



TUGAS AKHIR - RE 184 804

**PENGOLAHAN LINDI SAMPAH SAYURAN RUMAH
KOMPOS KEPUTRAN DENGAN METODE KOAGULASI DUA
TAHAP $FeCl_3$ -PAC DAN OZONISASI**

DEWI PERWITASARI
0321154000066

DOSEN PEMBIMBING:
WELLY HERUMURTI, S.T., M.Sc.

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RE 184 804

**PENGOLAHAN LINDI SAMPAH SAYURAN RUMAH
KOMPOS KEPUTRAN DENGAN METODE KOAGULASI
DUA TAHAP $FeCl_3$ -PAC DAN OZONISASI**

DEWI PERWITASARI
0321154000066

DOSEN PEMBIMBING
WELLY HERUMURTI, S.T., M.Sc.

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - number

**LEACHATE TREATMENT OF VEGETABLE WASTE FROM
COMPOST HOUSE KEPUTRAN USING TWO STEP
COAGULATION $FeCl_3$ -PAC AND OZONATION
PROCESSES**

DEWI PERWITASARI
0321154000046

ADVISOR
AGUNG BUDI, ST., MT., Ph.D

Department of Environmental Engineering
Faculty of Civil Environmental and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGOLAHAN LINDI SAMPAH SAYURAN RUMAH KOMPOS
KEPUTRAN DENGAN METODE KOAGULASI DUA TAHAP
FeCl₃-PAC DAN OZONISASI**

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:

DEWI PERWITASARI
NRP. 0321154000066

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Welly Herumurti, S.T., M.Sc.
NIP. 19811223 200604 1 001

**SURABAYA
JULI, 2019**



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PENGOLAHAN LINDI SAMPAH SAYURAN RUMAH KOMPOS KEPUTRAN DENGAN METODE KOAGULASI DUA TAHAP FeCl₃-PAC DAN OZONISASI

Nama Mahasiswa : Dewi Perwitasari
NRP : 03211540000066
Departemen : Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan
Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosn Pembimbing : Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Rumah kompos Keputran mampu menimbun sampah hingga 22,14 m³ setiap harinya. Debit lindi sampah sayur dan buah-buahan yang berasal dari pasar Keputran tersebut mencapai 3,85 m³/hari. Dengan konsentrasi beban pencemar mencapai 2.645 mg/L; 18.800 mg/L; 2.990 mg/L; 657,69 mg/L; dan 48,044 mg/L berturut-turut untuk TSS, COD, BOD₅, NH₃-N dan PO₄-P. Lindi yang memiliki konsentrasi pencemar tinggi tersebut tidak memiliki bak pengumpulan dan pengolahan sehingga dapat menurunkan kualitas tanah, air permukaan dan air tanah yang berpengaruh pada kesehatan manusia dan biota air.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan persen penyisihan yang dapat diperoleh melalui proses koagulasi dua tahap disertai ozonisasi sebagai metode pengolahan lindi yang diproduksi di Rumah Kompos Keputran. Koagulasi flokulasi dilanjutkan dengan oksidasi memberikan efisiensi yang tinggi, hemat biaya dan tidak membutuhkan lahan yang luas. Proses ini mencakup penambahan kapur untuk peningkatan pH, koagulasi, flokulasi dan oksidasi dengan ozon.

Dosis optimum penambahan FeCl₃ adalah 0,1 g/L dengan persentase penyisihan COD, PV dan kekeruhan berturut-turut mencapai 64,2%; 27% dan 59,4%. Sedangkan untuk persentase penyisihan maksimum yaitu 85,9% untuk parameter kekeruhan dan 61% untuk parameter PV dengan dosis 1,5 g/L. Dosis optimum penambahan PAC adalah 0,75 g/L dengan persentase penyisihan 35,5%; 3%; dan 13,9% berturut-turut untuk COD, PV dan kekeruhan.

Debit ozon yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3 g/jam dengan waktu optimum penambahan ozon adalah selama 24 jam dengan penurunan konsentrasi COD sebesar 29,5% dan pada waktu injeksi tersebut mengalami peningkatan konsentrasi PV dan kekeruhan mencapai 23,65% dan 64,6%.

Kata Kunci: koagulasi dua tahap, FeCl₃, PAC, ozonisasi.

LEACHATE TREATMENT OF VEGETABLE WASTE FROM COMPOST HOUSE KEPUTRAN USING TWO STEP COAGULATION FeCl_3 -PAC AND OZONATION

Student Name : Dewi Perwitasari
Number of Sign : 03211540000066
Departement : Teknik Lingkungan
Faculty of Civil, Environmental, dan
Geophysics Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Supervisor : Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Compost house is solid waste temporary dumping area mostly organic solid waste are collected. Around 22,14 m³ solid waste from Keputran Traditional Market dan area near its location disposed in Keputran Compost House every day. Leachate flow rate produced from its waste is 3,85 m³/day. The characteristics of the leachate is categorized as young leachate which concentration is 2.645 mg/L; 18.800 mg/L; 2.990 mg/L; 657,69 mg/L; dan 48,044 mg/L successively for TSS, COD, BOD₅, NH₃-N dan PO₄-P. There are no leachate collection or treatment tank, so it can contaminate soil, surface water dan groundwater quality easily.

The objective of this study is to determine removal percentage achieve from two step coagulation dan ozonation as leachate treatment method in Keputran Compost House. Ozonation as post treatment of coagulation flocculation give high efficiency, low cost, dan area saving. This experiment includes lime addition to increasing pH level, coagulation, flocculation dan oxidation using ozone.

Optimum dose for coagulant FeCl_3 is 0,1 g/L giving percent removal up to 64,2%; 27%; dan 59,4% successively for COD, PV dan turbidity. Maximum percentage for turbidity removal is up to 85,9% dan 61% for PV in addition of 1,5 g/L FeCl_3 . Optimum dose for coagulant PAC is 0,75 g/L giving percent removal up to 35,5%; 3%; dan 13,9% successively for COD, PV dan turbidity. Maximum percentage for turbidity removal is up to 85,9% dan 61% for PV in addition of 1,5 g/L FeCl_3 .

Ozon flow rate used in this experiment is 3 g/hour dan the optimum time for ozone injection is 24 hours to get 29,5% as the removal of COD concentration. But, this optimum time reaction for COD concentration affect the turbidity dan PV removal. The increasing of both parameters is reaching 23,65% dan 64,6% respectively.

Keywords: two step coagulation, FeCl₃, PAC, ozonation.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas rahmat, hidayah dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Pengolahan Lindi Sampah Sayuran Rumah Kompos Keputran dengan Metode Koagulasi Dua Tahap FeCl_3 -PAC dan Ozonisasi**”.

Terima kasih penulis ucapkan yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mengarahkan penulis, hingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan, antara lain kepada:

1. Bapak Welly Herumurti, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan.
2. Ibu Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, M.T., Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Harmin Sulistyaning Titah, S.T., M.T., PhD. selaku dosen pengarah tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya.
3. Bapak pengelola dan semua petugas di Rumah Kompos Keputran serta Bapak dan Ibu Laboran Departemen Teknik Lingkungan ITS yang telah memberikan izin serta membantu proses penelitian.
4. Teman-teman Angkatan 2015 (Envinity) serta teman-teman laboratorium Teknologi Pemulihan Air yang telah berjuang bersama-sama.
5. Teman-teman asistensi Iqoh, Salsa, Fathyah dan Misel yang selalu memberikan semangat dan dukungannya dalam melakukan penelitian dan penyusunan laporan.
6. Teman-teman penulis Icha, Tata, Arifah, Ajeng, Irma, Nala, Rahma, Anes, Niki, Ino, yang telah banyak memberi motivasi dan dukungan selama penelitian dan penulisan.

Terutama kepada kedua orang tua yang telah memberikan doa serta dukungan yang sebesar-besarnya kepada penulis.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Lindi (Leachate)	5
2.2. Karakteristik Lindi	5
2.3. Pengolahan Lindi	7
2.4. Koagulasi Flokulasi	8
2.5. Pengadukan	9
2.6. Jar Test	10
2.7. Kapur	10
2.8. Koagulan	11
2.9. Polimer	14
2.10. Koagulasi Dua Tahap	14
2.11. Oksidasi	16
BAB 3 METODE PENELITIAN	25
3.1. Kerangka Perencanaan	25
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	28
3.2.1 Alat Penelitian	28
3.2.2 Bahan Penelitian	30
3.3. Variabel dan Parameter Penelitian	31
3.4. Pengambilan Sampel dan Perlakuan Sebelum Pengujian	31
3.5. Analisis Karakteristik Awal	32
3.6. Penelitian Pendahuluan	32
3.7. Penelitian Utama	33
3.7.1 Penelitian Koagulasi Satu Tahap	33
3.7.2 Penelitian Koagulasi Dua Tahap	34

3.7.3	Penelitian Oksidasi	35
3.8.	Metode Analisis Sampel dan Data.....	36
3.9.	Analisis dan Pembahasan	37
3.10.	Perumusan Kesimpulan.....	38
BAB 4	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	39
4.1.	Analisis Karakteristik Awal Lindi	39
4.2.	Penelitian Pendahuluan	40
4.2.1	Penambahan Kapur.....	40
4.2.2	Penelitian Koagulasi Satu Tahap (FeCl_3)	43
4.2.3	Koagulasi Satu Tahap Polimer PAC.....	52
4.2.4	Penelitian Koagulasi Dua Tahap (PAC)	55
4.2.5	Ozonisasi	61
4.3.	Kesetimbangan Massa (Mass Balance)	66
4.4.	Produksi Lumpur	66
4.5.	Analisis Statistik	69
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1.	Kesimpulan	71
5.2.	Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN A	CARA ANALISIS.....	81
LAMPIRAN B	HASIL PERHITUNGAN	87
LAMPIRAN C	DOKUMENTASI PENELITIAN	91
BIOGRAFI PENULIS	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Data Komposisi dari Lindi <i>Landfill</i> Baru dan <i>Landfill</i> Lama	7
Tabel 2.2 Baku Mutu Beban	8
Tabel 2.3 Penelitian terdahulu pengadukan dengan <i>Jar Test</i>	10
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu Fe sebagai Koagulan	20
Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu PAC sebagai Polimer	21
Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu Koagulasi Dua Tahap.....	22
Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu Oksidasi dengan Ozon (O ₃)	23
Tabel 3.1 Metode Analisis Parameter	37
Tabel 4.1 Karakteristik Awal Lindi Rumah.....	39
Tabel 4.2 Hubungan Suhu dengan Waktu Tinggal Ozon.....	66
Tabel 4.3 Nilai Signifikansi Proses dengan Parameter	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tampak depan Rumah Kompos Keputran	6
Gambar 2.2 Timbunan sampah sayur tercacah Rumah Kompos Keputran.....	6
Gambar 2.3 Klasifikasi koagulan pada pengolahan lindi	12
Gambar 2.4 Kelarutan Fe dalam bentuk larutan terhadap pH	13
Gambar 2.5 Diagram Koagulasi Dua Tahap	16
Gambar 3.1 Skema Penelitian	27
Gambar 3.2 <i>Beaker</i>	28
Gambar 3.3 Rangkaian Alat Ozonizer.....	29
Gambar 3.4 a) Mesin Pencacah Rumah Kompos Keputran	32
Gambar 3.5 Skema Penelitian Koagulasi Satu Tahap	34
Gambar 3.6 Penentuan Dosis Optimum FeCl_3	34
Gambar 3.7 Skema Penelitian Koagulasi Dua Tahap.....	35
Gambar 3.8 Penentuan Dosis Optimum PAC	35
Gambar 3.9 Skema Penelitian Oksidasi.....	36
Gambar 3.10 Penentuan Dosis Optimum Ozon.....	36
Gambar 4.1 Hubungan Penambahan Kapur dengan pH	41
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Penambahan Kapur dengan Kekeruhan	41
Gambar 4.3 Waktu Pengendapan.....	42
Gambar 4.4 Hubungan Dosis FeCl_3 dengan COD	45
Gambar 4.5 Hubungan Dosis FeCl_3 dengan PV	46
Gambar 4.6 Hubungan Dosis FeCl_3 dengan pH	46
Gambar 4.7 Hubungan Dosis FeCl_3 dengan Kekeruhan	48
Gambar 4.8 Hubungan dosis FeCl_3 dengan TSS	49
Gambar 4.9 Hubungan Dosis FeCl_3 dengan Produksi Lumpur ..	50
Gambar 4.10 Hubungan Dosis FeCl_3 dengan COD, PV dan Kekeruhan	50
Gambar 4.11 Hubungan Dosis PAC dengan PV	52
Gambar 4.12 Hubungan Dosis PAC dengan Konsentrasi COD	53
Gambar 4.13 Hubungan Dosis PAC dengan pH.....	53
Gambar 4.14 Hubungan Dosis PAC dengan Kekeruhan.....	54
Gambar 4.15 Hubungan Dosis PAC dengan COD, Kekeruhan dan PV	55
Gambar 4.16 Hubungan Dosis PAC Koagulasi Dua Tahap dengan Kekeruhan	57

Gambar 4.17 Hubungan Dosis PAC Koagulasi Dua Tahap dengan PV.....	57
Gambar 4.18 Hubungan dosis PAC Koagulasi Dua Tahap dengan COD	58
Gambar 4.19. Hubungan PAC Koagulasi Dua Tahap dengan pH.....	59
Gambar 4.20 Hubungan Dosis PAC Koagulasi Dua Tahap dengan Warna.....	60
Gambar 4.21 Hubungan Dosis PAC Koagulasi Dua Tahap dengan Produksi Lumpur.....	60
Gambar 4.22 Hubungan Dosis PAC dengan COD, PV, dan Kekeruhan	61
Gambar 4.23 Hubungan Waktu Ozonisasi dengan pH	63
Gambar 4.24 Hubungan Waktu Ozonisasi dengan Kekeruhan ..	63
Gambar 4.25 Hubungan Waktu Ozonisasi dengan PV	64
Gambar 4.26 Hubungan Waktu Ozonisasi dengan COD.....	65
Gambar 4.27 Diagram Alir	67
Gambar 4.28 Mass Balance	68

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertambahan jumlah timbunan sampah di Indonesia saat ini masih menjadi permasalahan yang belum dapat terselesaikan dengan baik. Timbunan sampah menghasilkan lindi dan juga biogas dari proses dekomposisi sampah (Romadhoni dan Wesen, 2015 ; Ali, 2011). Lindi dari proses pengomposan memiliki konsentrasi bahan organik yang mudah didegradasi dan nutrisi yang tinggi serta mengandung polutan beracun seperti logam berat dan plastik. Lindi pengomposan mengandung berbagai zat berbahaya yang dapat membahayakan lingkungan sehingga perlu diolah dengan baik sebelum dibuang (Roy *et al.*, 2018).

Rumah Kompos Keputran merupakan lokasi penimbunan sampah yang mengelola sampah pasar sebanyak 22,14 m³/hari. Mayoritas berupa sampah sayuran dan buah-buahan yang bersumber dari pasar keputran. Sampah tersebut melalui proses pencacahan dan pengompresan yang mengakibatkan jumlah lindi semakin besar. Lindi yang memiliki bak penampungan maupun pengolahan sehingga langsung mengalir menuju saluran drainase yang letaknya di tepi jalan dan badan air yang berada di belakang rumah kompos. Dari timbunan sampah yang masuk ke rumah kompos tersebut, lindi yang dihasilkan adalah sebesar 3,85 m³/hari (DKRTH dan ITS, 2018).

