan besarnya efisiensi penyisihan pada parameter kekeruhan dan TSS. Perhitungan gradien kecepatan dan G.td dapat dilihat pada Lampiran A. Hasil perhitungan gradien kecepatan dan G.td untuk setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 4.3, Tabel 4.4, dan Tabel 4.5 di bawah ini. G1 menunjukkan gradien kecepatan di sekat ke-1, G2 menunjukkan gradien kecepatan yang dihasilkan di sekat ke-2, dan G3 gradien kecepatan yang dihasilkan di sekat ke-3.

Berdasarkan Tabel 4.3, untuk tiap *baffle* gradien kecepatan yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan. Hasil penelitian ini juga sudah sesuai dengan kriteria perencanaan yang telah ditetapkan pada SNI 6774: 2008. Gradien kecepatan yang dihasilkan pada suatu unit pengaduk lambat tipe hidraulis

harus mengalami penurunan untuk setiap *baffle*, hal ini untuk mencegah terjadinya pemecahan flok yang terbentuk dalam unit tersebut (Chamdan dan Purnomo, 2013).

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.5, terlihat bahwa G_{td} meningkat apabila debit juga mengalami peningkatan. Pengaruh luas permukaan lubang dapat menurunkan atau menaikkan G_{td} . Pada variasi luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm^2 dan (0,283 – 0,385 – 1,508) cm^2 , G_{td} yang dihasilkan untuk tiap debit masuk ke dalam kisaran 48.000 – 21.000. Sedangkan pada luas permukaan (0,283 - 0,385 - 1,005) cm^2 , debit 3 L/menit menghasilkan G_{td} sebesar 50.872. Menurut Benefield *et al.* (1982), kriteria desain G_{td} pada proses flokulasi memiliki rentang 20.000 – 200.000, sehingga pada penelitian ini dihasilkan G_{td} yang memenuhi kriteria desain tersebut, yakni dengan rentang 25.575 – 52.933.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Gradien Kecepatan tiap Variasi.

Debit (L/menit)	Head Loss			Gradien Kecepatan (/detik)		
	Head loss sekat ke-1 (mm)	Head loss sekat ke-2 (mm)	Head loss sekat ke-3 (mm)	G1	G2	G3
Luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm^2						
1	20	6	3	15,3	7,6	5,8
2	80	10	7	42,8	13,7	12,5
3	170	28	12	72,6	27,4	19,7
Luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm^2						
1	30	20	2	18,6	14,0	4,8
2	87	65	5	42,7	36,2	10,9
3	170	115	10	67,6	57,8	18,7
Luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 – 1,005) cm^2						
1	20	12	3	16,1	11,4	6,2
2	80	55	5	49,7	33,6	9,8
3	170	125	12	74,9	55,6	17,9

Tabel 4.4 Nilai Gradien Kecepatan Rata-Rata Tiap Variasi

Luas Permukaan Lubang (cm ²)	Debit (L/menit)	G1 (/detik)	G2 (/detik)	G3 (/detik)	G rata-rata (/detik)
(0,283 – 0,770 – 1,005)	1	15,3	7,6	5,8	9,6
	2	42,8	13,7	12,5	23,0
	3	72,6	27,4	19,7	39,9
(0,283 – 0,385 – 1,508)	1	18,6	14,0	4,8	12,5
	2	42,7	36,2	10,9	29,9
	3	67,6	57,8	18,7	48,0
(0,283 – 0,385 – 1,005)	1	16,1	11,4	6,2	11,2
	2	49,7	33,6	9,8	31,0
	3	74,9	55,6	17,9	49,4

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan G.td tiap Variasi.

Debit (L/menit)	G.Td Total		
	Luas Permukaan Lubang (0,283 - 0,770 - 1,005) cm ²	Luas Permukaan Lubang (0,283 - 0,385 - 1,508) cm ²	Luas Permukaan Lubang (0,283 - 0,385 - 1,005) cm ²
1	25.575	33.793	27.316
2	30.934	42.061	40.531
3	38.911	49.396	52.933

4.5 Analisis Kekeruhan

Parameter pertama yang diujikan pada outlet hasil pengoperasian unit pengaduk cepat, pengaduk lambat tipe hidraulis, dan sedimentasi adalah kekeruhan. Analisis dilakukan dengan metode turbidimetri di mana dilakukan pengukuran dengan alat turbidimetri. Uji kekeruhan dilakukan pada inlet dan outlet pada rangkaian reaktor. Analisis kekeruhan dilakukan pada setiap variasi pada penelitian ini. Pengambilan sampel untuk

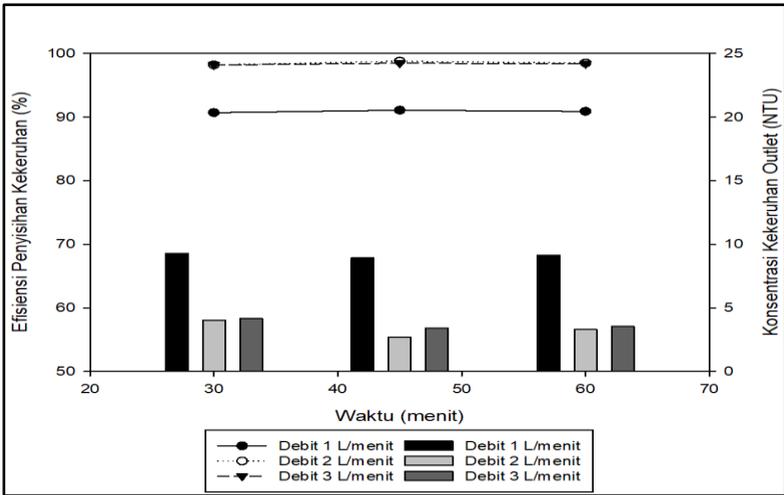
pengukuran kekeruhan dilakukan pada menit ke-30, menit ke-45, dan menit ke-60 setelah dilakukan pengisian sampel air di bak sedimentasi. Dokumentasi hasil pengukuran dapat dilihat pada Lampiran F.

Berdasarkan hasil analisis, pada luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm², dihasilkan rentang konsentrasi kekeruhan outlet dan efisiensi penyisihan masing-masing sebesar 2,7 – 9,3 NTU dan 90,7% - 98,8%. Konsentrasi kekeruhan outlet terendah dan efisiensi penyisihan kekeruhan tertinggi didapatkan pada variasi debit 2 L/menit dan waktu pengambilan sampel di menit ke-45. Fluktuasi nilai efisiensi dan outlet disebabkan karena adanya pergerakan dan interaksi antar partikel-partikel tersuspensi. Tetapi secara keseluruhan efisiensi yang dihasilkan stabil untuk setiap variasi debit. Grafik hubungan antara waktu pengambilan sampel dengan konsentrasi kekeruhan outlet dan efisiensi penyisihan kekeruhan yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.5.

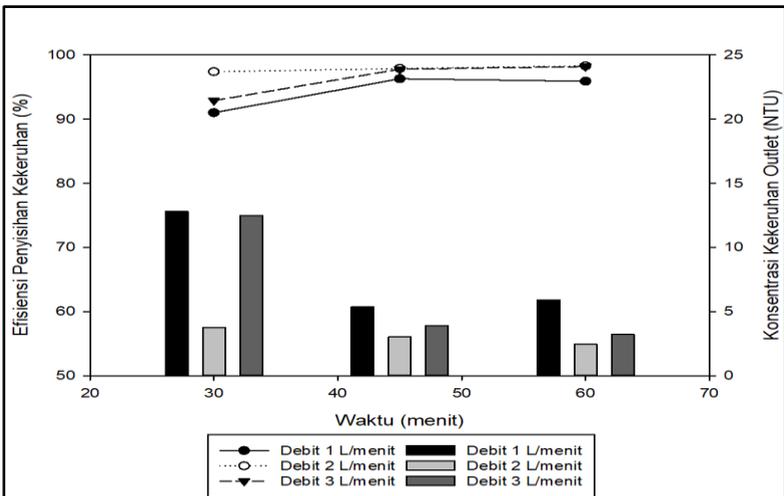
Pada luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm², rentang konsentrasi kekeruhan outlet yang dihasilkan sebesar 2,5 NTU – 12,8 NTU. Rentang efisiensi penyisihan kekeruhan pada variasi ini sebesar 91,0 – 98,3 %. Penurunan efisiensi penyisihan tertinggi disebabkan adanya penurunan kekeruhan awal variasi ke-2 dan ke-1 yang dapat mempengaruhi pencampuran antara koagulan dengan sampel air. Grafik hubungan antara waktu pengambilan sampel dengan konsentrasi kekeruhan outlet dan efisiensi penyisihan kekeruhan yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Hal yang sama terjadi pada luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 – 1,005) cm², di mana rentang efisiensi penyisihan yang dihasilkan sebesar 73,1% – 96,4%. Sedangkan rentang konsentrasi kekeruhan outlet sebesar 4,21 NTU – 19,4 NTU. Grafik hubungan antara waktu pengambilan sampel dengan konsentrasi kekeruhan outlet dan efisiensi penyisihan kekeruhan yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.7.