Lindi merupakan cairan yang memiliki konsentrasi pencemar organik, anorganik, dan logam berat seperti BOD₅, COD dan TSS cukup tinggi. Apabila lindi dibiarkan mengalir begitu saja menuju alam tanpa melalui pengolahan, dapat mengakibatkan penurunan kualitas tanah serta air di sekitar terbentuknya lindi, baik air tanah maupun air permukaan (Bhalla *et al.*, 2012). Konsentrasi beban pencemar TSS, COD, BOD₅, NH₃-N dan PO₄-P berturut turut adalah sebesar 2.645 mg/L; 18.800 mg/L; 2.990 mg/L; 657,69 mg/L; dan 48,044 mg/L (DKRTH and ITS, 2018).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan efektivitas penurunan konsentrasi pencemar lindi yang dihasilkan di rumah kompos dengan metode yang dapat direkomendasikan kepada pengelola rumah kompos terkait. Pengolahan lindi yang digunakan mempertimbangkan karakteristik fisik dan kimia lindi yang diolah serta kemudahan pengoperasian dan pemeliharaan. Pengolahan yang digunakan adalah menggunakan metode koagulasi flokulasi dengan sistem bertahap yang kemudian dilanjutkan dengan oksidasi. Koagulasi dilakukan secara dua tahap yaitu untuk tahap pertama adalah penambahan koagulan FeCl_3 dan untuk tahap kedua adalah penambahan polimer PAC. Selanjutnya, dilakukan penambahan ozon untuk proses oksidasi.

Kondisi pH yang asam dan konsentrasi polutan pencemar yang tinggi (seperti COD dan nitrogen amonia) pada lindi berumur muda menunjukkan koagulasi-flokulasi merupakan pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah lindi berumur muda. Koagulasi flokulasi mampu menurunkan senyawa organik, logam berat, serta warna yang mungkin terkandung dalam lindi. Keuntungan penggunaan pengolahan dengan koagulasi dan flokulasi adalah kemudahan penerapan pengolahan di tempat (*on-site*), kemudahan pengelolaan, biaya yang rendah, dan efisiensi penurunan beban pencemar yang baik (Tatsi *et al.*, 2003). Ozon merupakan oksidan kuat yang mampu menurunkan padatan terlarut dan peningkatan kelarutan COD. Ozon juga mampu menurunkan warna, oksidasi zat yang berbahaya sehingga menjadi lebih biodegradabel, serta menurunkan produksi lumpur dari proses degradasi zat terlarut dalam limbah (Marce *et al.*, 2017; Sallanko dan Okkonen, 2009).

Koagulasi-flokulasi dan proses oksidasi kimia digunakan untuk pengolahan limbah yang sulit untuk diolah secara biologis. Koagulasi-flokulasi banyak digunakan untuk menghilangkan bentuk tersuspensi atau koloid serta menurunkan konsentrasi COD dalam air dan air limbah. Proses oksidasi kimia setelah koagulasi/flokulasi banyak digunakan untuk menurunkan beban organik (Gunes *et al.*, 2019).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa besar dosis optimum koagulan-polimer FeCl_3 -PAC untuk menurunkan beban pencemar dengan metode koagulasi dua tahap?
2. Bagaimanakah pengaruh tingkat kemampuan dosis optimum ozon proses oksidasi dalam penurunan konsentrasi zat pencemar lindi?
3. Berapa besar kemampuan koagulasi dua tahap-ozonisasi dalam penyisihan konsentrasi beban pencemar lindi yang diproduksi di Rumah Kompos Keputran?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah

1. Menentukan tingkat kemampuan dosis optimum koagulan-polimer FeCl_3 -PAC metode koagulasi dua tahap dalam menurunkan beban pencemar lindi.
2. Menentukan tingkat kemampuan dosis optimum ozon proses oksidasi dalam penurunan konsentrasi zat pencemar lindi
3. Menentukan penyisihan (%) konsentrasi beban pencemar lindi dengan metode koagulasi dua tahap dan ozonisasi.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

- a. Lindi yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Rumah Kompos Keputran
- b. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium yang bertempat di Laboratorium Departemen Teknik Lingkungan ITS
- c. Variasi yang akan dilakukan adalah:
 1. Dosis penambahan koagulan FeCl_3
 2. Dosis penambahan polimer Polyaluminum Chloride (PAC)
 3. Dosis penambahan oksidan (Ozon/ O_3)
- d. Parameter utama yang dianalisis adalah: Kekeruhan, COD, pH, warna, TSS, dan PV
- e. Parameter tambahan yang dianalisis adalah: TKN, PO_4 -P, dan NH_4 -N.
- f. Koagulasi flokulasi dilakukan dengan sistem bertahap (*batch*).

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai tingkat penurunan konsentrasi beban pencemar yang dilakukan melalui proses koagulasi dua tahap-ozonisasi.
2. Memberikan informasi dosis koagulan dan ozon yang sesuai untuk mengolah lindi pada lokasi penelitian.
3. Memberikan solusi berupa alternatif dalam mengolah lindi sayuran menggunakan pengolahan fisik-kimia dengan proses koagulasi-flokulasi-oksidasi.
4. Sebagai bahan evaluasi pengelola Rumah Kompos Keputran Surabaya dalam mengolah lindi sayuran yang ramah lingkungan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lindi (Leachate)

Lindi merupakan cairan yang terbentuk sebagai akibat dari penimbunan sampah. Cairan berwarna hitam ini adalah sebuah produk yang dihasilkan dari proses fisika, kimia, dan biologis pelarutan oleh perkolasi air pada lapisan sampah di area penimbunan sampah (Jurczyk dan Koc-Jurczyk, 2017).

Konsentrasi beban pencemar yang tinggi pada lindi dapat menurunkan kualitas tanah, air tanah dan bahkan air permukaan di sekitar lokasi penimbunan (Bhalla *et al.*, 2012; Scottish Environment Protection Agency, 2003). Limpasan yang timbul dari tempat penimbunan mengandung tanah dan padatan tersuspensi, keruh dan dapat mengancam ikan serta organisme air lainnya (Scottish Environment Protection Agency, 2003).

Dekomposisi sampah yang terjadi pada lokasi penimbunan sampah dipengaruhi oleh faktor pemadatan, kelembaban, inhibitor, laju aliran air, temperatur, ketersediaan O₂, populasi mikroorganisme yang dipengaruhi keadaan tanah penutup, dan tipe air sintesa yang terjadi, sifat-sifat heterogenisasi sampah, sifat-sifat fisik, kimiawi, dan biologis. Lokasi penimbunan sampah yang dibangun harusnya mampu memisahkan seluruh lindi yang terproduksi dari saluran drainase dan jika memungkinkan dilakukan pengaliran langsung menuju instalasi pengolah lindi (Jurczyk dan Koc-Jurczyk, 2017).

2.2. Karakteristik Lindi

Pada umumnya, lindi mengandung sejumlah besar bahan organik baik yang mudah terurai dan juga sulit terurai oleh mikroorganisme, amonia-nitrogen, logam berat, garam organik dan anorganik terklorinasi, yang dapat mengancam tanah, air tanah, dan bahkan permukaan air di sekitarnya. Komposisi lindi dapat dibagi menjadi empat bagian. Bahan organik seperti COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan TOC (*Total Organic Carbon*); senyawa organik spesifik; senyawa anorganik dan logam berat. Namun,

konsentrasi organik lindi sering diukur melalui analisis parameter COD, BOD₅ dan TOC dan karbon organik terlarut (Bhalla *et al.*, 2012).

Dua faktor utama yang mempengaruhi karakteristik lindi adalah volume timbunan dan komposisi sampah. Komposisi lindi sangat kompleks dan dipengaruhi oleh karakteristik sampah yang dibuang, karakteristik tanah penutup, umur lahan penimbunan sampah, suhu timbunan, kelembapan, ketersediaan oksigen, curah hujan, teknis dan operasional landfill, pH, aktivitas kimia dan biologis landfill (Naveen *et al.*, 2014).

Lindi yang berasal dari timbunan sampah yang baru mempunyai konsentrasi BOD₅ dan COD yang sangat tinggi. Komposisi lindi sangat dipengaruhi oleh umur timbunan sampah (da Costa *et al.*, 2018). Sehingga semakin lama umur landfill, maka kualitas lindi juga semakin menurun. Karakteristik lindi berdasarkan umur landfill dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh DKRTH Kota Surabaya, 2018, karakteristik kimia lindi masih jauh melampaui baku mutu, kecuali pH. Konsentrasi beban pencemar yang terkandung pada air lindi ditunjukkan pada Tabel 2.2.



Gambar 2.1 Tampak depan Rumah Kompos Keputran



Gambar 2.2 Timbunan sampah sayur tercah Rumah Kompos Keputran

2.3. Pengolahan Lindi

Konsentrasi lindi yang tinggi serta komposisi penyusun yang beragam pada polutan yang terkandung pada lindi menyebabkan sulitnya penentuan teknik pengolahan yang efektif untuk lindi. (Comstock *et al.*, 2010). Sebagian besar pengolahan lindi di Indonesia masih menggunakan sistem kolam karena biaya operasionalnya yang rendah, tetapi memerlukan waktu tinggal yang cukup lama. Untuk kolam anaerobik memerlukan waktu tinggal 20-50 hari dengan efisiensi penghilangan BOD₅ 50–85%, kolam fakultatif memerlukan waktu tinggal 5–30 hari dengan efisiensi penghilangan BOD₅ 70–80%, sedangkan kolam maturasi memerlukan waktu tinggal 7–20 hari dengan efisiensi penghilangan BOD₅ 60–89 % (Said dan Hartaja, 2015).

Tabel 2.1 Jenis Data Komposisi dari Lindi *Landfill* Baru dan *Landfill* Lama

Parameter	Nilai (mg/L)		
	<i>Landfill</i> baru (kurang dari 2 tahun)		<i>Landfill</i> lama (lebih dari 10 tahun)
	Rentang	Tipikal	
BOD ₅ (5-days biochemical oxygen demand)	2.000 – 30.000	10.000	100 – 200
TOC (Total Organic Carbon)	1.500 – 20.000	6.000	80 – 160
COD (Chemical Oxygen Demand)	3.000 – 60.000	18.000	100 – 500
Total Suspended Solid	200 – 2.000	500	100 – 400
Organic Nitrogen	10 – 800	200	80 – 120
Ammonia Nitrogen	10 – 800	200	20 – 40
Nitrate	5 – 40	25	5 – 10
Total Phosphorous	5 – 100	30	5 – 10
Ortho Phosphorous	4 – 80	20	4 – 8
Alkalinity as CaCO ₃	1.000 – 10.000	3.000	200 – 1.000
Sodium	200 – 2.500	500	100 – 200
Chloride	200 – 3.000	500	100 – 400
Sulfate	50 – 1.000	300	20 – 50
Total Iron	50 – 1.200	60	20 – 200

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No 59 Tahun 2016

**Tabel 2.2 Baku Mutu Beban
Pencemar Lindi**

Parameter	Satuan	Baku Mutu
pH	-	6-9
BOD ₅	mg/L	100
COD	mg/L	300
TSS	mg/L	100
Total N	mg/L	60

Metode dan modifikasi yang efisien dalam pengolahan lindi TPA dibagi menjadi 3 kelompok utama, yaitu fisik, kimia, biologi serta kombinasi dari beberapa jenis pengolahan tersebut. Pengolahan fisik kimia dapat dilakukan melalui ultrafiltrasi, oksidasi kimia atau elektrokimia, koagulasi, flokulasi, adsorpsi, dsb. Serta pengolahan biologi dilakukan dengan metode terlekat (*attached growth*) atau tersuspensi (*suspended growth*) (Jurczyk dan Koc-Jurczyk, 2017).

2.4. Koagulasi Flokulasi

Proses koagulasi/flokulasi berfungsi untuk menetralkan atau mengurangi muatan negatif pada partikel. Hal ini memungkinkan daya tarik "Van Der Waals" untuk mendorong penggumpalan awal koloid dan padatan tersuspensi halus untuk membentuk mikroflok. Koagulasi adalah proses fisik-kimia yang umum digunakan untuk menghilangkan bahan organik yang tidak biodegradabel (Comstock *et al.*, 2010).

Proses koagulasi-flokulasi biasanya digunakan dalam pengolahan air limbah karena efisiensi tinggi dan biaya rendah, efektif dalam menghilangkan pewarna. Proses koagulasi dilakukan dengan penambahan produk kimia ke air limbah untuk mengubah keadaan fisik dari padatan terlarut dan tersuspensi dan pembuangan dilakukan melalui sedimentasi (Gunes *et al.*, 2019). Proses unit koagulasi/flokulasi pada umumnya terdiri dari 3 tahap yaitu pengadukan cepat proses koagulasi, pengadukan lambat proses flokulasi dan pengendapan. Efisiensi pengadukan cepat dan lambat sangat ditentukan oleh dosis koagulan, pH, lama pengadukan serta intensitas kecepatan pengadukan (Butt, 2013).

2.5. Pengadukan

Pengadukan terdiri atas pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Pada pengadukan cepat, bahan kimia koagulan ditambahkan ke air dan kemudian dicampur dengan cepat. Tujuan langkah ini adalah untuk mendistribusikan bahan kimia secara seragam melalui air. Pengadukan cepat biasanya membutuhkan waktu satu menit atau kurang. Jika air tercampur dalam tiga puluh detik, maka bahan kimia tidak akan tercampur dengan baik ke dalam air. *Paddle jar test* membantu proses pembentukan flok jika air dicampur selama lebih dari enam puluh detik. Setelah pengadukan cepat, terjadi koagulasi. Selama koagulasi, bahan kimia koagulan menetralkan muatan listrik dari elemen halus di dalam air, yang memungkinkan partikel-partikel untuk dikumpulkan lebih dekat dan membentuk gumpalan besar.

Selama flokulasi, suatu proses pengadukan lambat membuat partikel-partikel halus yang dibentuk pada proses koagulasi saling bertukar. Flokulasi biasanya berlangsung sekitar 15 atau 20 menit hingga satu jam lebih. Pada reaktor flokulasi pada umumnya memiliki sejumlah partisi dengan menurunnya kecepatan pencampuran ketika air mengalir melalui tiap partisi. Ruang yang dikelompokkan ini memungkinkan flok yang semakin besar terbentuk tanpa patah secara terpisah akibat pedal flokulator.

Flokulasi terjadi dengan kecepatan pengadukan lambat, menumbuhkan ukuran partikel dari mikroflok submikroskopis menjadi partikel tersuspensi yang terlihat. Mikroflok saling berikatan satu sama lain melalui proses pengadukan lambat. Tumbukan partikel mikroflok menyebabkan ikatan flok yang lebih besar dan terlihat yang disebut *pinfloc*. Ukuran flok terbentuk melalui tumbukan dan interaksi dengan polimer anorganik yang dibantu oleh koagulan atau polimer organik yang ditambahkan. Macroflok terbentuk. Polimer dengan berat molekul besar, yang disebut *coagulant aid*, dapat ditambahkan selama langkah ini untuk membantu menjembatani, mengikat, memperkuat flok, menambah berat, dan meningkatkan laju pengendapan. Setelah flok mencapai ukuran dan kekuatan optimal, air siap untuk metode

sedimentasi. Rancang waktu kontak untuk rentang flokulasi dari 15 atau 20 menit hingga satu jam atau lebih (Mojad *et al.*, 2017).

Tabel 2.3 Penelitian terdahulu pengadukan dengan Jar Test

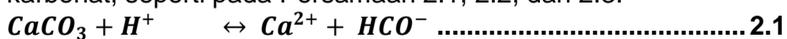
Parameter	Rentang	Referensi
Kecepatan Pengadukan Cepat (rpm)	100-250	(Ghafari <i>et al.</i> , 2010) (Ajao <i>et al.</i> , 2018)
Durasi Pengadukan Cepat (menit)	1-5	(Ajao <i>et al.</i> , 2018) (Tatsi <i>et al.</i> , 2003)
Kecepatan Pengadukan Lambat (rpm)	20-60	(Luis <i>et al.</i> , 2015) (Tatsi <i>et al.</i> , 2003)
Durasi Pengadukan Lambat (menit)	10-55	(Ajao <i>et al.</i> , 2018) (Tatsi <i>et al.</i> , 2003)

2.6. Jar Test

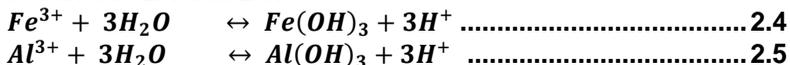
Jar test merupakan teknik analisis laboratorium yang digunakan untuk menentukan jenis dan dosis koagulan maupun *coagulant aids* yang sesuai untuk koagulasi pengolahan air. Dalam analisis ini, sampel air dicampurkan dalam *beaker glass* dan dilakukan penambahan variasi dosis koagulan atau koagulan pembantu ke dalam beaker. Campuran yang telah disiapkan dalam beaker kemudian diaduk dengan kecepatan yang tinggi untuk pengadukan cepat dan kemudian dengan kecepatan yang rendah untuk pengadukan lambat. Setelah pengadukan dihentikan, flok terbentuk dan dibiarkan mengendap. Aspek penting yang perlu diperhatikan adalah waktu yang diperlukan untuk pembentukan flok, ukuran flok, karakteristik pengendapan, persentase kekeruhan dan penurunan warna, dan pH akhir dari koagulasi dan air yang diendapkan (Reynolds dan Richards, 1995).

2.7. Kapur

Berdasarkan penelitian (Labastida *et al.*, 2013) perubahan nilai pH seiring dengan penambahan kapur merupakan akibat dari reaksi senyawa kapur CaCO_3 dengan asam membentuk ion Ca^{2+} dan ion karbonat, seperti pada Persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3.



Perubahan pH juga menimbulkan perubahan konsentrasi logam terlarut. Ketika pH meningkat, keberadaan Fe dan Al dalam larutan asam akan membentuk Fe dan Al hidroksida seperti pada Persamaan 2.4 dan 2.5.

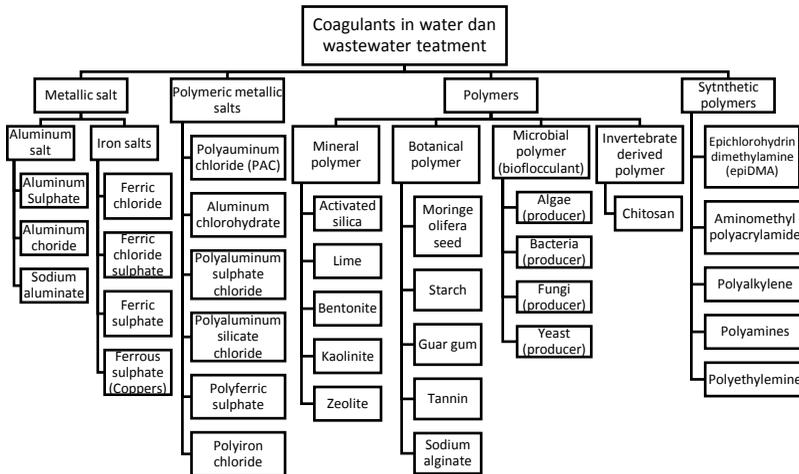


2.8. Koagulan

Koagulan adalah bahan kimia yang ditambahkan ke dalam air atau air limbah untuk melakukan koagulasi (Kamaruddin *et al.*, 2017). Dalam proses koagulasi/flokulasi, jenis koagulan memiliki peran penting dalam menghilangkan kontaminan. Ada banyak kategori koagulan seperti anorganik dan organik (Gunes *et al.*, 2019).

Beberapa manfaat tambahan untuk penerapan koagulan seperti garam besi atau aluminium dalam pengolahan air limbah adalah pengendapan senyawa sulfur, pengeringan lumpur lebih mudah, peningkatan efisiensi dalam menghilangkan polutan, dan pengurangan konsumsi energi dalam proses biologis. Koagulan yang ditambahkan bereaksi relatif cepat dengan partikel-partikel koloid dalam air untuk menetralkan muatan pada permukaan. Partikel-partikel tersebut kemudian menggumpal untuk membentuk mikro-flokulan primer. Selama proses flokulasi, mikro-flok terus bertambah ukurannya untuk membentuk flok yang mudah diendapkan dengan ukuran dan kepadatan yang besar (Mousa dan Hadi, 2016). Klasifikasi koagulan secara rinci dapat dilihat pada Gambar 2.3.

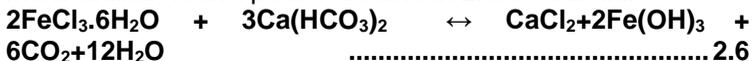
Beberapa senyawa kimia telah digunakan sebagai koagulan dan flokulan seperti *aluminum sulfat* $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$, *ferric chloride* $[FeCl_3 \cdot 6H_2O]$, *ferric sulfate* $[Fe_2(SO_4)_3]$, *ferrous sulfate* $[FeSO_4 \cdot 7H_2O]$ dan kapur $[Ca(OH)_2]$ (Ebeling *et al.*, 2003; Choumane *et al.*, 2017).



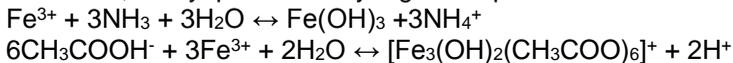
Gambar 2.3 Klasifikasi koagulan pada pengolahan lindi
 Sumber: (Kamaruddin *et al.*, 2017)

a. *Ferric Chloride* ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Merupakan koagulan yang sering digunakan dan efektif pada rentang pH 5-8,5. Penambahan besi (II) Klorida pada air limbah menimbulkan reaksi pada Persamaan 2.6. berikut ini:



Flok besi hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) lebih berat daripada flok tawas, meningkatkan karakteristik pengendapannya, dan mengurangi ukuran bangunan pengendapan. Besi hidroksida yang tidak dapat larut berbentuk flok agar-agar yang mengendap melewati air limbah, menyapu material yang tersuspensi.



b. *Ferric Sulfat* ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)

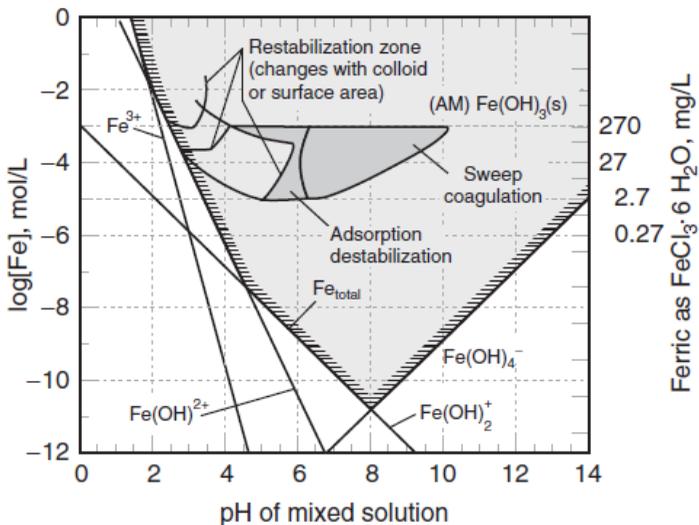
Efisiensi penurunan konsentrasi beban pencemar pada lindi oleh Ferric sulfat lebih baik dibandingkan dengan Aluminum Sulfat dan Ferric Chloride (Comstock *et al.*, 2010); Mbaaza *et al.*, 2017). *Ferric sulphate* tersedia dalam bentuk granula atau bubuk yang berwarna merah kecoklatan. Rumus kimianya

adalah $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Koagulan ini sedikit bersifat higroskopik tetapi sulit untuk larut. Larutannya bersifat korosif terhadap aluminium, beton, dan hampir semua jenis besi. Seperti pada reaksi alum, flok *ferric hydroxide* merupakan hasil dari reaksi antara koagulan yang asam dan alkalinitas alami dalam air. Reaksi yang terjadi ditunjukkan pada persamaan 2.7



Reaksi-reaksi dengan penambahan basa analog dengan reaksi yang terjadi jika menggunakan alum (Kristijanti *et al.*, 2013).

Garam besi yang digunakan sebagai koagulan memiliki nilai kelarutan pada pH tertentu, sehingga penggunaan garam besi sebagai koagulan harus mempertimbangkan kondisi pH sampel agar dapat dengan tepat membentuk endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan tidak menyebabkan kelarutan pH dalam sampel dan sampel menjadi semakin pekat dengan adanya konsentrasi Fe dalam larutan. Kelarutan Fe dengan pH dapat dilihat pada Gambar 2.4. Penelitian terdahulu yang menggunakan besi (Fe) sebagai koagulan dapat dilihat pada Tabel 2.1.



Gambar 2.4 Kelarutan Fe dalam bentuk larutan terhadap pH
Sumber: (Crittenden *et al.*, 2012)

2.9. Polimer

Flokulan merupakan senyawa yang membantu dalam mempertahankan isi reaktor dalam keadaan tercampur sempurna yang mendorong penggumpalan partikel (Ebeling *et al.*, 2003). Polimer yang digunakan sebagai flokulan dapat berupa anionik, kationik, atau non-ionik. Struktur polimer berupa ikatan polimer namun efektif digunakan pada beberapa pengolahan tertentu (Gregory dan Barany, 2011). Penggunaan polimer sintesis memberikan peningkatan efisiensi penurunan COD 10-15% dibandingkan dengan menggunakan FeCl_3 saja (Choumane *et al.*, 2017).

a. Poly Aluminum Chloride

Polyaluminium chloride (PAC) adalah polimer koagulan anorganik yang sangat efektif dalam pengolahan air limbah. PAC adalah nama umum untuk berbagai garam dengan formula umum $\text{Al}_n\text{Cl}_{(3n-m)}(\text{OH})_m$ yang dapat dibentuk dengan polimerisasi aluminium klorida dalam kondisi reaksi yang berbeda (Kamaruddin *et al.*, 2017). PAC dinilai lebih unggul dari koagulan konvensional karena penghilangan partikel dan bahan organik yang lebih tinggi serta konsumsi alkalinitas yang lebih rendah dan produksi lumpur yang lebih sedikit (Ghafari *et al.*, 2010). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ghafari *et al.*, 2010, koagulasi dengan dosis optimum PAC sebesar 1,9 g/L mampu menurunkan COD, kekeruhan, warna dan TSS berturut-turut sebesar 40,13%; 82,29%; 87,16%; dan 71,43%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Geng, 2005, PAC mampu menurunkan kekeruhan dan warna secara efektif dibandingkan dengan Alum, SC 50, SC 780, PASS 100, aluFer C, dan FeCl_3 . Selain itu, PAC mampu mendestabilisasikan partikel lebih cepat daripada alum. Penelitian terdahulu polimer PAC ditunjukkan pada Tabel 2.5.

2.10. Koagulasi Dua Tahap

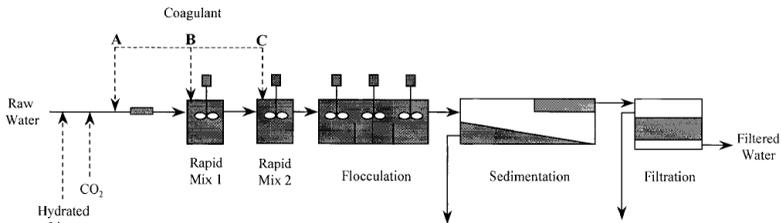
Koagulasi dua tahap bertujuan untuk memberikan kondisi pH optimum pada penyisihan material organik pada tahap pertama dan partikel lain pada tahap kedua (Hendricks, 2006). Hidroksida yang terbentuk oleh penambahan koagulan sangat dapat meningkatkan adhesi antara pecahan gumpalan dan mampu

mengembangkan kembali ukuran flok yang lebih baik (Su *et al.*, 2017). Flok yang mengalami *breakage* dapat dikembangkan dari ukuran awalnya sebelum *breakage* dengan melakukan netralisasi lanjutan ketika koagulasi. Dosis kecil koagulan yang ditambahkan dapat 'mengaktifkan kembali' flok-flok yang telah terbentuk secara efektif sehingga terpecahnya flok dapat dilakukan kembali. Namun, koagulan yang ditambahkan pada awal periode terpecahnya flok (beberapa menit) tidak meningkatkan pertumbuhan kembali flok Al-humic (Yu *et al.*, 2011). Selain itu, pemberian dosis koagulan 2 tahap menghasilkan peningkatan zeta potensial daripada pemberian dosis 1 tahap (Zhao *et al.*, 2011). Hal tersebut mengindikasikan bahwa penambahan koagulan menyebabkan perubahan muatan netralisasi yang signifikan pada proses re-koagulasi flok yang rusak (Xu *et al.*, 2012).

Flok yang telah rusak akan terkoagulasi dengan partikel yang tersisa. Sedangkan ketika *sweep flocculation* mendominasi proses koagulasi, hampir seluruh partikel akan terperangkap muatan positif dan hanya sebagian kecil partikel yang tidak terperangkap muatan positif dan sisa muatan negatif. Flok yang berstruktur bebas dan bercabang yang terbentuk dari mekanisme *sweep coagulation* menunjukkan potongan atau fragmen yang luas pada pemodelan *breakage*. Flok yang terpecah mengandung muatan positif akan menghasilkan gaya tolak antar partikel dan mengurangi efisiensi tumbukan. Proses *breakage* dan *re-growth* pada flok merupakan cara yang efektif untuk mengurangi dosis koagulan (Yu *et al.*, 2011).