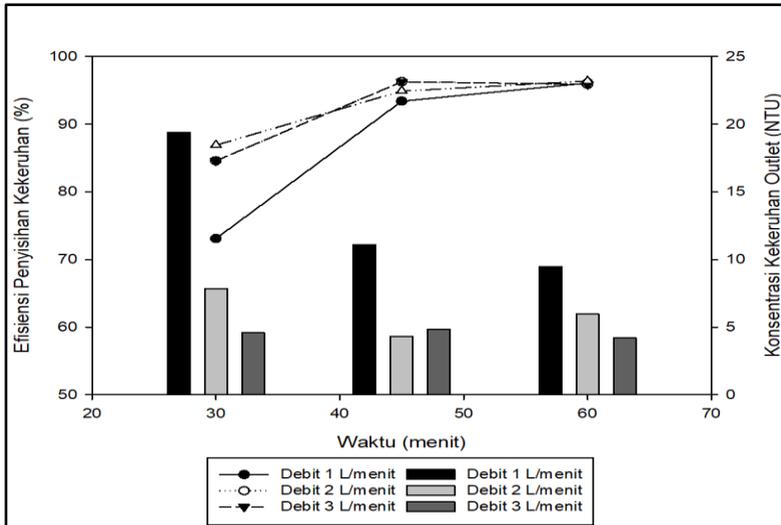
Kurva garis menunjukkan hubungan antara waktu pengambilan sampel dengan efisiensi penyisihan kekeruhan dan grafik batang menunjukkan hubungan antara waktu pengambilan sampel dengan konsentrasi kekeruhan outlet untuk tiap variasi. Hasil lengkap pengukuran dapat dilihat di Lampiran E.



Gambar 4.5 Hubungan Waktu Pengendapan dengan Efisiensi dan Konsentrasi Kekeruhan Outlet pada Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm²



Gambar 4.6 Hubungan Waktu Pengendapan dengan Efisiensi Penyisihan dan Konsentrasi Kekeruhan Outlet pada Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm²



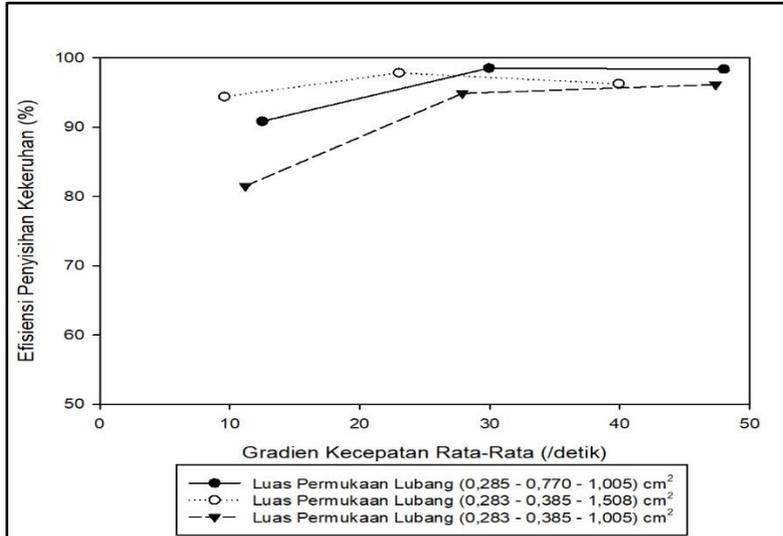
Gambar 4.7 Hubungan Waktu Pengendapan dengan Efisiensi Penyisihan dan Konsentrasi Kekeruhan Outlet pada Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,005) cm²

Berdasarkan Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7 pada halaman selanjutnya, efisiensi penyisihan tertinggi terjadi pada menit ke-45 pengendapan dengan presentase penyisihan sebesar 98,8% dan kekeruhan outlet sebesar 2,7 NTU yang diperoleh pada debit 2 L/menit dengan luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm². Hal ini disebabkan karena konsentrasi kekeruhan awal mempengaruhi proses destabilisasi dan penggabungan partikel koloid. Semakin besar konsentrasi kekeruhan awal, tingkat efektifitas koagulan terhadap flok semakin besar (Puteri, 2012).

Setelah mendapatkan hubungan nilai kekeruhan outlet dan efisiensi penyisihan kekeruhan terhadap waktu pengendapan untuk tiap variasi luas permukaan dan debit, selanjutnya menghubungkan nilai rata-rata kekeruhan outlet dengan gradien kecepatan yang dihasilkan. Tabel 4.6 di bawah ini menunjukkan nilai efisiensi penyisihan kekeruhan, rata-rata konsentrasi kekeruhan di outlet, dan gradien kecepatan. Selanjutnya diplotkan ke dalam grafik pada Gambar 4.8.

Tabel 4.6 Hubungan Nilai Rata-Rata Kekeruhan Outlet dan Efisiensi Penyisihan dengan Gradien Kecepatan

Luas Permukaan Lubang (cm ²)	G rata-rata (/detik)	Rata-Rata Efisiensi
(0,283 – 0,770 – 1,005)	12,5	90,9%
	29,9	98,5%
	48,0	98,4%
(0,283 – 0,385 – 1,508)	9,6	94,4%
	23,0	97,8%
	39,9	96,3%
(0,283 – 0,385 – 1,005)	11,2	81,5%
	27,9	94,9%
	47,4	96,2%



Gambar 4.8 Hubungan antara Gradien Kecepatan Rata – Rata dengan Efisiensi Penyisihan Kekeruhan tiap Variasi

Berdasarkan Gambar 4.8, grafik yang dihasilkan mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena adanya kenaikan gradien kecepatan, turbulensi yang dihasilkan semakin tinggi sehingga proses flokulasi yang terjadi baik. Dengan adanya turbulensi tersebut, hasil pencampuran koagulan dengan partikel koloid membentuk flok-flok menjadi baik. Konsentrasi kekeruhan awal juga mempengaruhi proses flokulasi. Semakin tinggi konsentrasi kekeruhan awal pada sampel air, benturan antar partikel-partikel koloid menjadi lebih efektif dan secara langsung mampu meningkatkan nilai efisiensi penyisihan. Nilai rata-rata efisiensi penyisihan kekeruhan optimum didapat pada gradien kecepatan rata – rata sebesar 29,94/detik untuk variasi luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm² sebesar 98,52%.

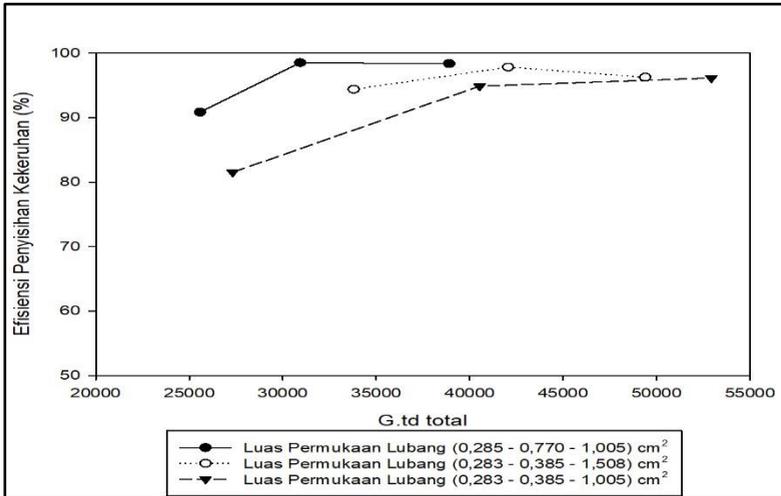
Tabel 4.7 di bawah ini menunjukkan data G.td total yang dihasilkan dan efisiensi penyisihan kekeruhan. Gambar 4.24 menunjukkan grafik hubungan G.td total terhadap rata-rata efisiensi penyisihan kekeruhan yang dihasilkan.