Pada koagulasi 2 tahap ini, ukuran flok menjadi lebih besar dan berstruktur lebih padat. Hal inilah yang menyebabkan penyisihan kekeruhannya memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan koagulasi 1 tahap. Nilai pH pada effluen akan lebih tinggi pada koagulasi dengan dosis 2 tahap dibandingkan dengan 1 tahap. Dosis kedua menjadikan struktur flok menjadi lebih padat yang diakibatkan oleh penyusunan kembali partikel dengan perubahan muatan permukaannya. Sehingga dimensi flok tidak hanya mengenai struktur floknya namun juga karakteristik kimia dari permukaan flok (Zhao *et al.*, 2011). Penambahan dosis koagulan 2 tahap mengurangi residu Al pada effluen jika dibandingkan

dengan penambahan dosis 1 tahap dengan konsentrasi total koagulan yang sama. Hal tersebut mendandakan bahwa koagulan dapat sepenuhnya bereaksi dengan kontaminan (Xu *et al.*, 2012). Penelitian terdahulu mengenai koagulasi dua tahap ditunjukkan melalui Tabel 2.6. Salah satu contoh diagram alir penerapan koagulasi dua tahap dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram Koagulasi Dua Tahap
 Sumber : (Carlson dan Gregory, 2000)

2.11. Oksidasi

Oksidasi merupakan hilangnya satu atau lebih muatan negatif (elektron) atom zat teroksidasi (Hall, 1929). Oksidasi dapat menurunkan BOD dan juga sifat toksisitas pada air limbah. Pencemar tersebut dikonversi menjadi karbon dioksida, air dan bio-solid (Ameta dan Ameta, 2018). Proses oksidasi kimia setelah koagulasi/flokulasi banyak digunakan untuk menurunkan zat organik (Gunes *et al.*, 2019). Senyawa sisa proses koagulasi teroksidasi dengan cepat melalui proses ozonasi (Chen *et al.*, 2018). Penurunan konsentrasi COD dengan pengolahan koagulasi dan penambahan ozon (O_3) memberikan efisiensi sebesar 90% (Lafi *et al.*, 2010). Dalam proses oksidasi kimia, mekanisme reaksi mengubah struktur, dan sifat kimia dari zat organik. Molekul pecah dalam fragmen yang lebih kecil; persen oksigen yang lebih tinggi muncul dalam molekul-molekul ini dalam bentuk alkohol, asam karboksilat dll (Gashed *et al.*, 2015).

Ozon adalah bahan kimia reaktif yang digunakan dalam pengolahan air limbah untuk disinfeksi, penghilangan warna, degradasi mikro-organik, konversi COD yang sulit diuraikan, dan penambahan oksigen yang efektif. Ozonasi telah digunakan untuk *post-treatment* lindi TPA setelah proses *pre-treatment* dengan

metode koagulasi-flokulasi kimia. Koagulasi-flokulasi diikuti oleh ozonasi adalah proses yang efisien dan hemat biaya untuk pengurangan COD dari lindi timbunan sampah, sedangkan pra-ozonasi diikuti oleh koagulasi-flokulasi bukanlah pendekatan yang efisien (Rasool *et al.*, 2016). Penelitian terdahulu mengenai oksidasi dengan ozon ditunjukkan pada Tabel 2.7

Mekanisme ozonasi substrat larut organik (M) dalam larutan encer dipetakan dan dijelaskan oleh Staehelin dan Hoigne. Proses utama diagram ini yang melibatkan reaksi radikal sebagai berikut:

- Langkah inisiasi (langkah 2.8 dan 2.9), yang menghasilkan radikal melalui reaksi dengan OH⁻ dan substrat (M) dalam larutan:



- Langkah-langkah propagasi (langkah 2.10; 2.11; 2.12; 2.13; dan 2.14) yang mempertahankan rantai reaksi radikal



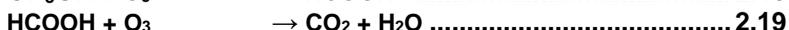
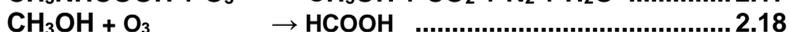
Dalam langkah-langkah ini, gugus radikal diperbanyak dan dipertahankan melalui reaksi dengan H dan substrat organik (M) yang memiliki gugus alkil (R). Penambahan radikal menghasilkan oksidasi gugus alkil dari substrat (langkah 2.14).

- Langkah terminasi (langkah 2.15)



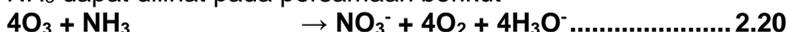
Pada langkah 2.15, M (misalnya, substrat organik atau bikarbonat) bertindak sebagai pengikat radikal, dan reaksi berantai radikal diakhiri oleh pembentukan produk M[•] (Staehelin dan Holgne, 1985).

Reaksi ozon dengan bahan organik, seperti pertisida, ditunjukkan pada persamaan

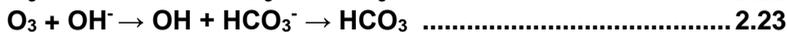
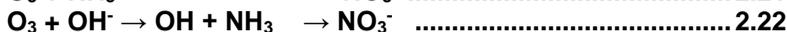
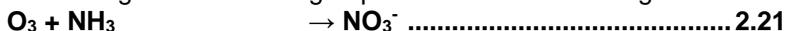


(G. Reynolds *et al.*, 1989)

Sedangkan reaksi antara ozon dengan senyawa organik seperti NH₃ dapat dilihat pada persamaan berikut



Pada sampel yang bersifat basa, reaksi antara ozon dengan NH₃ cenderung melambat dengan persamaan reaksi sebagai berikut



(Portjanskaja, 2006).

Pengolahan lindi dengan ozon memerlukan alat perlindungan diri ketika bekerja dengan ozon agar terhindar dari paparan ozon. Peralatan perlindungan pribadi termasuk perlindungan mata, kulit, dan perlindungan pernapasan. Hal tersebut juga termasuk peralatan darurat seperti fasilitas cuci mata dan pancuran dan peralatan P3K.

a. Perlindungan Mata

Perlindungan mata tidak diperlukan ketika bekerja dengan ozone berkonsentrasi 0,05 ppm. Apabila konsentrasi mencapai 0,1 ppm dapat menimbulkan iritasi mata. Sedangkan ozon dengan konsentrasi lebih besar dari 0,25 ppm dapat mmberikan efek yang signifikan.

b. Perlindungan Pernapasan

Pemilihan alat perlindungan pernapasan harus sesuai dengan kebutuhan pekerja dan sesuai dengan prosedur perlindungan diri pekerja yang tertulis. Beberapa macam alat pernapasan adalah sebagai berikut

- Respirator dengan *cartridges*
- Respirator dengan *canister*.
- Respirator sebagian dengan kaca mata *goggles*
- Supplied Air Respirators (SARs)
- Self-Contained Breathing Apparatus (SCBAs)

(Anonim, 2006)



Respirator dengan *cartridges*



Respirator dengan *canister*.



Respirator sebagian dengan kaca mata *goggles*



Supplied Air Respirators (SARs)

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu Fe sebagai Koagulan

Jenis Sampel	Jenis Pengolahan	Jenis Koagulan	Dosis optimum	Mekanisme Jar Test	Efisiensi Penyisihan	Sumber
<i>Aquaculture</i>	Koagulasi 1 tahap	FeCl ₃	60 mg/L	FM: 150 rpm, 1 menit SM: 20 rpm, 15 menit SD: 30 menit	82,86% NTU	(Ebeling <i>et al.</i> , 2003)
Limbah	Koagulasi 1 tahap	FeCl ₃	4 g/L	FM: 200 rpm, 2 menit SM: 40 rpm, 15 menit SD: 90 menit	40,4% NTU	(Rana dan Suresh, 2017)
		FeSO ₄	4 g/L		54% COD 35,2% NTU 40% COD	
Limbah	Koagulasi 1 tahap	FeCl ₃	0,4 g	FM: 150 rpm, 10 menit SM: 40 rpm, 15 menit SD: 60 menit	91,12% NTU	(Choumane <i>et al.</i> , 2017)
Lindi	Koagulasi 1 tahap	Fe	0,8 g/L	FM: 160 rpm, 3 menit SM: 40 rpm, 17 menit SD: 60 menit	35% COD	(Gadhimathi <i>et al.</i> , 2013)
Limbah	Koagulasi 1 tahap	FeCl ₃	400 mg/L	FM: 160 rpm, 2 menit SM: 60 rpm, 10 menit SD: 20 menit	92% NTU	(Domopoulou <i>et al.</i> , 2015)
		FeSO ₄	1050 mg/L		99,5% NTU	
Lindi	Koagulasi 1 tahap	FeCl ₃	2 g/L	FM: 150 rpm, 5 menit SM: 60 rpm, 20 menit SD: 60 menit	83% COD 49% TSS 86% NTU	(Verma <i>et al.</i> , n.d.)
Lindi	Koagulasi 1 tahap	FeCl ₃	2.5 g/L	FM: 120 rpm, 3 menit SM: 40 rpm, 25 menit SD: 30 menit	55% COD 70% warna	(Jamali <i>et al.</i> , 2009)
		Fe ₂ (SO ₄) ₃	2.5 g/L		30% COD 53% warna	

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu PAC sebagai Polimer

Jenis Sampel	Jenis Pengolahan	Jenis Polimer	Dosis optimum	Mekanisme Jar Test	Efisiensi Penyisihan	Sumber
Lindi	Koagulasi 1 tahap	PAC	4 g/L	FM: 200 rpm, 2 menit SM: 40 rpm, 15 menit SD: 30 menit	26,4% COD	(Rana dan Suresh, 2017)
Lindi	Koagulasi 1 tahap	PAC	1,9 g/L	FM: 80 rpm, 1 menit SM: 30 rpm, 15 menit	40,13% COD 82,29% NTU 87,16% warna 71,43% TSS	(Ghafari <i>et al.</i> , 2010)
Air limbah sintetis	Koagulasi 1 tahap	PAC	84 mg/L	FM: 100 rpm, 30 detik SM: 40 rpm, 15 menit SD: 30 menit		(Geng, 2005)
Lindi	Koagulasi 1 tahap	PAC	2 g/L	FM: 150 rpm, 3 menit SM: 30 rpm, 20 menit SD: 30 menit	96% TSS 95% warna 58% COD 35% NH ₃ -N	(Rui <i>et al.</i> , 2012)
Lindi	Koagulasi 1 tahap	PAC	2 g/L	FM: 120 rpm, 3 menit SM: 40 rpm, 25 menit SD: 30 menit	42% COD 48% warna	(Jamali <i>et al.</i> , 2009)

Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu Koagulasi Dua Tahap

Jenis Sampel	Jenis Pengolahan	Koagulan	Perbandingan dosis optimum	Mekanisme Jar Test	Efisiensi Penyisihan	Sumber
Air permukaan	Koagulasi tahap	2 Alum	70 mg/L 50:50	PC: 1 menit; 300 rpm PC: 1 menit; 300 rpm PL: 15 menit (45, 30, dan 18 rpm) SD: 9 menit	87% NTU	Carlson dan Gregory, 2000
<i>Humic Acid</i>	Koagulasi tahap	2 PAC	400 mg/L (75:25, 50:50)	PC: 1 menit; 200 rpm PL: 5,5 menit; 50 rpm	86% NTU 86% warna	Liu <i>et al.</i> , 2011
Air run-off pertambangan	Koagulasi tahap	2 Alum AAT-AAT	0,04 mM Al (75:25) 350 mL/L 75:25	PL: 5,5 menit; 50 rpm PC: 1,5 menit; 200 rpm PL: 15 menit; 40 rpm	95,2 % NTU 99,4% TSS 99,6% NTU	
		AAT-Clarifix AAT-PAC	350 mL/L 75% AAT-0,04 mL/L 350 mL/L 75% AAT-20 mg/L PAC	PC: 1,5 menit; 200 rpm PL: 15 menit; 40 rpm SD: 45 menit	99,7% TSS 96,3% NTU 100% TSS 99,8% NTU	
Humic acid	Koagulasi tahap	2 TiCl ₄	10 mg/L + 5 mg/L	PC:1 menit; 200 rpm PL: 10 menit; 40 rpm PC: 10 menit; 200 rpm PL:10 menit; 40 rpm SD:15 menit	81% NTU	Zhao <i>et al.</i> , 2013
Humic acid	Koagulasi tahap	2 PAC	3 mg/L + 1,5 mg/L	PC: 1,5 menit; 200 rpm PL: 15 menit; 40 rpm PC: 5 menit; 200 rpm PL: 15 menit; 40 rpm SD: 30 menit	86% NTU	Xu <i>et al.</i> , 2012

Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu Oksidasi dengan Ozon (O₃)

Jenis Sampel	Proses	Debit yang diinjeksikan	Waktu injeksi optimum	Efisiensi Penyisihan	Sumber
Limbah	O ₃	40 dm ³ /jam	45 menit	19% COD	(Lafi <i>et al.</i> , 2010)
	Koagulasi (Fe)-O ₃	40 dm ³ /jam		90% COD	
	Koagulasi (Fe)-O ₃	40 dm ³ /jam		88% COD	
Lindi	O ₃	4 L/menit (2 g/jam)	30 menit	90% warna 57% COD	(Ntampou <i>et al.</i> , 2006)
		4 L/menit		80% warna 81% COD	
	O ₃ +koagulasi	(2 g/jam)	60 menit	39% COD	
	Koagulasi i+O ₃	4 L/menit	60 menit	31% COD	
	Koagulasi i+O ₃ (pH 9)	(2 g/jam)	30 menit	50% COD	
Lindi	O ₃	0.1-0.5 L/menit (9.8-52.65 mg/menit)	30 menit	41.32% COD	(Chen <i>et al.</i> , 2018)
	Koagulasi i+O ₃	0.2 g/(L.jam)	30 menit	92.6% COD 92,4% warna 86% kekeruhan 98,3% N-NH ₃	
Lindi	O ₃	2 L/menit 240 g O ₃ /L lindi		70% COD 80% warna	(Jamali <i>et al.</i> , 2009)
Asam Humat	O ₃	24 mg/L	60 menit		(Abdw <i>et al.</i> , 2018)

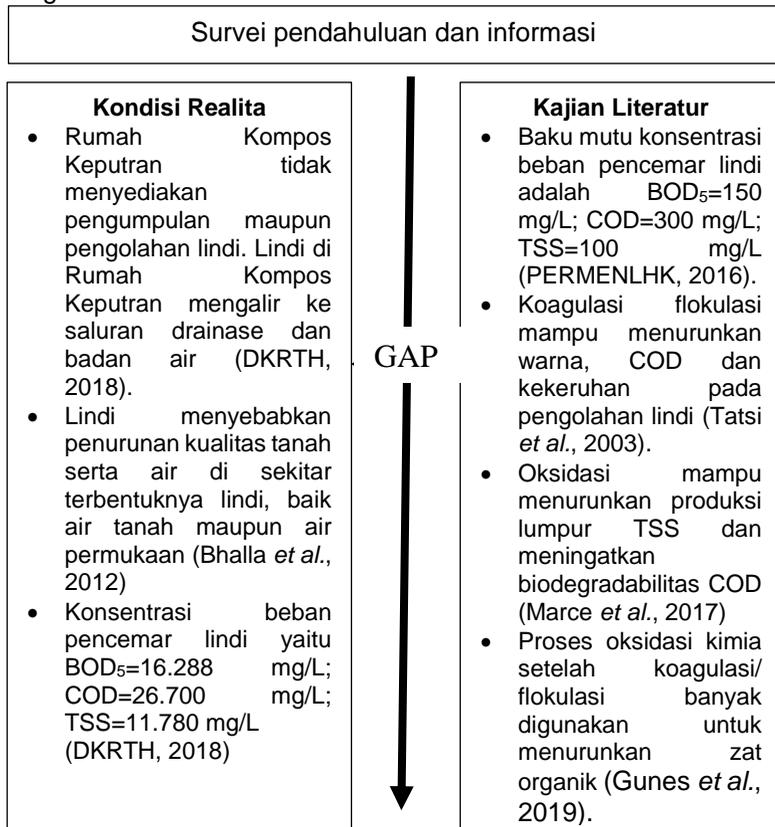
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan yang digunakan dalam tugas akhir ini ditunjukkan dalam bentuk diagram alir seperti pada

Gambar 3.1. Bagan alir ini menunjukkan bahwa penelitian ini dilakukan dengan dasar adanya “GAP” antara kondisi realita dengan kondisi yang ideal atau kajian literatur yang ada. Langkah-langkah pelaksanaan pekerjaan yang harus dilakukan untuk mencapai tujuan akhir ditunjukkan pula dalam diagram alir ini.



Ide Tugas Akhir
"Pengolahan Lindi Sampah Sayuran Rumah Kompos Keputran dengan Metode Koagulasi Dua Tahap FeCl_3 -PAC dan Ozonisasi"



- Rumusan Masalah**
1. Berapa besar dosis optimum koagulan-polimer FeCl_3 -PAC untuk menurunkan beban pencemar dengan metode koagulasi dua tahap?
 2. Bagaimanakah pengaruh tingkat kemampuan dosis optimum ozon proses oksidasi dalam penurunan konsentrasi zat pencemar lindi?
 3. Berapa besar kemampuan koagulasi-flokulasi-oksidasi dalam penyisihan konsentrasi beban pencemar lindi yang diproduksi di Rumah Kompos Keputran?



- Tujuan**
1. Menentukan tingkat kemampuan dosis optimum koagulan-polimer FeCl_3 -PAC metode koagulasi dua tahap dalam menurunkan beban pencemar lindi.
 2. Menentukan tingkat kemampuan dosis optimum ozon proses oksidasi dalam penurunan konsentrasi zat pencemar lindi.
 3. Menentukan penyisihan (%) konsentrasi beban pencemar lindi dengan metode koagulasi flokulasi oksidasi.



Studi Literatur

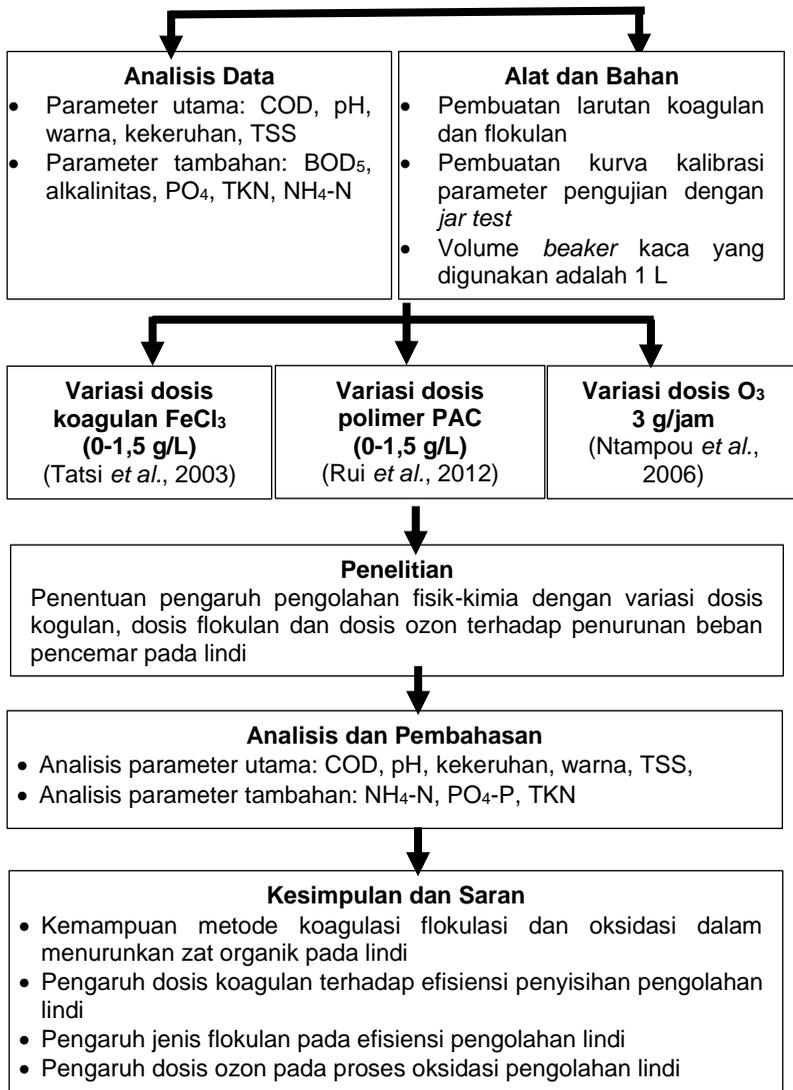
Karakteristik lindi, metode koagulasi flokulasi, faktor-faktor yang mempengaruhi koagulasi flokulasi oksidasi, jenis koagulan, jenis polimer.



Pengumpulan Data



Perizinan



Gambar 3.1 Skema Penelitian

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk penelitian pendahuluan, penelitian utama serta analisis parameter.

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang harus dipersiapkan untuk melakukan penelitian ini adalah *jar test*, *beaker*, ozonizer dan sejumlah *glassware*.

a. *Jar Test*

Penelitian ini menggunakan alat *jar test* yang tersedia di laboratorium Teknik Lingkungan dengan 6 jar. Metode *jar test* ini dioperasikan dengan sistem *batch* yaitu pengolahan dilakukan secara bertahap dan tidak terjadi penambahan atau pengurangan volume lindi selama operasi atau proses pengadukan berlangsung (Reynolds dan Richards, 1995).

b. *Beaker*

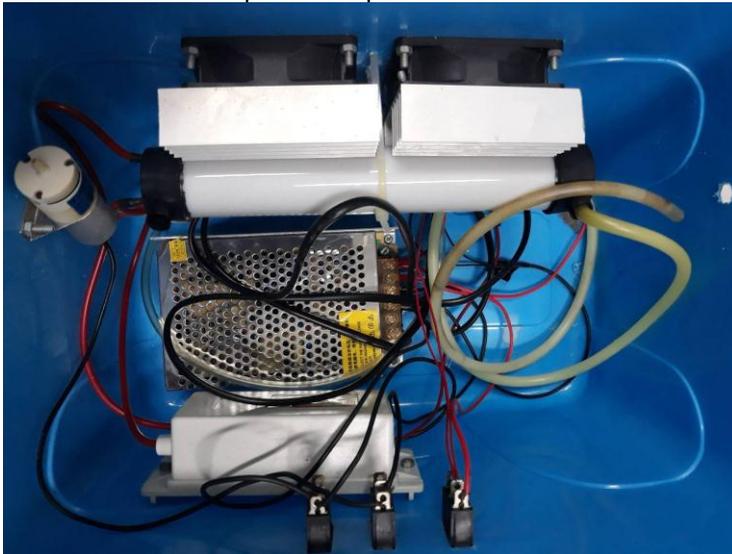
Beaker yang digunakan untuk serangkaian koagulasi-flokulasi-oksidasi terbuat dari kaca yang dapat menampung 1,2 L air dengan diameter 11,5 cm dan tinggi 19 cm. *Beaker* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2. Sampel yang digunakan dalam penelitian adalah sampel tanpa melalui *pre-treatment*. Untuk mempermudah penelitian, maka dilakukan tiga tahap pengujian. Tahap pertama yaitu variasi dosis koagulan. Tahap kedua untuk variasi dosis polimer. Tahap ketiga untuk variasi dosis oksidasi.



Gambar 3.2 *Beaker*

c. Ozonizer

Ozonizer berfungsi untuk menginjeksikan ozon yang digunakan dalam proses oksidasi dengan kapasitas yang dikeluarkan dari alat ini adalah sebesar 3 g/jam. Ozonizer terdiri atas kipas, pendingin (*cooling*), adaptor, generator dan *corona discharge*. Ozonizer terhubung dengan selang dan diffuser agar ozon dapat tersebar merata dalam sampel lindi. Gambar ozonizer dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian Alat Ozonizer

d. Pipet Volume

Pipet volume pada penelitian ini digunakan untuk pengambilan sampel masing-masing *beaker* setelah penambahan variabel. Pengambilan sampel dilakukan di bagian atas pertengahan *beaker*. Sampel yang diambil dari proses pengolahan digunakan untuk analisis parameter utama dan tambahan.

e. Alat analisis parameter

Alat analisis parameter yang umum digunakan dalam analisis terdiri dari container sampel, pipet tetes, pipet volume, botol penyemprot, spatula, neraca analitik, gelas erlenmeyer dan

beaker glass. Alat analisis parameter lainnya sesuai dengan parameter yang ditentukan adalah sebagai berikut;

1. COD: *digester*
2. TSS: *furnace*, oven, cawan porselin, timbangan analitis, desikator, kertas saring.
3. pH: pH meter
4. Warna: spektrofotometer
5. Kekeruhan: turbidimeter
6. PV: erlenmeyer, kompor listrik
7. NH_4 : spektrofotometer
8. PO_4 : spektrofotometer
9. Penambahan kapur: *magnetic stirrer*, magnet

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang perlu dipersiapkan adalah lindi Rumah Kompos Keputran serta beberapa reagen untuk analisis parameter utama dan parameter tambahan.

a. Lindi

Lindi yang digunakan sebagai sampel berasal dari proses pencacahan dan pemadatan sampah yang mengalir menuju saluran drainase. Lindi tersebut dikategorikan sebagai lindi muda karena lindi terbentuk setiap hari dan tidak ada pengolahan lindi sehingga tidak ada lindi yang berumur tua di lokasi penelitian.

b. Bahan kimia yang digunakan

Koagulan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah FeCl_3 . Polyaluminum Chloride (PAC) merupakan polimer yang berfungsi sebagai koagulan. Oksidasi menggunakan ozon yang dihasilkan dari ozonizer. Selain itu, bahan kimia lainnya yang digunakan untuk analisis parameter utama dan tambahan adalah sebagai berikut:

1. Penambahan kapur: kapur CaCO_3 .
2. COD: Larutan Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$); Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat (H_2SO_4); Larutan Standar Fero Amonium Sulfat 0,125 N, indikator ferroin.
3. PV: Kalium Permanganat, H_2SO_4 4N, Asam Oksalat.

4. NH_4 : Larutan Garam Signet; Larutan Nessler
5. PO_4 : Larutan Ammonium Molybdate ($(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$); Larutan Klorid Timah (SnCl)

3.3. Variabel dan Parameter Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dosis koagulan, dosis polimer dan dosis ozon. Dosis awal koagulan yang digunakan untuk koagulan FeCl_3 adalah 0; 0,1; 0,25; 0,5; 1; dan 1,5 g/L. Dosis polimer PAC yang digunakan adalah 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; dan 2 g/L. Ozonasi dilakukan dengan dosis 3 g/jam dengan waktu penambahan ozon adalah 0, 6,12, 18, 24, 30, 36, 42, dan 48 jam

Parameter yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas dua jenis parameter yaitu parameter utama dan parameter tambahan. Parameter utama yang ditentukan yaitu COD, pH, kekeruhan, warna, TSS dan PV. Serta parameter tambahan yaitu menentukan $\text{PO}_4\text{-P}$, TKN, dan $\text{NH}_4\text{-N}$. Prosedur analisis parameter utama dan tambahan dapat dilihat pada LAMPIRAN A.

3.4. Pengambilan Sampel dan Perlakuan Sebelum Pengujian

Sampel diambil dari outlet truk kompaktor dikarenakan tidak adanya kolam penampungan lindi. Truk kompaktor dalam kondisi kosong saat pengambilan sampah di Rumah Kompos Keputran. Dengan demikian menunjukkan bahwa sampel tidak tercampur dengan sampah dari luar Rumah Kompos Keputran. Pengambilan lindi dilakukan pada pukul 10.00-13.00 WIB, yaitu selama proses pencacahan dan kompaksi berlangsung hingga didapatkan volume yang dibutuhkan. Mesin pencacah dan truk kompaktor dapat dilihat pada Gambar 3.4. Karena keterbatasan lokasi pengawetan sampel di lokasi uji, maka tidak dilakukan pengawetan sampel. Untuk mengantisipasi adanya perubahan fisik, kimia dan biologis pada sampel maka dilakukan uji karakteristik awal sebelum melakukan penelitian. Apabila terjadi perubahan kondisi hingga mencapai $\pm 10\%$,

maka dilakukan pengambilan sampel ulang. Setelah diketahui karakteristik awal sampel, kemudian sampel dimasukkan ke dalam *beaker* kaca untuk kemudian dianalisis.



Gambar 3.4 a) Mesin Pencacah Rumah Kompos Keputran
b) Truk Kompaktor

Sampel yang diambil pada penelitian ini adalah sebanyak 36 sampel yang terdiri dari 4 dosis kapur, 6 dosis koagulan, 18 dosis polimer, dan 8 sampel ozonisasi. Untuk setiap variabel yang diukur, sampel lindi yang diperlukan adalah 1 L sehingga volume lindi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 32 L lindi.

3.5. Analisis Karakteristik Awal

Analisis karakteristik awal dilakukan untuk mengukur parameter fisik dan kimia lindi yang digunakan sebagai parameter utama dan tambahan. Konsentrasi awal yang diperoleh pada penelitian pendahuluan selanjutnya digunakan untuk menentukan penyisihan yang dihasilkan oleh proses koagulasi dua tahap dan ozonisasi.

3.6. Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian ini, dilakukan penambahan kapur CaCO_3 . Penambahan kapur bertujuan untuk meningkatkan pH pada sampel sehingga mencapai pH yang diinginkan yaitu 6; 7 dan 7,5. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 500-600 rpm dan waktu pengadukan selama 15 menit hingga kapur dapat larut dalam lindi.

Penambahan kapur dilakukan secara langsung tanpa melalui proses pembuatan larutan kapur. Hal tersebut untuk memudahkan penambahan kapur karena dengan dosis yang cukup besar, maka akan menambah

3.7. Penelitian Utama

Penelitian utama terdiri atas tiga tahap, dengan tahap pertama yaitu untuk koagulasi satu tahap, tahap kedua untuk koagulasi dua tahap dan tahap ketiga untuk ozonisasi.

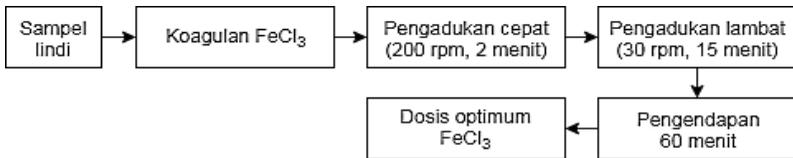
3.7.1 Penelitian Koagulasi Satu Tahap

Penelitian koagulasi satu tahap dilakukan untuk menentukan dosis optimum koagulan FeCl_3 . Dosis optimum yang didapatkan dari penelitian tahap pertama ini digunakan untuk proses koagulasi dua tahap. Sampel lindi dimasukkan ke dalam *beaker* yaitu masing-masing sebanyak 1 L ke dalam 6 *beaker*. Kemudian dilakukan penambahan kapur dan pengendapan selama 2 jam sebelum penambahan koagulan. Setelah proses peningkatan pH, kemudian ditambahkan 6 variasi dosis koagulan dan dilanjutkan dengan proses koagulasi pada *jar test* dengan kecepatan pengadukan 200 rpm selama 2 menit dan flokulasi dengan kecepatan pengadukan lambat 30 rpm selama 15 menit dan 60 menit pengendapan. Satu *beaker* digunakan sebagai kontrol dengan tidak melakukan penambahan koagulan namun dengan mekanisme pengadukan yang sama. Sampel diambil sebanyak 50 mL untuk analisis parameter untuk menentukan dosis optimum koagulan FeCl_3 . Dari data yang telah didapatkan, kemudian dilakukan penentuan dosis optimum FeCl_3 .