Tabel 4.7 Data Nilai G.td total dan Efisiensi Penyisihan Kekeruhan

Luas Permukaan Lubang (cm ²)	Debit (L/menit)	G.td total	Rata-Rata Efisiensi
(0,283 – 0,385 – 1,508)	1	33.793	94,4%
	2	42.061	97,8%
	3	49.396	96,3%
(0,283 – 0,770 – 1,005)	1	25.575	90,9%
	2	30.934	98,5%
	3	38.911	98,4%
(0,283 – 0,385 – 1,005)	1	27.316	81,5%
	2	40.531	94,9%
	3	52.933	96,2%

Berdasarkan Gambar 4.9, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa titik pada G.td total yang dihasilkan mengalami penurunan efisiensi penyisihan kekeruhan. Pada titik G.td total sebesar 30.934 untuk variasi luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm², efisiensi yang dihasilkan sebesar 97,8%. Ketika terjadi peningkatan G.td menjadi 38.911 pada variasi luas

permukaan lubang yang sama, efisiensi penyisihan kekeruhan menurun menjadi 96,3%. Hal ini disebabkan adanya peningkatan G.td memungkinkan untuk memecah partikel flok yang terbentuk, sehingga kekeruhan kembali meningkat (Mohammed dan Shakir, 2018).



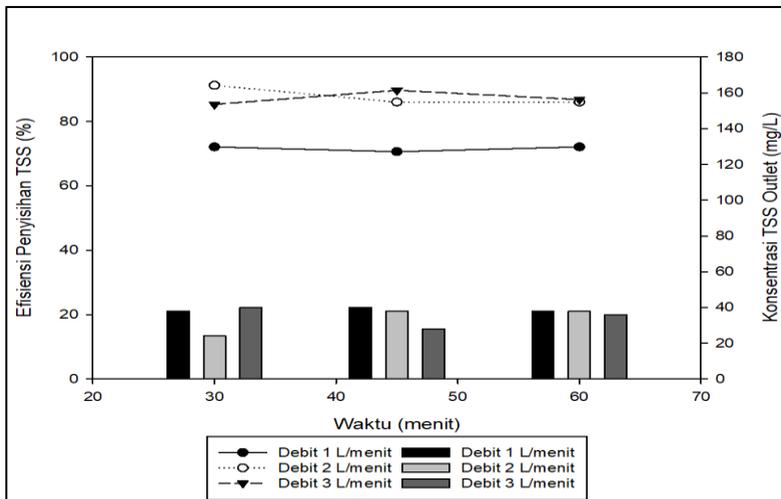
Gambar 4.9 Hubungan antara G.td Total dengan Efisiensi Penyisihan Kekeruhan tiap Variasi

4.6 Analisis Total Padatan Tersuspensi (TSS)

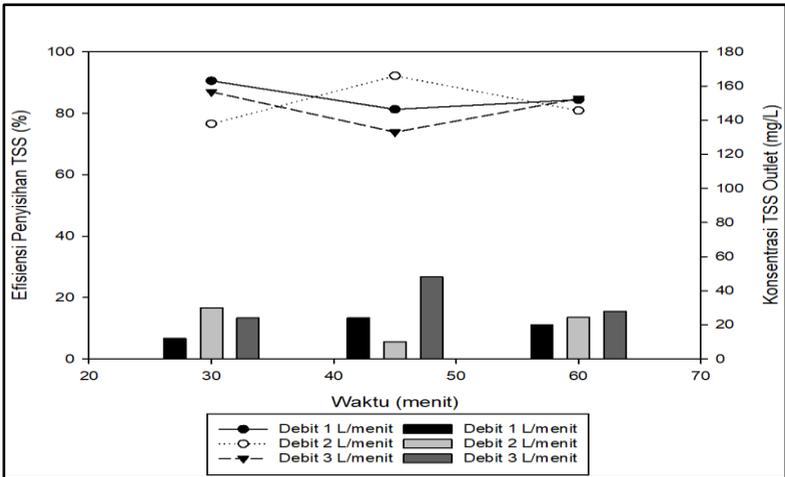
Parameter kedua yang diujikan pada outlet hasil pengoperasian unit pengaduk cepat, pengaduk lambat tipe hidraulis, dan sedimentasi adalah total padatan tersuspensi (TSS). TSS merupakan zat padat (pasir, lumpur, dan tanah liat) atau partikel tersuspensi dalam air dan dapat berupa komponen hidup (biotik) seperti fitoplankton, zooplankton, bakteri, fungi, ataupun komponen mati (abiotik) seperti detritus dan partikel anorganik (Ainy *et al.*, 2011). Analisis dilakukan dengan mengacu pada Lampiran C. Uji TSS dilakukan pada inlet dan outlet rangkaian reaktor. Pengambilan sampel dilakukan pada waktu pengendapan 30, 45, dan 60 menit. Dokumentasi hasil pengukuran dapat dilihat pada Lampiran E. Analisis TSS dilakukan pada setiap variasi pada penelitian ini.

Pada luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm², konsentrasi TSS outlet pada debit 1 L/menit, 2 L/menit, dan 3 L/menit masing-masing dihasilkan dengan rentang 38 – 40 mg/L, 24 – 38 mg/L, dan 28 – 40 mg/L. Sedangkan efisiensi penyisihan TSS yang dihasilkan pada tiap debit memiliki rentang 72,1% - 91,2%. Pada luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm², dihasilkan rentang konsentrasi TSS tiap debit sebesar 10 mg/L – 48 mg/L. Adapun rentang efisiensi penyisihan TSS memiliki rentang 64,7% - 90,6%. Pada luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 – 1,005) cm², dihasilkan efisiensi penyisihan TSS tiap debit dengan rentang 40% - 88%. Grafik hubungan antara waktu pengambilan sampel dengan efisiensi penyisihan TSS dan konsentrasi TSS outlet dapat dilihat pada Gambar 4.10, Gambar 4.11, dan Gambar 4.12.

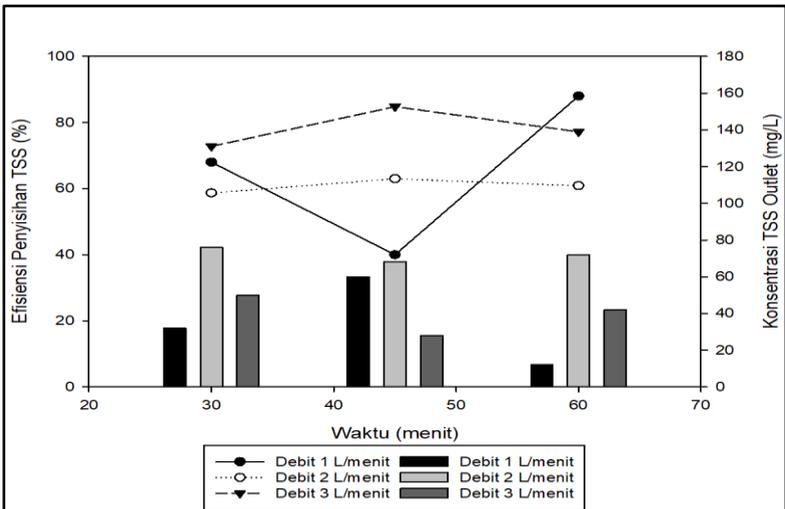
Kurva garis menunjukkan hubungan antara waktu pengambilan sampel dengan efisiensi penyisihan kekeruhan dan grafik batang menunjukkan hubungan antara waktu pengambilan sampel dengan konsentrasi kekeruhan outlet untuk tiap variasi. Hasil lengkap pengukuran dapat dilihat di Lampiran E.