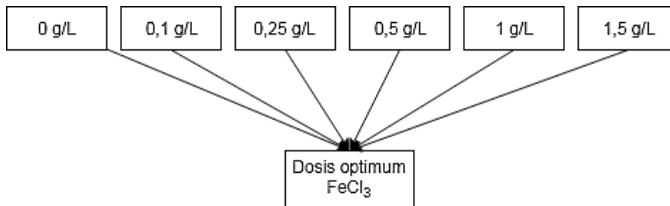
Selain penelitian koagulasi satu tahap dengan menggunakan FeCl_3 , penelitian koagulasi satu tahap juga dilakukan dengan PAC untuk mengetahui dosis optimum yang dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian koagulasi dua tahap. Dosis yang digunakan pada koagulasi satu tahap PAC adalah 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2 g/L. Pada penelitian ini mekanisme dan penentuan dosis koagulan sama dengan penelitian koagulasi satu tahap FeCl_3 . Skema penelitian

Koagulasi Satu Tahap dapat dilihat pada Gambar 3.5. Penentuan dosis optimum dapat dilihat pada Gambar 3.6

Penambahan koagulan dilakukan dalam bentuk serbuk, karena penambahan koagulan dengan dosis dalam bentuk larutan akan menambah volume air pengolahan sehingga tidak sesuai dengan volume pengolahan yang telah direncanakan. Namun penambahan koagulan akan lebih mudah apabila dilakukan dalam bentuk larutan apabila diterapkan di lapangan. Karena efisiensi waktu proses penimbangan. Apabila koagulan ditambahkan dalam bentuk larutan maka dapat dilakukan dengan menginjeksikan dengan alat.



Gambar 3.5 Skema Penelitian Koagulasi Satu Tahap

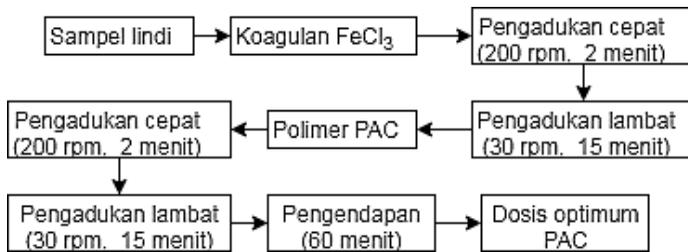


Gambar 3.6 Penentuan Dosis Optimum FeCl_3

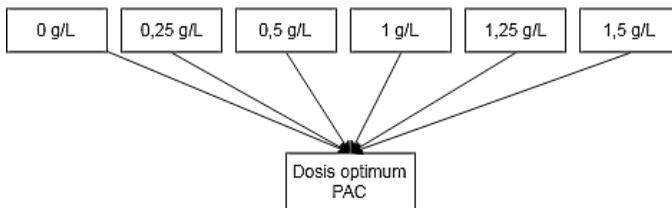
3.7.2 Penelitian Koagulasi Dua Tahap

Penentuan dosis optimum polimer PAC dimulai dengan pengaturan pH dengan kapur dilanjutkan dengan penambahan dosis optimum FeCl_3 ke dalam 6 *beaker*. Kemudian, masing-masing *beaker* dilakukan pengadukan cepat dan pengadukan lambat tanpa melalui pengendapan masing-masing *beaker* ditambahkan PAC dengan dosis yang berbeda-beda yaitu 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; dan 1,5 g/L. Satu *beaker* digunakan sebagai kontrol dengan tidak menambahkan polimer namun dengan perlakuan pengadukan yang sama. Mekanisme

selanjutnya sama dengan penelitian koagulasi satu tahap dan kemudian dilanjutkan dengan penentuan dosis optimum koagulan PAC. Skema penelitian pada proses Koagulasi Dua Tahap, dapat dilihat pada Gambar 3.7. Penentuan dosis optimum PAC dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Skema Penelitian Koagulasi Dua Tahap

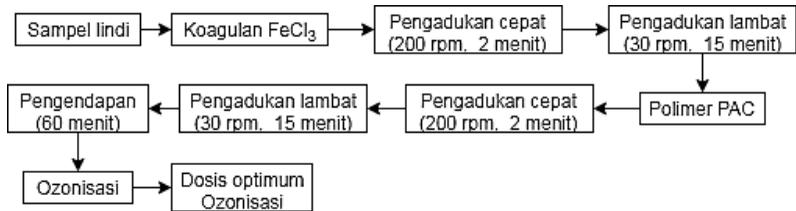


Gambar 3.8 Penentuan Dosis Optimum PAC

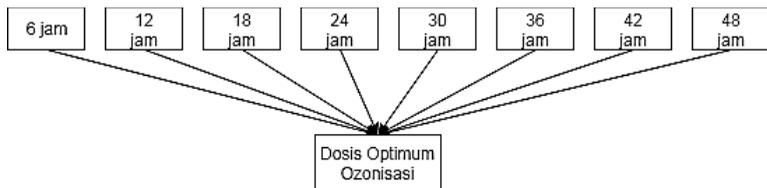
3.7.3 Penelitian Oksidasi

Dosis optimum FeCl_3 dan PAC digunakan untuk penelitian dosis optimum ozon pada proses oksidasi dengan melakukan variasi terhadap waktu penambahan ozon. Sampel sebanyak 1L dimasukkan ke dalam 6 *beaker*. Kemudian ditambahkan FeCl_3 sesuai dengan dosis optimum yang diperoleh pada penelitian koagulasi satu tahap dilanjutkan dengan pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Setelah pengadukan lambat koagulan FeCl_3 telah selesai, ditambahkan dosis optimum PAC dan kemudian dilakukan pengadukan cepat kembali dilanjutkan dengan pengadukan lambat dan sedimentasi.

Variasi dosis yang digunakan didapatkan dari waktu penambahan ozon dengan kapasitas 3 g/jam sesuai dengan spesifikasi generator pada ozon untuk proses oksidasi selama 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 jam untuk 1 L lindi. Penambahan ozon dilakukan dengan menggunakan selang dan diffuser yang terhubung dengan ozonizer.



Gambar 3.9 Skema Penelitian Oksidasi



Gambar 3.10 Penentuan Dosis Optimum Ozon

3.8. Metode Analisis Sampel dan Data

Pengambilan sampel uji dilakukan di kedalaman 2 cm di bawah permukaan air pada *beaker* uji dengan menggunakan pipet. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini terdiri dari parameter utama dan parameter tambahan. Analisis parameter utama dilakukan setiap perlakuan penambahan koagulan dan oksidasi terhadap seluruh sampel. Analisis parameter tambahan dilakukan terhadap 3 dosis yang memberikan nilai penurunan tertinggi. Metode analisis parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Metode Analisis Parameter

No	Analisis	Metode	Jumlah analisis	Standar
1	pH	pH meter	128	Standard Method 4500
2	Kekeruhan	Nephelometri		Standard Method 2130
3	Warna	Spektrofotometri	128	Standard Method 2120
4	<i>Total Suspended Solid (TSS)</i>	Metode Gravimetri		Standard Method 2540
5	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	<i>Closed Reflux</i>		Standard Method 5220
6	<i>Total Kjeldhal Nitrogen (TKN)</i>	Kjeldhal		Standard Method 4500-N(org)
7	Nitrogen-amonium	Spektrofotometri		Standard Method 4500-NH ₃
8	Fosfat	Kolorimetri		Standard Method 4500-P

3.9. Analisis dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan pada penelitian ini mencakup:

1. Variasi dosis koagulan, dosis flokulan pada koagulasi dua tahap dalam menurunkan beban pencemar lindi.
2. Kemampuan rangkaian proses koagulasi-flokulasi-oksidasi dalam menurunkan konsentrasi organik dan anorganik pada lindi
3. Dosis penambahan ozon yang digunakan untuk menentukan proses paling efektif untuk menurunkan konsentrasi beban pencemar pada lindi
4. Pengolahan data dengan analisis statistik.

Grafik yang didapatkan dari hasil analisis digunakan untuk menentukan dosis optimum. Dosis optimum merupakan dosis

pada titik optimum yang memberikan penurunan konsentrasi COD. Titik optimum merupakan titik efisiensi tertinggi penurunan konsentrasi COD pada lindi oleh variabel yang digunakan sebelum mengalami penurunan efisiensi atau efisiensi tidak mengalami perubahan yang signifikan. Signifikansi pengaruh proses terhadap parameter utama di analisis dengan metode Anova-One Way.

3.10. Perumusan Kesimpulan

Dari analisis data, maka dapat disimpulkan hasil penelitian berdasarkan rumusan masalah dan tujuan yang telah dibuat, diantaranya adalah dosis optimum koagulan FeCl_3 , dosis optimum polimer PAC, dosis optimum ozon, perbandingan dosis dengan persen penyisihan konsentrasi beban pencemar lindi dengan metode koagulasi dua tahap dan oksidasi, serta perbandingan hubungan penambahan variabel penelitian terhadap pH pengolahan.

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Karakteristik Awal Lindi

Analisis karakteristik awal bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari lindi sampah sayuran Rumah Kompos Keputran yang digunakan pada penelitian ini. Karakteristik yang dianalisis adalah COD, pH, warna, kekeruhan, PV dan TSS sebagai parameter utama. Sedangkan untuk parameter tambahan adalah $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ dan TKN. Hasil analisis karakteristik awal lindi Rumah Kompos Keputran dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Karakteristik Awal Lindi Rumah Kompos Keputran

Parameter	Satuan	Nilai
COD	mg/L	18.800,00
Kekeruhan	NTU	6.500,00
Warna	PtCo	841,67
TSS	mg/L	3.930,00
PV	mg/L	
pH		5,4
$\text{NH}_3\text{-N}$	mg/L	657,69
$\text{PO}_4\text{-P}$	mg/L	48,04
BOD	mg/L	2.990,00

Lindi yang digunakan sebagai sampel dianalisis terlebih dahulu setiap akan melakukan proses koagulasi. Hal tersebut dikarenakan jenis serta kuantitas sampah yang masuk ke Rumah Kompos Keputran berubah-ubah setiap harinya, menyebabkan konsentrasi pencemar juga berbeda. Konsentrasi awal menentukan penurunan bahan pencemar dari proses yang dilakukan, sehingga apabila tidak dilakukan analisis karakteristik awal setiap akan memulai analisis memberikan hasil yang tidak valid pada penurunan konsentrasi atau %penyisihan.

4.2. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan ini terdiri atas satu tahap percobaan, yaitu penambahan kapur.

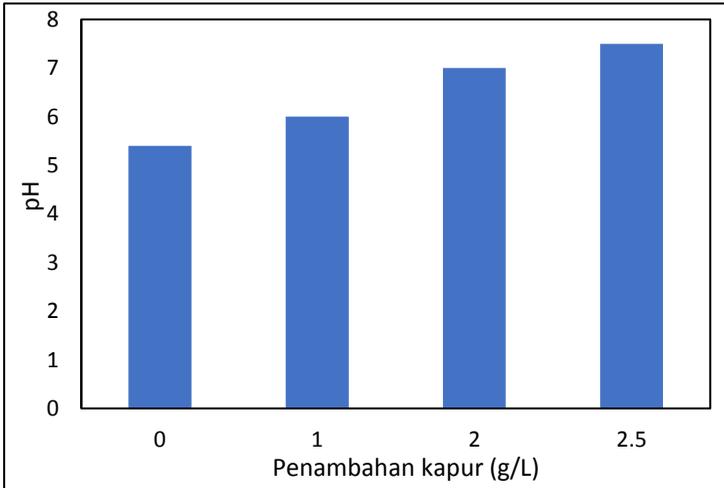
4.2.1 Penambahan Kapur

Hasil analisis karakteristik awal lindi rumah kompos keputran menunjukkan bahwa lindi bersifat asam dengan pH 5,4. Sedangkan, berdasarkan penelitian terdahulu dengan menggunakan koagulan FeCl_3 bekerja secara optimum pada pH netral (5-8,5) (Crittenden *et al.*, 2012). Selain itu, pH asam dapat mengganggu proses koagulasi oleh FeCl_3 karena menurunkan jumlah presipitat hidroksida yang terbentuk (Zhang *et al.*, 2008). Peningkatan pH juga untuk menjaga nilai pH agar tidak mengalami penurunan secara drastis setelah penambahan koagulan FeCl_3 dan PAC. Sehingga pada parameter pH tetap dapat memenuhi baku mutu setelah keseluruhan proses telah dilakukan.

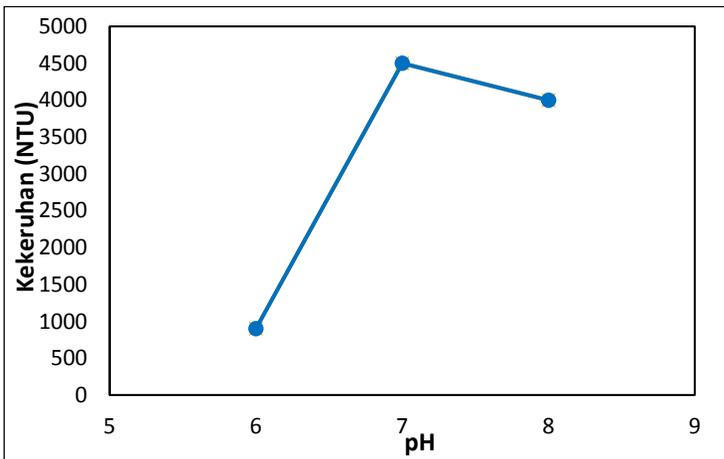
Pengaturan pH bertujuan untuk menentukan pH yang dapat meningkatkan efektivitas penurunan konsentrasi pencemar dengan menggunakan koagulan FeCl_3 . pH berpengaruh pada alkalinitas yang diperlukan untuk pembentukan presipitat ketika bereaksi dengan koagulan (Singh, 2005). Pengaturan pH menjadi 6; 7; dan 7,5 dilakukan dengan menggunakan serbuk kapur. Serbuk kapur bersifat basa dan dapat menaikkan pH sampel. Penambahan kapur dilakukan di *magnetic stirrer* dan pengadukan berlangsung selama 15 menit setiap penambahan kapur agar kapur dapat larut dalam lindi.

Serbuk kapur yang diperlukan yaitu sebanyak 1 g/L; 2 g/L dan 2,5 g/L untuk mencapai pH 6, 7 dan 7,5 dari pH awal 5,4. Kebutuhan penambahan kapur hingga pH 7,5 dapat dilihat pada Gambar 4.1. Peningkatan pH ketika dilakukan penambahan kapur terjadi akibat reaksi antara kapur CaCO_3 dengan asam sesuai dengan reaksi pada Persamaan 2.1; 2.2; dan 2.3. Penambahan kapur selain mengakibatkan perubahan nilai pH, juga meningkatkan kekeruhan pada lindi sesaat

setelah penambahan kapur dilakukan. Grafik hubungan antara pH dengan kekeruhan dapat dilihat pada Gambar 4.2.

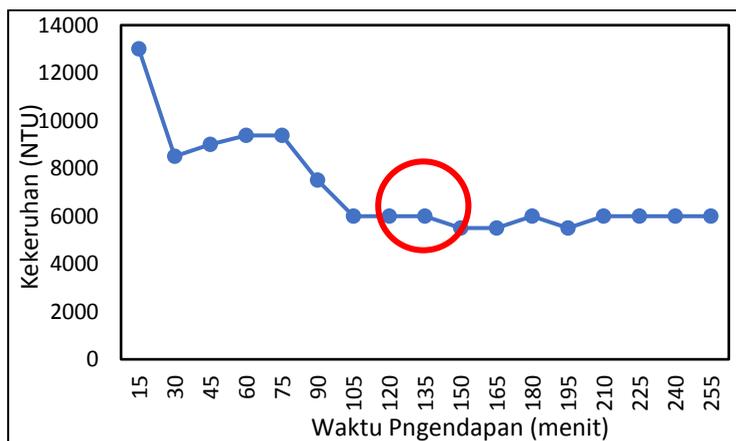


Gambar 4.1 Hubungan Penambahan Kapur dengan pH



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Penambahan Kapur dengan Kekeruhan

Penambahan kapur sebanyak 1 g/L mampu meningkatkan kekeruhan dari 900 NTU menjadi 4.500 NTU atau terjadi peningkatan sebesar 46,15% pada akhir proses pengadukan. Untuk menurunkan kekeruhan yang disebabkan oleh penambahan kapur maka diperlukan proses pengendapan sehingga kekeruhannya stabil, kekeruhan tidak mengalami perubahan yang signifikan atau tetap (*steady*). Pada analisis waktu pengendapan, pengaturan pH yang digunakan adalah pH 7. Pemilihan pH 7 dikarenakan pada pH ini, koagulasi dengan koagulan FeCl_3 dapat berlangsung dengan optimal, jumlah penambahan kapur dan produksi lumpur yang tidak sebanyak penambahan kapur untuk pH 8. Sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Rui *et al.* (2011), pH yang digunakan untuk mendapatkan persentase penyisihan yang optimal oleh koagulan FeCl_3 adalah pH 7.



Gambar 4.3 Waktu Pengendapan

Waktu pengendapan yang diperlukan pada pengaturan pH 7 yaitu selama 2 jam sesuai dengan Gambar 4.3. Tabel yang menunjukkan hasil analisis kekeruhan untuk penentuan waktu pengendapan dapat dilihat pada LAMPIRAN B (B.1). Penambahan kapur menghasilkan lumpur setelah 2 jam pengendapan. Rata-rata jumlah endapan yang dihasilkan adalah 127 mL/L.

4.2.2 Penelitian Koagulasi Satu Tahap (FeCl₃)

Penelitian Koagulasi Satu Tahap FeCl₃ dilakukan untuk menentukan dosis optimum koagulan yang akan digunakan pada penelitian selanjutnya. Penelitian dilakukan dengan memberikan variasi dosis koagulan FeCl₃ pada sampel dengan pH 7. Variasi dosis koagulan yaitu 0; 0,1; 0,25; 0,5; 1; dan 1,5 g/L. Pada penambahan 5 dosis FeCl₃ terhadap lindi, serta dosis 0 mg/L sebagai kontrol, terjadi penurunan nilai permanganate (PV).

Bahan organik yang terdapat pada sampel ditentukan melalui nilai permanganat/*permanganate value* (PV) dan COD. PV merupakan nilai yang menunjukkan adanya kandungan zat organik yang mudah teroksidasi pada air yang ditentukan dengan Kalium Permanganat (KMnO₄). Kemampuan oksidasi oleh permanganat bervariasi tergantung senyawa-senyawa yang terkandung dalam air. Namun, PV tidak dapat menggambarkan keseluruhan zat organik dan kebutuhan oksigen sampel tersebut karena tidak cukup mampu mengoksidasi bahan organik secara sempurna. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai permanganat yang memberikan hasil lebih rendah daripada nilai BOD

Sedangkan COD merupakan total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar didegradasi (*non-biodegradable*) menjadi CO₂ dan H₂O. Oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan untuk mengoksidasi sampel. Namun asam lemak dan hidrokarbon tidak dapat dioksidasi dengan kalium dikromat (Effendi, 2012). Nilai permanganat mampu memprediksi nilai COD dan BOD. Nilai permanganat mampu mengoksidasi hanya 40% senyawa organik yang mampu teroksidasi dengan pengukuran COD. Sedangkan untuk nilai BOD adalah sebesar 1,5 kali lebih besar dibandingkan dengan PV. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut ini:

$$PV = COD * 0,4 \text{ atau } COD = PV * 2,5$$

$$PV = BOD * 0,5 \text{ atau } BOD = PV * 1$$

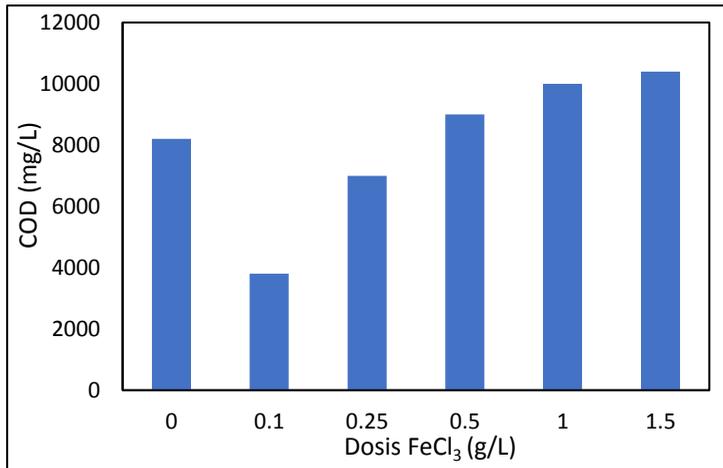
Hubungan antara penambahan dosis $FeCl_3$ dengan nilai permanganat (PV) dapat dilihat pada Gambar 4.5. dan LAMPIRAN B.

Koagulasi bertujuan untuk menurunkan kandungan organik dan kandunga anorganik, terutama yang diukur dengan parameter COD. Dosis optimum pada masing-masing penelitian ditentukan dengan menentukan penurunan pada titik optimum grafik hubungan antara penambahan dosis dengan masing-masing parameter, terutama parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD). COD merupakan parameter yang menunjukkan senyawa organik *biodegradable* dan *non-biodegradable* yang dapat dioksidasi yang ditentukan dari total oksigen, oleh $K_2Cr_2O_7$, yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa tersebut menjadi CO_2 dan H_2O (Effendi, 2012).

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai koagulasi menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi COD menunjukkan penurunan pada pH, kekeruhan, TSS dan warna hingga diperoleh dosis optimum (Tatsi *et al.*, 2003). Kemudian pada dosis yang lebih besar dari dosis optimum menunjukkan peningkatan pada kekeruhan dan TSS yang disebabkan oleh koagulan berlebih yang tidak ikut terikat membentuk flok, sehingga tersebar merata ke seluruh sampel.

Pada grafik yang telah disajikan pada Gambar 4.4, hubungan antara penambahan dosis $FeCl_3$ dengan COD menunjukkan penurunan yang signifikan pada penambahan $FeCl_3$ dengan dosis 0,1 g/L. Konsentrasi yang dihasilkan yaitu sebesar 3.800 mg/L dari konsentrasi awal 10.600 mg/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan dosis $FeCl_3$ yang rendah dapat menghasilkan penurunan konsentrasi pencemar yang baik. Persentase penurunan konsentrasi pencemar oleh besi (Fe) meningkat hingga mencapai titik optimum, kemudian mengalami penurunan secara perlahan (Rui *et al.*, 2012). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tatsi *et al.* (2003), dosis optimum dengan konsentrasi awal COD sebesar 5.350

mg/L adalah 1,5 mg/L dengan penurunan yang dihasilkan sebesar 75%.

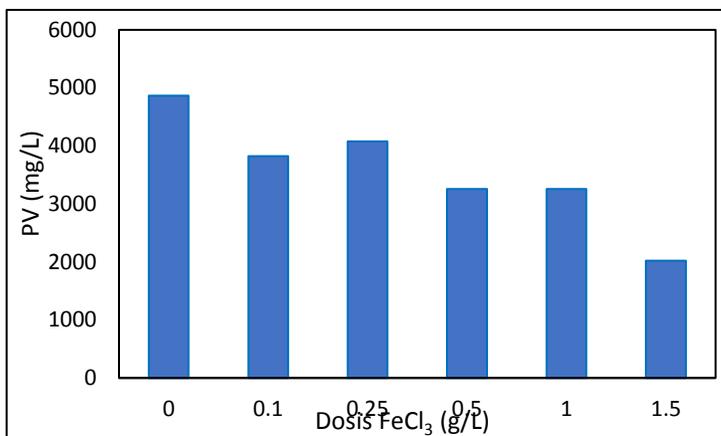


Gambar 4.4 Hubungan Dosis FeCl₃ dengan COD

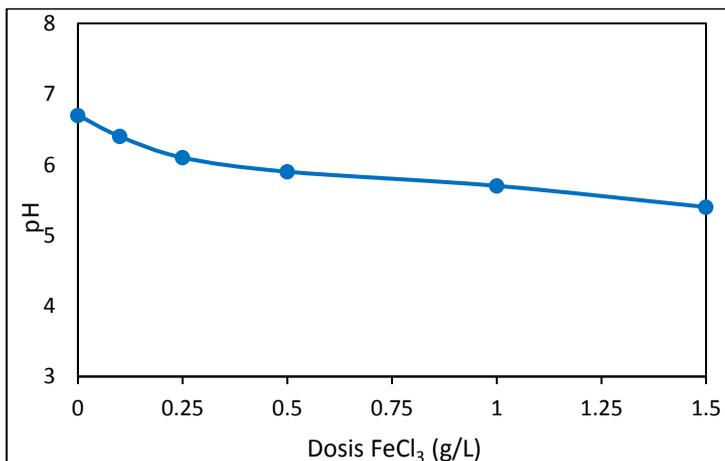
Berdasarkan grafik hubungan penambahan dosis FeCl₃ dengan PV menunjukkan bahwa semakin besar dosis FeCl₃ yang ditambahkan maka semakin turun nilai PV pada lindi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa koagulan FeCl₃ dapat menurunkan kandungan organik pada lindi. Persentase penyisihan terbesar pada parameter PV yaitu sebesar 61% diperoleh dari penambahan FeCl₃ dengan dosis 1,5 g/L yaitu dengan nilai akhir 2.022 mg/L dari 5.245 mg/L. Namun meskipun penurunan terbesar pada parameter PV adalah 1,5 g/L, dosis optimum ditentukan dari penurunan parameter COD. Sedangkan dosis 1,5 g/L dinyatakan sebagai penambahan dosis dengan persentase penyisihan maksimum.

Penambahan dosis FeCl₃ yang semakin besar menyebabkan turunnya pH. Hal tersebut dikarenakan FeCl₃ bersifat asam dan mengonsumsi alkalinitas yang terdapat pada lindi untuk membentuk presipitat, sehingga alkalinitas pada lindi berkurang dan menyebabkan turunnya pH (S. *et al.*, 2017). Penurunan pH menjadi asam mengakibatkan terjadinya proses

hidrolisis yang menghasilkan pembentukan presipitat logam hidroksida dengan rumus kimia $\text{Me}(\text{OH})_3$. Oleh karena itu, semakin besar dosis FeCl_3 yang ditambahkan, pH akhir juga semakin rendah. Grafik hubungan penambahan dosis FeCl_3 dengan pH ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Hubungan Dosis FeCl_3 dengan PV



Gambar 4.6 Hubungan Dosis FeCl_3 dengan pH

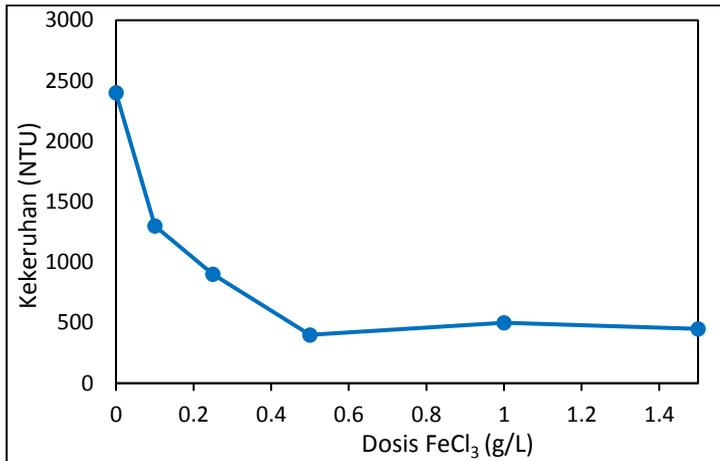
Pada parameter kekeruhan, penambahan dosis 1 g/L dan 1,5 g/L tidak menunjukkan perubahan kekeruhan secara signifikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa titik optimum penambahan dosis FeCl_3 untuk parameter kekeruhan adalah 0,5 g/L FeCl_3 dengan nilai kekeruhan 400 NTU dari kekeruhan awal adalah 3.200 NTU. Tabel mengenai hubungan antara penambahan dosis FeCl_3 dengan kekeruhan dapat dilihat pada LAMPIRAN B. Grafik yang menunjukkan hubungan antara dosis koagulan dan kekeruhan dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Partikel yang menyebabkan kekeruhan terperangkap oleh flok yang sedang tumbuh dan dapat dihilangkan dari air melalui proses pengendapan. Proses ini disebut sebagai “*swept flocculation*” atau penyapuan flok karena flok yang terdapat di dalam air ikut terendapkan bersama dengan presipitat hidroksida amorf yang terbentuk karena penambahan koagulan (Gregory dan Duan, 2001).