Gambar 4.10 Hubungan Waktu Pengendapan dengan Efisiensi Penyisihan dan Konsentrasi TSS Outlet pada Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm²



Gambar 4.11 Hubungan Waktu Pengendapan dengan Efisiensi Penyisihan dan Konsentrasi TSS Outlet pada Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm²



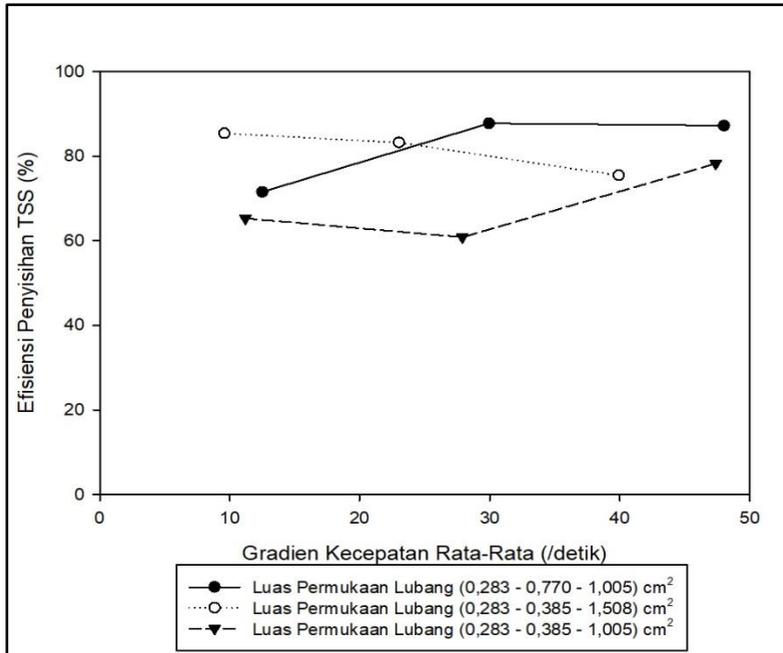
Gambar 4.12 Hubungan Waktu Pengendapan dengan Efisiensi Penyisihan dan Konsentrasi TSS Outlet pada Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,005) cm²

Berdasarkan Gambar 4.10, Gambar 4.11, dan Gambar 4.12, kurva yang dihasilkan mengalami tren yang fluktuatif. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh zat pengotor pada analisis TSS sehingga mempengaruhi hasil yang didapatkan. Efisiensi tertinggi didapat pada pengoperasian debit 2 L/menit dan luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm² dengan waktu pengambilan sampel pada menit ke-45.

Setelah mendapatkan hubungan nilai kosentrasi TSS outlet dan efisiensi penyisihan TSS terhadap waktu pengendapan untuk tiap variasi luas permukaan dan debit, selanjutnya menghubungkan nilai rata-rata konsentrasi TSS outlet dengan gradien kecepatan yang dihasilkan. Tabel 4.8 di bawah ini menunjukkan nilai rata – rata efisiensi penyisihan TSS, konsentrasi TSS di outlet, dan gradien kecepatan. Selanjutnya diplotkan ke dalam grafik pada Gambar 4.13.

Tabel 4.8 Hubungan Nilai Rata-Rata Konsentrasi TSS Outlet dan Efisiensi Penyisihan dengan Gradien Kecepatan

Luas Permukaan Lubang (cm ²)	Gradien Kecepatan Rata-Rata (/detik)	Rata-Rata Efisiensi
(0,283 – 0,770 – 1,005)	12,5	71,6%
	29,9	87,8%
	48,0	87,3%
(0,283 – 0,385 – 1,508)	9,6	85,4%
	23,0	83,2%
	39,9	75,5%
(0,283 – 0,385 – 1,005)	11,2	65,3%
	27,9	60,9%
	47,4	78,3%



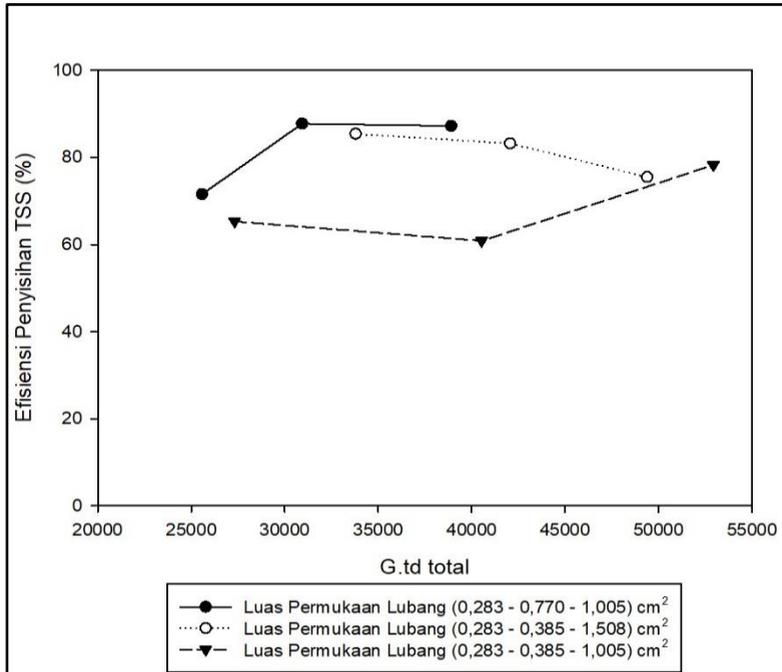
Gambar 4.13 Hubungan antara Gradien Kecepatan Rata-Rata dengan Efisiensi Penyisihan TSS tiap Variasi

Berdasarkan Gambar 4.13, grafik yang dihasilkan mengalami fluktuasi. Hal ini disebabkan karena adanya kenaikan gradien kecepatan, turbulensi yang dihasilkan semakin tinggi sehingga proses flokulasi yang terjadi baik. Dengan adanya turbulensi tersebut, hasil pencampuran koagulan dengan partikel koloid membentuk flok-flok menjadi baik. Namun, dengan tingginya turbulensi memungkinkan terjadinya pemecahan flok yang dapat meningkatkan konsentrasi TSS. Nilai efisiensi penyisihan TSS optimum didapat pada gradien kecepatan rata – rata 29,11/detik untuk variasi luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm² sebesar 87,8%.

Tabel 4.4 di bawah ini menunjukkan data G.td total yang dihasilkan dan efisiensi penyisihan TSS. Gambar 4.14 menunjukkan grafik hubungan G.td total terhadap rata-rata efisiensi penyisihan TSS yang dihasilkan.

Tabel 4.9 Data Nilai G.td total dan Efisiensi Penyisihan TSS

Luas Permukaan Lubang (cm ²)	Debit (L/menit)	G.td total	Rata-Rata Efisiensi
(0,283 – 0,385 – 1,508)	1	33.793	85,4%
	2	42.061	83,2%
	3	49.396	75,5%
(0,283 – 0,770 – 1,005)	1	25.575	71,6%
	2	30.934	87,8%
	3	38.911	87,3%
(0,283 – 0,385 – 1,005)	1	27.316	65,3%
	2	40.531	60,9%
	3	52.933	78,3%



Gambar 4.14 Hubungan antara G.td Total dengan Efisiensi Penyisihan TSS tiap Variasi

Berdasarkan Gambar 4.14, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa titik pada G.td total yang dihasilkan mengalami fluktuasi yang tidak beraturan. Pada G.td total untuk variasi luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 – 1,508) cm², efisiensi yang dihasilkan cenderung menurun. Sedangkan pada G.td total untuk variasi luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm² mengalami kenaikan efisiensi penyisihan.

4.7 Penentuan Pengaruh Debit Pengaliran dan Luas Permukaan Lubang pada *Baffle* Terhadap Parameter Kekерuhan dan TSS

Hasil penelitian yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan metode statistika untuk mengetahui pengaruh debit pengaliran dan luas permukaan lubang pada *baffle* terhadap parameter kekeruhan dan TSS. Metode statistika yang digunakan adalah uji ANOVA (*Analysis of Variance*). Uji ANOVA dilakukan dengan menggunakan metode *two-way* ANOVA. Program yang digunakan dalam melakukan analisis ini adalah *software* Minitab 16 dengan tingkat signifikansi (α) sebesar 95%. Hipotesis uji ANOVA yang dilakukan adalah sebagai berikut:

$$H_0 : t_1 = t_2 = t_3 = 0$$

$$H_1 : \text{paling sedikit ada satu } t_1 \neq 0$$

$$\alpha = 0,05$$

Hasil *running* dengan menggunakan program Minitab 16 dapat dilihat pada Tabel 4.10 di bawah ini.

Pada analisis ini, pernyataan H_0 diinterpretasikan sebagai variasi yang diberikan menunjukkan tidak adanya perbedaan yang cukup besar untuk hasil dari keseluruhan variasi tersebut terhadap parameter tertentu. Hal ini menunjukkan keberadaan variasi tidak berpengaruh pada hasil atau tidak signifikan. Hal ini ditandai dengan kondisi nilai *P-Value* atau nilai signifikansi lebih dari alpha ($\alpha = 0,05$). Oleh karena itu, variasi dengan nilai *P-Value* kurang dari 0,05 menunjukkan bahwa variasi tersebut berpengaruh secara signifikan terhadap parameter yang diuji. Berdasarkan hasil *output* Minitab 16, maka dapat diketahui bahwa signifikansi terjadi pada parameter *head loss*, kekeruhan, dan TSS.

Tabel 4.10 Hasil uji ANOVA dengan Program Minitab 16

No	Parameter	Source	DF	SS	MS	F	P
1	<i>Headloss</i>	Luas Lubang	2	18.641	9.321	1.184,93	0,000
		Debit	2	241.858	120.929	15.373,63	0,000
		Interaction	4	6.951	1.738	220,91	0,000
		Error	18	142	8		
		Total	26	267.592			
2	Kekeruhan	Luas Lubang	2	33,836	16,9178	1,99	0,166
		Debit	2	191,524	95,7619	11,26	0,001
		Interaction	4	42,054	10,5135	1,24	0,331
		Error	18	153,103	8,5057		
		Total	26	420,516			
3	TSS	Luas Lubang	2	2.686,83	1.343,41	10,66	0,001
		Debit	2	606,83	303,41	2,41	0,118
		Interaction	4	2.249,39	562,35	4,46	0,011
		Error	18	2.268,91	126,05		
		Total	26	7.811,95			

Pada parameter kekeruhan, nilai signifikansi terjadi akibat adanya variasi debit pengaliran pada reaktor. Hal ini menunjukkan adanya variasi debit akan berpengaruh pada hasil yang diperoleh untuk parameter kekeruhan. Variasi luas permukaan lubang pada *baffle* tidak menunjukkan adanya pengaruh pada parameter kekeruhan, hal ini ditunjukkan dengan nilai *P-Value* yang dihasilkan di Minitab 16 lebih dari alpha. Pada parameter TSS, adanya variasi luas permukaan lubang mengakibatkan terjadinya signifikansi terhadap hasil yang diperoleh. Hal ini dikarenakan nilai signifikansi yang diperoleh kurang dari alpha, sehingga menunjukkan adanya perubahan pada variasi ini mampu mempengaruhi hasil dari parameter TSS. Sedangkan pada parameter *head loss*, adanya kedua variasi tersebut mengakibatkan terjadinya signifikansi terhadap hasil yang diperoleh. Nilai signifikansi kurang dari nilai alpha menunjukkan setiap perubahan yang terjadi pada dua variasi, mampu mempengaruhi nilai *head loss* yang dihasilkan.

4.8 Ringkasan Kinerja Unit Pengaduk Lambat Tipe Hidraulis

Pengolahan air permukaan menjadi air minum dengan menggunakan unit pengaduk lambat tipe hidraulis, menunjukkan kinerja yang cukup baik dalam menurunkan konsentrasi kekeruhan dan TSS. Penyisihan kekeruhan pada unit ini optimum pada pengoperasian debit 2 L/menit dan luas permukaan lubang untuk sekat 1 sebesar 0,283 cm², sekat 2 sebesar 0,770 cm², dan sekat 3 sebesar 1,005 cm² dengan penyisihan sebesar 98,5%. Hal yang sama terjadi pada penyisihan TSS, di mana menghasilkan efisiensi sebesar 87,8% pada pengoperasian yang sama. Sehingga secara keseluruhan, variasi debit 2 L/menit dan luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm² merupakan variasi yang paling optimum pada pengolahan air minum dengan menggunakan unit pengaduk lambat tipe hidraulis ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Head loss* dan gradien kecepatan yang optimum dihasilkan pada pengoperasian reaktor dengan debit 2 L/menit dan luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005). Adapun *head loss* total yang dihasilkan sebesar 97 mm dengan gradien kecepatan sebagai berikut: $G_1 = 42,8/\text{detik}$; $G_2 = 13,7/\text{detik}$; $G_3 = 12,50/\text{detik}$. Efisiensi penyisihan kekeruhan dan TSS yang dihasilkan pada nilai *head loss* dan gradien kecepatan tersebut masing – masing sebesar 98,5% dan 87,8%.
2. Penurunan kekeruhan air baku yang diambil dari Sungai Jagir Surabaya dengan pengolahan unit pengaduk lambat tipe hidraulis ini menghasilkan rentang efisiensi penyisihan kekeruhan sebesar 82% hingga 99%.
3. Penurunan konsentrasi TSS air baku yang diambil dari Sungai Jagir Surabaya dengan pengolahan unit pengaduk lambat tipe hidraulis ini menghasilkan rentang efisiensi penyisihan TSS sebesar 61% hingga 88%.

Berdasarkan pernyataan di atas, variasi debit 2 L/menit dan luas permukaan lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm² merupakan variasi yang paling optimum pada pengolahan air minum dengan menggunakan unit pengaduk lambat tipe hidraulis ini karena menghasilkan efisiensi terbesar, yakni 98,5% untuk penyisihan kekeruhan dan 87,8% untuk penyisihan TSS.

5.2 Saran

Berdasarkan penjelasan yang telah disampaikan dalam penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan acuan dalam penelitian berikutnya, antara lain:

1. Memvariasikan jumlah sekat untuk mendapatkan gradien kecepatan yang lebih menurun.
2. Memvariasikan koagulan yang digunakan misalnya dengan menggunakan PAC.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Ainy, K., Siswanto, A.D., Nugraha, W.A. 2011. **Sebaran Total Suspended Solid (TSS) di Perairan Sepanjang Jembatan Suramadu Kabupaten Bangkalan**. Jurnal Kelautan, Volume 4, No. 2.
- Aktas, T.S., Fujibayashi, M., Maruo, C., Nomura, M., Nishimura, O. 2012. **Influence of Velocity Gradient and Rapid Mixing Time on Flocs Formed by Polysilica Iron (PSI) and Polyaluminum Chloride (PACI)**. Journal Desalination and Water Treatment. Departement of Civil and Environmental Engineering, Tohoku University. Japan.
- Alaerts, G. dan Santika, S.S. 1984. **Metode Penelitian Air**. Surabaya: Usaha Nasional.
- Ambat, R.E. dan Prasetyo, R.A. 2015. **Perancangan Bak Prasedimentasi**. Jurnal Potensi Vol. 17, No.1.
- APHA, AWWA, WPCF. 2005. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21st Edition**. Washington DC: APHA, AWWA, WPCF.
- Benefield, L.D., Joseph, F., Barron W.L. 1982. **Process Chemistry for Water dan Waste Treatment**. New Jersey.
- Bongiovani, M.C., Konradt-Moraes, L.C., Begamasco, R., Lourenço, B.S.S., Tavares, C.R.G. 2010. **The Benefits of Using Natural Coagulants for Obtaining Portable Water**. Maringá: Acta Scientiarum Techonology.
- Bratby, J. 2006. **Coagulants, in Coagulation dan Flocculation in Water dan Wastewater Treatment, Second Edition**. London: IWA Publishing.
- Chamdan, A. dan Purnomo, A. 2013. **Kajian Kinerja Teknis Proses dan Operasi Unit Koagulasi – Flokulasi – Sedimentasi pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Kedunguling PDAM Sidoarjo**. Jurnal Teknik Pomits Vol. 2, No. 2, ISSN: 2337 – 3539.
- Davis, M.L dan Cornwell, D.A. 1991. **Introduction to Environmental Engineering**. Singapore: McGraw-Hill Inc.

- Fair, G.M., Geyer, J.H., Okun, D.A. 1971. **Element of Water Supply dan Waste Water Disposal, Second Edition.** Tokyo: Toppan Company Limited.
- Hamer, M.J. 1977. **Water dan Waste Water Technology.** SI Version. Canada: John Willey & Sons Inc.
- Hardman, A.P.L. 2002. **Water Treatment Coagulant.** Australia: New South Wales.
- Hutama, D.W. dan Karnaningroem, N. 2013. **Peningkatan Kualitas Air Baku PDAM Sidoarjo Menggunakan Roughing Filter Upflow dengan Media Pecahan Genteng Beton.** Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVII, Surabaya 2 Februari 2013.
- Jiang, J.Q. dan Graham, N.J.D. 1998. **Pre-Polymerised Inorganic Coagulants dan Phosporus Removal by Coagulation – A Review.** Water SA 24, 237 – 244.
- Joko, T. 2010. **Unit Produksi dalam Sistem Penyediaan Air Minum.** Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kawamura, S. 1991. **Integrated Design of Water Treatment Facilities.** Canada: John Willey & Sons Inc.
- Khumyahd, L. 1991. **Iron and Manganese Removal in Water Supplies.** Report, University of Wisconsin-Madison, Wisconsin.
- Lin, J.L., Pan, J.R., Huang, C. 2013. **Enhanced Particle Destabilization and Aggregation by Flash-Mixing Coagulation for Drinking Water Treatment.** Journal Separation and Purification Technology. Institute of Environmental Engineering, National Chiao Tung University, Taiwan.
- Linsley, R.K. dan Franzini, J.B. 1985. **Teknik Sumber Daya Air.** Erlangga: Jakarta.
- Masschelein, W.J. 1992. **Unit Processes in Drinking Water Treatment.** New York: Marcel Dekker Inc.
- Mohammed, T.J. dan Shakir, E. 2018. **Effect of Settling Time, Velocity Gradient, and Camp Number on Turbidity Removal for Oilfield Produced Water.** Egyptian Journal of Petroleum 27, page 31 – 36.
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 Tentang **Persyaratan Kualitas Air Minum.**

- Prakash, N.B., Sockan, V., Jayakaran, P. 2014. **Wastewater Treatment by Coagulation and Flocculation**. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT) 3, 2.
- Puteri, A.R. 2012. **Studi Penurunan Kekeruhan Air Kali Surabaya dengan Proses Flokulasi dalam Bentuk Flokulator Pipa Circular**. Tugas Akhir Teknik Lingkungan ITS.
- Ramadhani, S., Sutanhaji, A.T., Widiatmono, B.R. 2013. **Perbandingan Efektifitas Tepung Biji Kelor (*Moringa oleifera lamk*), Poly Aluminium Chloride (PAC), dan Tawas sebagai Koagulan untuk Air Jernih**. Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem 1, 3:186-193.
- Rangwala, S.C. 2005. **Water Supply dan Sanitary Engineering Part II**. Gujarat: Charotar Publishing House.
- Reynold, T.D. dan Richards, P.A. 1982. **Unit Operation dan Processes in Environmental Engineering**. Monterey: Brooks/Cole Engineering Division.
- Sahu, O.P. dan Chaudhari, P.K. 2013. **Review of Chemical Treatment of Industrial Wastewater**. Journal of Applied Sciences and Environmental Management 17, 241-257.
- Sasmitha, D. 2017. **Pemanfaatan Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Sebagai Media pada Unit Pre-Filter**. Tugas Akhir Teknik Lingkungan ITS.
- Schulz, C.R. dan Okun, D.A. 1984. **Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries**. Canada: John Willey & Sons Inc.
- SNI 6744: 2008 Tentang **Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air**.
- Stumm, W.G. dan Morgan, J.J. 1996. **Aquatic Chemistry, Second Edition**. Singapore: John Wiley & Sons Inc.
- Susanto, R. 2008. **Optimasi Koagulasi-Flokulasi dan Analisis Kualitas Air pada Industri Semen**. Tugas Akhir Program Studi Kimia UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Sutrisno, C.T. dan Suciastuti, E. 1991. **Teknologi Penyediaan Air Bersih**. Jakarta: Rineka Cipta
- Vianna, M.R., de Castro, L.V., Ribeiro, C.D.O. 2015. **Perforated Tray-Type Hydraulic Flocculator for Portable Water Treatment: Concept and State of the Art in Brazil**.

International Journal of Emerging Technology and
Advanced Engineering 5, 3.

Yuliati, S. 2006. **Proses Koagulasi – Flokulasi Pada
Pengolahan Tersier Limbah Cair PT. Capsugel
Indonesia.** Tugas Akhir Teknologi Industri Pertanian IPB.

LAMPIRAN A

A. Perhitungan Gradien Kecepatan dan Bilangan *Camp* (G.td)

1. Perhitungan Gradien Kecepatan

Berikut ini merupakan contoh perhitungan gradien kecepatan untuk debit 3 L/menit pada variasi luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 -1,005) cm².

Dari hasil penelitian pada variasi di atas, telah didapatkan data berikut ini:

- Debit = 3 L/menit = 5×10^{-5} m³/detik
- *Head loss baffle* 1 = 170 mm = 0,17 m
- *Head loss baffle* 2 = 125 mm = 0,125 m
- *Head loss baffle* 3 = 12 mm = 0,012 m
- Tinggi air kompartemen 2 = 0,49 m
- Tinggi air kompartemen 3 = 0,365 m
- Tinggi air kompartemen 4 = 0,353 m
- Luas alas kompartemen 2 = 0,0405 m²
- Luas alas kompartemen 3 = 0,0504 m²
- Luas alas kompartemen 4 = 0,0432 m²
- Asumsi: viskositas kinematis = 10^{-6} m²/s
- Gaya gravitasi = 9,8 m/s²

Langkah penyelesaian untuk mendapatkan gradien kecepatan adalah sebagai berikut:

I. Menghitung volume tiap kompartemen

- Volume kompartemen 2 = Luas alas x Hair
= (0,0405 x 0,49) m³
= 0,019845 m³
- Volume kompartemen 3 = Luas alas x Hair
= (0,0504 x 0,365) m³
= 0,018396 m³
- Volume kompartemen 4 = Luas alas x Hair
= (0,0432 x 0,353) m³
= 0,01525 m³

II. Menghitung gradien kecepatan tiap kompartemen
 Gradien kecepatan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Gradien Kecepatan} = \sqrt{\frac{g H Q}{v C}}$$

Di mana:

g = gravitasi (9,8 m/detik²)

H = *head loss* (m)

Q = debit aliran (m³/detik)

v = viskositas kinematis (10⁻⁶ m²/detik)

C = volume kompartemen (m³)

$$\begin{aligned} \text{- Gradien kecepatan 1} &= \sqrt{\frac{g H Q}{v C}} \\ &= \sqrt{\frac{9,8 \times 0,17 \times 0,00005}{0,000001 \times 0,019845}} \\ &= 64,79/\text{detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Gradien kecepatan 2} &= \sqrt{\frac{g H Q}{v C}} \\ &= \sqrt{\frac{9,8 \times 0,125 \times 0,00005}{0,000001 \times 0,018396}} \\ &= 57,70/\text{detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Gradien kecepatan 3} &= \sqrt{\frac{g H Q}{v C}} \\ &= \sqrt{\frac{9,8 \times 0,012 \times 0,00005}{0,000001 \times 0,01525}} \\ &= 19,64/\text{detik} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan gradien kecepatan untuk tiap variasi selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Gradien Kecepatan untuk Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,005) cm²

Debit (L/menit)	H4 (cm)	Head Loss (mm)			Hair (m)			Volume (m ³)			Gradien Kecepatan (/detik)		
		hL3	hL2	hL1	H3	H2	H1	C3	C2	C1	G3	G2	G1
3	35,3	12	125	170	0,365	0,49	0,66	0,01525	0,018396	0,019845	19,64	57,70	64,79
2	34	5	55	80	0,345	0,4	0,48	0,014688	0,017388	0,0162	10,65	32,46	40,56
1	30,4	3	12	20	0,307	0,319	0,339	0,013133	0,015473	0,01292	6,17	11,37	16,06

Tabel 2. Hasil Perhitungan Gradien Kecepatan untuk Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,770 – 1,005) cm²

Debit (L/menit)	H4 (cm)	Head Loss (mm)			Hair (m)			Volume (m ³)			Gradien Kecepatan (/detik)		
		hL3	hL2	hL1	H3	H2	H1	C3	C2	C1	G3	G2	G1
3	35	12	28	170	0,362	0,39	0,56	0,01512	0,018245	0,015795	19,72	27,42	72,62
2	34,3	7	10	80	0,35	0,36	0,44	0,014818	0,01764	0,01458	12,55	13,74	42,76
1	34,1	3	6	20	0,344	0,35	0,37	0,014731	0,017338	0,014175	5,82	7,59	15,33

Tabel 3. Hasil Perhitungan Gradien Kecepatan untuk Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,580) cm²

Debit (L/menit)	H4 (cm)	Head Loss (mm)			Hair (m)			Volume (m ³)			Gradien Kecepatan (/detik)		
		hL3	hL2	hL1	H3	H2	H1	hL3	hL2	hL1	H3	G2	G1
3	32,5	10	115	170	0,335	0,45	0,62	0,01404	0,016884	0,018225	18,68	57,77	67,61
2	32,3	5	65	87	0,328	0,393	0,48	0,013954	0,016531	0,015917	10,93	36,20	42,68
1	33,3	2	20	30	0,335	0,355	0,385	0,014386	0,016884	0,014378	4,81	14,05	18,64

Keterangan:

- hL 1 = Headloss sekat 1
- hL 2 = Headloss sekat 2
- hL 3 = Headloss sekat 3
- C2 = Volume kompartemen 2
- C3 = Volume kompartemen 3
- C4 = Volume kompartemen 4
- G1 = Gradien kecepatan sekat 1
- G2 = Gradien kecepatan sekat 2
- G3 = Gradien kecepatan sekat 3
- H1 = Tinggi air kompartemen 1
- H2 = Tinggi air kompartemen 2
- H3 = Tinggi air kompartemen 3
- H4 = Tinggi air kompartemen 4

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

2. Perhitungan Bilangan Camp (G.td)

Berikut ini merupakan contoh perhitungan bilangan *camp* (G.td) untuk debit 3 L/menit pada variasi luas permukaan lubang (0,283 – 0,385 -1,005) cm².

Dari hasil penelitian pada variasi di atas, telah didapatkan data berikut ini:

- Debit	= 3 L/menit	= 5×10^{-5} m ³ /detik
- Luas alas kompartemen 2		= 0,0405 m ²
- Luas alas kompartemen 3		= 0,0504 m ²
- Luas alas kompartemen 4		= 0,0432 m ²
- Tinggi air kompartemen 2		= 0,49 m
- Tinggi air kompartemen 3		= 0,365 m
- Tinggi air kompartemen 4		= 0,353 m
- Gradien kecepatan 1		= 64,79 /detik
- Gradien kecepatan 2		= 57,70 /detik
- Gradien kecepatan 3		= 19,64 /detik

Langkah penyelesaian untuk mendapatkan gradien kecepatan adalah sebagai berikut:

I. Menghitung volume tiap kompartemen

- Volume kompartemen 2	= Luas alas x Hair	= (0,0405 x 0,49) m ³	= 0,019845 m ³
- Volume kompartemen 3	= Luas alas x Hair	= (0,0504 x 0,365) m ³	= 0,018396 m ³
- Volume kompartemen 4	= Luas alas x Hair	= (0,0432 x 0,353) m ³	= 0,01525 m ³

II. Menghitung G.td tiap kompartemen

G.td dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$G.td = G \times V/Q$$

Di mana:

G = gradien kecepatan (/detik)

V = volume (m³)

Q = debit aliran (m³/detik)

- $G.td\ 1 = 64,8/\text{detik} \times 0,019845\ \text{m}^3 / (5 \times 10^{-5}\ \text{m}^3/\text{detik})$
= 25.714
- $G.td\ 2 = 57,7/\text{detik} \times 0,018396\ \text{m}^3 / (5 \times 10^{-5}\ \text{m}^3/\text{detik})$
= 21.230
- $G.td\ 3 = 19,6/\text{detik} \times 0,01525\ \text{m}^3 / (5 \times 10^{-5}\ \text{m}^3/\text{detik})$
= 5.989

Hasil perhitungan G.td untuk tiap variasi selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

Tabel 4. Hasil Perhitungan G.td untuk Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385 – 1,005) cm²

Debit (L/menit)	Volume (m ³)			Gradien Kecepatan (/detik)			G.td		
	C3	C2	C1	G3	G2	G1	G.td 3	G.td 2	G.td 1
3	0,01525	0,018396	0,019845	19,64	57,70	64,79	5.989	21.230	25.714
2	0,014688	0,017388	0,0162	10,65	32,46	40,56	4.601	16.603	19.328
1	0,013133	0,015473	0,01292	6,17	11,37	16,06	4.766	10.346	12.205

Tabel 5. Hasil Perhitungan G.td untuk Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,770– 1,005) cm²

Debit (L/menit)	Volume (m ³)			Gradien Kecepatan (/detik)			G.td		
	C3	C2	C1	G3	G2	G1	G.td 3	G.td 2	G.td 1
3	0,01512	0,018245	0,015795	19,72	27,42	72,62	5.963	10.006	22.941
2	0,014818	0,01764	0,01458	12,55	13,74	42,76	5.468	7.131	18.336
1	0,014731	0,017338	0,014175	5,82	7,59	15,33	5.047	7.744	12.784

Tabel 6. Hasil Perhitungan G.td untuk Variasi Luas Permukaan Lubang (0,283 – 0,385– 1,580) cm²

Debit (L/menit)	Volume (m ³)			Gradien Kecepatan (/detik)			G.td		
	C3	C2	C1	G3	G2	G1	G.td 3	G.td 2	G.td 1
3	0,01404	0,016884	0,018225	18,68	57,77	67,61	5.246	19.508	24.643
2	0,013954	0,016531	0,015917	10,93	36,20	42,68	4.484	17.599	19.978
1	0,014386	0,016884	0,014378	4,81	14,05	18,64	4.073	13.952	15.769

Keterangan:

- C2 = Volume kompartemen 2
- C3 = Volume kompartemen 3
- C4 = Volume kompartemen 4
- G1 = Gradien kecepatan sekat 1
- G2 = Gradien kecepatan sekat 2
- G3 = Gradien kecepatan sekat 3
- G.td 1 = G.td sekat 1
- G.td 2 = G.td sekat 2
- G.td 3 = G.td sekat 3

LAMPIRAN B

B. Analisis Koagulasi – Flokulasi dengan *Metode Jar-Test*

- **Bahan dan alat**

1. Reagen berupa tawas 1% atau 10 g/L
2. Alat jar-test dengan 6 beker glass volume 1 liter
3. Bekor glass 50 mL atau 100 mL 6 buah
4. Pipet 5 mL; 10 mL; 25 mL
5. pH meter
6. Spektrofotometer
7. Turbidimeter

- **Prosedur percobaan**

1. Siapkan 10 liter sampel air
2. Aduk terlebih dahulu, kemudian analisis pH, kekeruhan, TSS, dan warna dari sampel air
3. Takar dan masukkan sebanyak 1 liter kedalam masing-masing bekor glass 1 bekor berfungsi sebagai kontrol
4. Bubuhkan larutan tawas dengan dosis:
 - a) Untuk sampel air dengan kekeruhan rendah <50 NTU: 5 mg/L, 10 mg/L; 20 mg/L, 30 mg/L; 40 mg/L; dan 50 mg/L
 - b) Untuk sampel air dengan kekeruhan sedang 50 NTU-300 NTU: 10 mg/L, 20 mg/L; 30 mg/L; 40 mg/L; 60 mg/L; dan 80 mg/L
5. Aduk dengan kecepatan 100 rpm selama 1 menit
6. Aduk dengan kecepatan 40-60 rpm selama 15 menit
7. Sedimentasi atau endapkan selama 15 menit
8. Ambil 100 mL yang jernih dari masing-masing bekor
9. Analisis pH, kekeruhan, dan warna dari masing-masing sampel.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C

C. Analisa Zat Padat Tersuspensi dan Kekeruhan

1. Analisa Zat Padat Tersuspensi

- **Alat dan Bahan**

1. Furnace dengan suhu 550°C.
2. Oven dengan suhu 105°C.
3. Cawan porselin 50 mL.
4. Timbangan analitis.
5. Desikator.
6. Kertas saring *Whatman* No. 42.
7. *Vacum pump*.

- **Prosedur Percobaan**

1. Cawan porselin dibakar dengan suhu 550°C selama 1 jam, setelah itu masukkan ke dalam oven 105°C selama 15 menit.
2. Masukkan kertas saring ke oven 105°C selama 1 jam.
3. Cawan dan kertas saring di atas dinginkan dalam desikator selama 15 menit.
4. Timbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e mg).
5. Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada *vacum filter*.
6. Tuangkan 25 mL sampel di atas filter yang telah dipasang pada *vacum filter*, volume sampel yang digunakan ini tergantung dari kepekatannya, catat volume sampel (g mL).
7. Saring sampel sampai kering atau airnya habis.
8. Letakkan kertas saring pada cawan petridis dan masukkan ke oven 105°C selama 1 jam.
9. Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit.
10. Timbang dengan timbangan analitis (f mg).
11. Hitung jumlah zat padat tersuspensi dengan rumus berikut:

$$\text{Zat padat tersuspensi (mg/L)} = \frac{(f-e)}{g} \times 1000 \times 1000$$

Di mana:

- e = berat cawan kosong setelah difurnace 550°C dan dioven 105°C (mg)
- f = berat cawan dan residu setelah dioven 105°C selama 1 jam (mg)
- g = volume sampel (mL)

2. Analisa Kekeruhan

- **Alat dan Bahan**

1. Turbidimeter
2. Sampel Air

- **Prosedur Percobaan**

1. Nyalakan *power*, kemudian masukkan blanko dan set alat tersebut pada set *zero* (0).
2. Masukkan sampel air ke dalam tabung dan masukkan tabung ke dalam alat turbidimeter.
3. Catat angka yang dihasilkan.

LAMPIRAN D

D. FOTO DAN SPESIFIKASI ALAT YANG DIGUNAKAN

Tabel 1. Foto dan spesifikasi alat yang digunakan

No	Nama dan Spesifikasi Alat	Foto
1	<ul style="list-style-type: none">• Nama alat: <i>Magnetic stirrer</i>• Spesifikasi:<ul style="list-style-type: none">- Merek : Gibby- Kecepatan putaran : 0 - 9000 RPM- <i>Square Surface Platform</i>	
2	<ul style="list-style-type: none">• Nama alat: Timbangan digital• Spesifikasi:<ul style="list-style-type: none">- Merek : Quattro- Kapasitas : 30 kg- Ukuran : 218 mm x 236 mm	
3	<ul style="list-style-type: none">• Nama alat: Timbangan analitik• Spesifikasi:<ul style="list-style-type: none">- Merek : OHAUS- Model : PA224- Tipe : Pioneer Plus- Kapasitas : 220 g- Pembacaan : 0,1 mg- Ukuran diameter platform: 9 cm	

4	<ul style="list-style-type: none"> • Nama alat: <i>Flowmeter</i> • Spesifikasi: <ul style="list-style-type: none"> - Merek : Sanlixin - Tipe : Panel - Kapasitas : 2 GPM / 7 LPM - Ukuran diameter: ½" - Tinggi : 17 cm 	
5	<ul style="list-style-type: none"> • Nama alat: <i>Submersible pump</i> • Spesifikasi: <ul style="list-style-type: none"> - Merek : Airlux - Model : SP-2400 - Daya : 60 W - Voltase : 220 V - Frekuensi : 50 Hz - Total Head : 2,6 m - Maksimum Debit : 2400 L/jam 	
6	<ul style="list-style-type: none"> • Nama alat: Turbidimeter • Spesifikasi: <ul style="list-style-type: none"> - Merek : Hanna Instruments - Tipe : H118703 - Dimensi : 230 x 200 x 145 mm - Sumber cahaya : lampu berfilamen tungsten - Tingkat akurasi ± 5% - Pembacaan turbiditas : <0,1; 15; 100; 750; dan 2000 	

7	<ul style="list-style-type: none"> • Nama alat: <i>Jartest flocculator</i> • Spesifikasi: <ul style="list-style-type: none"> - Merek : Omega - Tipe : OJT-6D - Dimensi : 96 x 25 x 65 mm - Suplai daya : 220 V, 140 W - Kecepatan putaran: 0 – 3000 RPM - Terdapat 6 <i>spindle</i> 	
8	<ul style="list-style-type: none"> • Nama alat: <i>Vacuum pump</i> • Spesifikasi: <ul style="list-style-type: none"> - Merek : Gast - Tipe : DOA – P504 - BN - Daya : 0,09 kW - Motor : 1/8 HP - Kecepatan : 1275 RPM - Tekanan : Maksimal 60 psi; 25,5 inHg - Debit : 1,1 CFM - Frekuensi : 60 Hz 	
9	<ul style="list-style-type: none"> • Nama alat: Tungku pembakar • Spesifikasi: <ul style="list-style-type: none"> - Merek : Thermolyne - Tipe : F – A1738 - Kapasitas suhu : 1200°C - Daya : 5800 W 	

<p>10</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nama alat: Oven • Spesifikasi: <ul style="list-style-type: none"> - Merek : Binder - Tipe : ED056 - Kapasitas volume : 57 L - Dimensi : 560 x 625 x 565 mm - Rentang suhu : Suhu ambien + 5°C – 300°C 	
<p>11</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nama alat: Beaker gelas • Spesifikasi: <ul style="list-style-type: none"> - Merek : Iwaki - Kapasitas : 1.000 mL 	
<p>12</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nama alat: Gelas ukur • Spesifikasi: <ul style="list-style-type: none"> - Merek : Herma - Kapasitas : 100 mL 	

LAMPIRAN E
E. DATA HASIL PENGUKURAN KEKERUHAN DAN TSS

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Kekerusuhan Tiap Variasi

Luas Permukaan Lubang (cm ²)	Waktu (menit)	Debit 1 L/menit			Debit 2 L/menit			Debit 3 L/menit		
		Kualitas Inlet (NTU)	Kualitas Outlet (NTU)	Efisiensi (%)	Kualitas Inlet (NTU)	Kualitas Outlet (NTU)	Efisiensi (%)	Kualitas Inlet (NTU)	Kualitas Outlet (NTU)	Efisiensi (%)
(0,283 – 0,770 – 1,005)	30	100	9,3	90,7%	226	4,1	98,2%	226	4,2	98,2%
	45		8,9	91,0%		2,7	98,8%		3,4	98,5%
	60		9,1	90,8%		3,3	98,5%		3,6	98,4%
(0,283 – 0,385 – 1,508)	30	143	12,8	91,1%	143	3,8	97,4%	175	12,5	92,9%
	45		5,4	96,3%		3,0	97,9%		3,9	97,8%
	60		5,9	95,9%		2,5	98,3%		3,2	98,2%
(0,283 – 0,385 – 1,005)	30	72	19,4	73,1%	118	7,8	93,4%	118	4,6	96,1%
	45		11,1	84,6%		4,3	96,4%		4,9	95,9%
	60		9,5	86,9%		6,0	94,9%		4,2	96,4%

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran TSS Tiap Variasi

Luas Permukaan Lubang (cm ²)	Waktu (menit)	Debit 1 L/menit			Debit 2 L/menit			Debit 3 L/menit		
		TSS Inlet (mg/L)	TSS Outlet (mg/L)	Efisiensi (%)	TSS Inlet (mg/L)	TSS Outlet (mg/L)	Efisiensi (%)	TSS Inlet (mg/L)	TSS Outlet (mg/L)	Efisiensi (%)
(0,283 – 0,770 – 1,005)	30	136	38,0	72,1%	272	24,0	91,2%	272	40	85,3%
	45		40,0	70,6%		38,0	86,0%		28	89,7%
	60		38,0	72,1%		38,0	86,0%		36	86,8%
(0,283 – 0,385 – 1,508)	30	128	12,8	91,1%	128	30,0	76,6%	136	24	82,4%
	45		5,36	96,3%		10,0	92,2%		48	64,7%
	60		5,9	95,9%		24,4	80,9%		28	79,4%
(0,283 – 0,385 – 1,005)	30	100	32,0	68,0%	184	76,0	58,7%	184	50	72,8%
	45		60,0	40,0%		68,0	63,0%		28	84,8%
	60		12,0	88,0%		72,0	60,9%		42	77,2%

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN F F. DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar 1. Perbandingan Sampel Air Inlet dan Outlet



Gambar 2. Penyaringan *Total Suspended Solid* dengan *Vacuum Pump*



Gambar 3. Penimbangan Berat Awal Kertas Saring dan Cawan Porselen dengan Neraca Analitik



Gambar 4. Pengambilan Sampel Air

BIOGRAFI PENULIS



Penulis berasal dari Batam, Kepulauan Riau, namun dilahirkan di Surabaya, Jawa Timur. Penulis menghabiskan masa pendidikan wajinya di Batam dengan mengenyam pendidikan di SDN 005 Batam (2002 – 2008), SMPN 3 Batam (2008 – 2011), dan SMAN 1 Batam (2011 – 2014). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknis Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan (FTSLK) ITS.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berorganisasi, seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) dan Kerukunan Pelajar Mahasiswa Kepulauan Riau (KPMKR). Selain itu, penulis juga aktif mengikuti beberapa kepanitiaan nasional, regional, dan lingkup kampus di ITS dan di Surabaya. Di bidang Teknik Lingkungan, penulis aktif menjadi asisten laboratorium untuk mata kuliah Kimia Lingkungan 1, Kimia Lingkungan 2, Mikrobiologi, dan Teknis Analisis Pencemaran Lingkungan (TAPL). Penulis juga berkesempatan untuk kerja praktek di PT. Aneka Coffee Industry pada divisi Produksi dan mengevaluasi unit pengolahan air limbah. Penulis dapat dihubungi melalui email hendro0505@gmail.com