Pada sampel dengan konsentrasi partikel yang tinggi, *swept flocculation* terjadi antara volume flok yang sebagian besar berasal dari partikel dan flokulasi lebih efektif terjadi pada dosis koagulan yang lebih rendah. Kekeruhan yang tinggi umumnya membutuhkan dosis koagulan yang rendah karena besarnya kemungkinan terjadi tumbukan, sedangkan kekeruhan rendah umumnya membutuhkan dosis koagulan yang tinggi, karena jarak antar partikel yang menjauh. Ukuran partikel yang tidak seragam jauh lebih mudah untuk di koagulasi. Hal ini karena pusat aktif lebih mudah terbentuk pada partikel kecil, sedangkan partikel yang besar mempercepat terjadinya pengendapan. Kombinasi dari kedua jenis partikel ini menyebabkan semakin mudahnya proses koagulasi flokulasi (Susanti dan Hartati, 2003; Winarni, 2003)

Penambahan dosis yang lebih besar dari dosis optimum menyebabkan muatan pada permukaan partikel berubah menjadi positif. Hal tersebut dikarenakan proses adsorpsi yang terus menerus terjadi antara muatan mononuklear dan polinuklear besi (II) klorida dengan muatan permukaan partikel. Sehingga pada akhirnya koloid yang terbentuk bermuatan

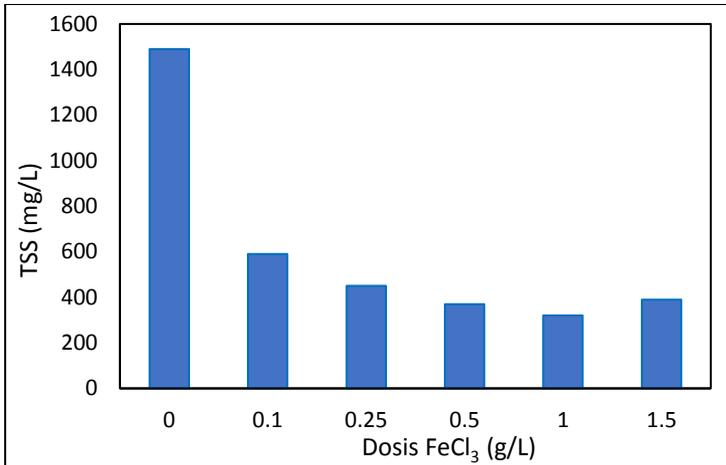
positif dan tidak dapat dihilangkan dengan flokulasi perikinetik Hal tersebut berdampak pada peningkatan konsentrasi pencemar serta kekeruhan dan TSS. (Rui *et al.*, 2012).



Gambar 4.7 Hubungan Dosis FeCl₃ dengan Kekeruhan

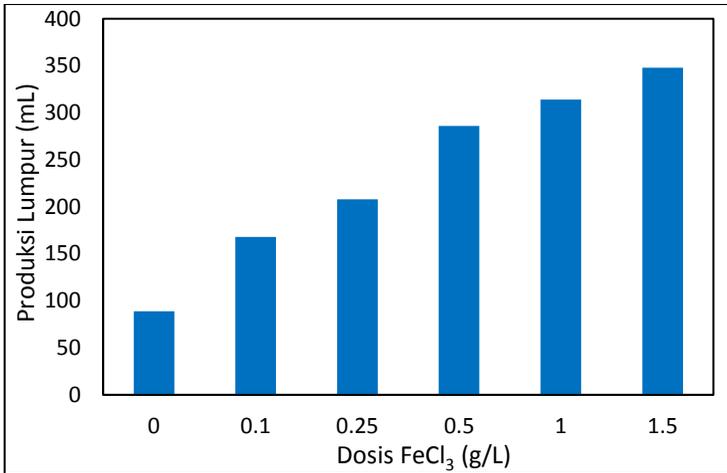
Proses koagulasi dengan FeCl₃ menghasilkan lumpur endapan. Proses koagulasi dengan penambahan koagulan akan menghasilkan lumpur yang terbentuk dari logam hidroksida yang bereaksi dengan senyawa koloid (senyawa organik dan anorganik) serta yang menyebabkan warna (seperti asam humat asam fulvat), sehingga dapat menurunkan kedua parameter tersebut (Gebbie, 2006). Lumpur yang dihasilkan saat pengolahan fisik-kimia bergantung jumlah organik dan anorganik yang terkandung pada sampel lindi dan juga dosis koagulan yang ditambahkan.

Berikut merupakan grafik yang menunjukkan hubungan antara penambahan FeCl₃ dengan konsentrasi TSS. Penambahan dosis FeCl₃ yang semakin besar menyebabkan turunnya konsentrasi TSS yang terdapat pada lindi. Pada dosis optimum FeCl₃ yaitu 0,1 g/L menurunkan nilai TSS dari 3.904 mg/L menjadi 549 mg/L.

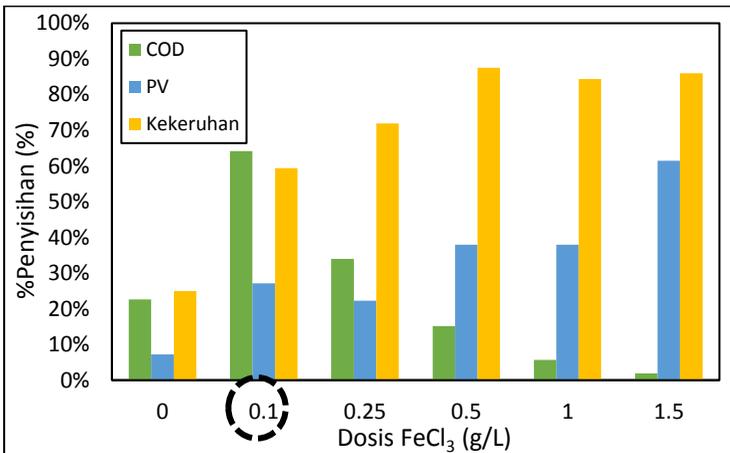


Gambar 4.8 Hubungan dosis FeCl_3 dengan TSS

Produksi lumpur endapan dapat dilihat pada Gambar 4.9. dan LAMPIRAN B (B.2). Berdasarkan grafik tersebut, penambahan koagulan FeCl_3 menghasilkan produksi lumpur yang semakin banyak seiring dengan penambahan dosis koagulan FeCl_3 . Seperti yang disampaikan dalam penelitian yang dilakukan oleh Ndana dan Vyas (2014), semakin banyak dosis koagulan yang ditambahkan maka semakin banyak lumpur yang diproduksi. Secara visual lumpur yang terbentuk akibat proses koagulasi dengan koagulan FeCl_3 memiliki karakteristik padat dan berwarna coklat kemerahan. Semakin besar dosis FeCl_3 yang ditambahkan maka semakin banyak lumpur yang melayang dan warna semakin merah.



Gambar 4.9 Hubungan Dosis FeCl_3 dengan Produksi Lumpur



Gambar 4.10 Hubungan Dosis FeCl_3 dengan COD, PV dan Kekeruhan
 Berdasarkan pada grafik hubungan dosis FeCl_3 dengan %penyisihan parameter COD, PV dan kekeruhan pada Gambar 4.10 dan LAMPIRAN B (B.2) menunjukkan bahwa pada dosis 0,1 g/L memberikan peningkatan %penyisihan yang signifikan untuk ketiga parameter. Kemudian mengalami penurunan pada konsentrasi COD dan PV sedangkan

mengalami peningkatan untuk kekeruhan. Pada parameter kekeruhan, nilai kekeruhan stabil setelah penambahan dosis 0,5 g/L atau pada dosis yang lebih besar setelah 0,5 g/L. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa dosis optimum koagulan FeCl_3 adalah sebesar 0,1 g/L yaitu mencapai 64,9% dan 59% untuk COD dan kekeruhan serta 27% untuk PV.

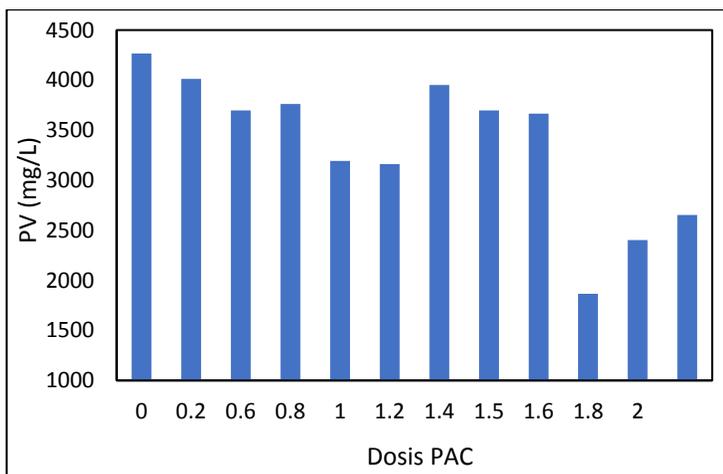
Koagulan FeCl_3 tidak dapat menurunkan parameter warna karena dengan penambahan FeCl_3 yang berupa serbuk berwarna coklat kemerahan berdampak pada warna lindi yang juga menjadi berwarna merah apabila dilakukan pengamatan secara visual. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan dosis optimum koagulan menyebabkan peningkatan warna yaitu dari 818 Pt-Co menjadi 1.109 Pt-Co. Hal tersebut menunjukkan bahwa FeCl_3 tidak dapat berperan dengan baik untuk menurunkan parameter warna. Pada penelitian yang dilakukan oleh Wirdanani *et al.* (2017), koagulasi dengan FeCl_3 pada lindi berumur tua mampu menurunkan parameter warna dari 1.142 Pt-Co menjadi 461 Pt-Co dengan penambahan dosis FeCl_3 sebesar 12 g/L.

Selain itu, pada parameter NH_4 yang dianalisis pada hasil koagulasi dengan dosis optimum menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi amonia (NH_4^+) dan Total Kjeldahl Nitrogen (TKN). Pada penambahan dosis optimum koagulan FeCl_3 yaitu 0,1 g/L, konsentrasi amonium mengalami peningkatan yaitu dari 205,16 mg/L menjadi 206,31 mg/L. Parameter TKN mengalami penurunan nilai dari 496,1 mg/L menjadi 223,4 mg/L. Sedangkan untuk parameter fosfat mengalami penurunan dari 104 mg/L menjadi 62,8 mg/L. Berdasarkan hasil analisis tersebut diketahui bahwa FeCl_3 mampu digunakan sebagai koagulan untuk menurunkan atau menghilangkan parameter TKN dan Fosfat namun kurang baik untuk parameter NH_4 . Penurunan pada parameter NH_4 , PO_4 dan TKN disebabkan karena koagulasi dengan FeCl_3 mampu mengikat senyawa anorganik pada saat proses koagulasi dan flokulasi sehingga ketiga parameter yang merupakan senyawa organik dapat ikut terendapkan. Berdasarkan penelitian yang

dilakukan oleh Kumar dan Bishnoi (2015) menunjukkan hasil yang berbeda, yaitu dengan penambahan koagulan FeCl_3 memberikan dampak yang negatif pada limbah dengan konsentrasi awal fosfat sebesar 15,27 mg/L.

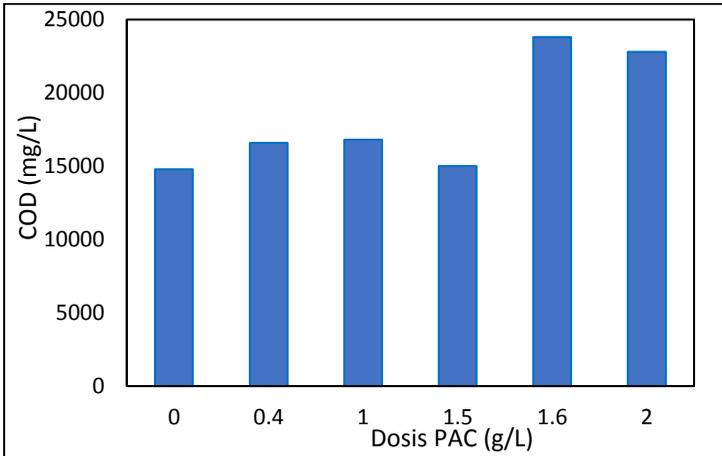
4.2.3 Koagulasi Satu Tahap Polimer PAC

Pada penelitian ini menggunakan polimer PAC sebagai koagulan pada koagulasi satu tahap. Polimer yang digunakan adalah PAC dengan dosis 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; dan 2. Dari hasil koagulasi dengan menggunakan PAC, dapat menurunkan nilai COD, PV dan pH. Penurunan konsentrasi pencemar dengan menggunakan polimer PAC sebagai koagulan pada proses koagulasi satu tahap dapat dilihat pada Gambar 4.11

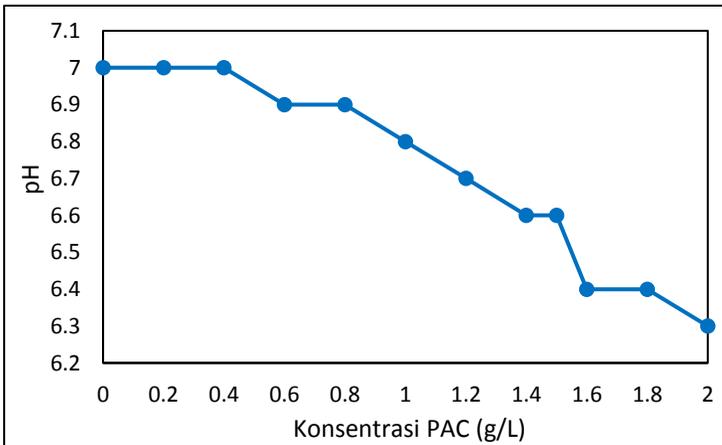


Gambar 4.11 Hubungan Dosis PAC dengan PV

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.11 dan tabel pada 0, penurunan nilai PV terbesar diperoleh sebesar 56% dengan konsentrasi polimer 1,6 g/L. Sedangkan pada konsentrasi 0,4 g/L terjadi peningkatan nilai PV. Pada konsentrasi COD, terjadi penurunan paling tinggi diperoleh sebesar 64% yaitu dengan penambahan dosis PAC sebesar 1.5 g/L.



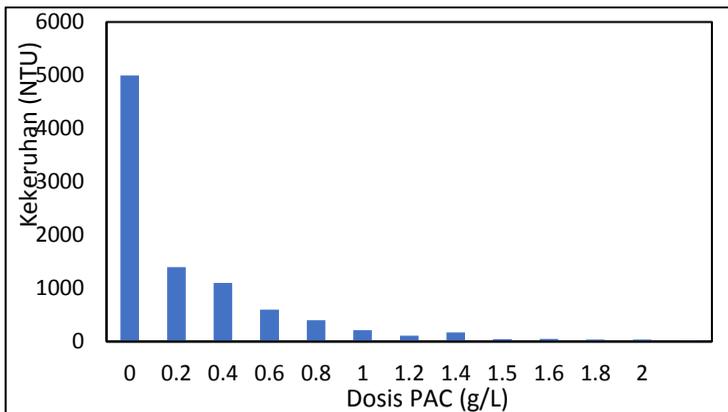
Gambar 4.12 Hubungan Dosis PAC dengan Konsentrasi COD



Gambar 4.13 Hubungan Dosis PAC dengan pH

Grafik dan tabel hubungan penambahan konsentrasi polimer dengan pH pada Gambar 4.13 dan LAMPIRAN B (B.4) menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi PAC yang ditambahkan pada proses koagulasi maka semakin besar pula penurunan pH. pH akhir pada konsentrasi PAC sebesar 2 g/L,

adalah 6,3. Hasil yang diberikan pada penelitian ini menunjukkan konsistensi dengan hasil yang diberikan pada penelitian yang dilakukan oleh Winarni (2003) yang menunjukkan bahwa pada pH > 7, PAC mampu memberikan penurunan kekeruhan yang baik. Struktur polimer yang terbentuk pada presipitat hasil koagulasi dengan PAC dapat membantu menjerat partikel koloid untuk menggumpal. Sehingga dapat membantu penurunan pada parameter kekeruhan mencapai 80%.



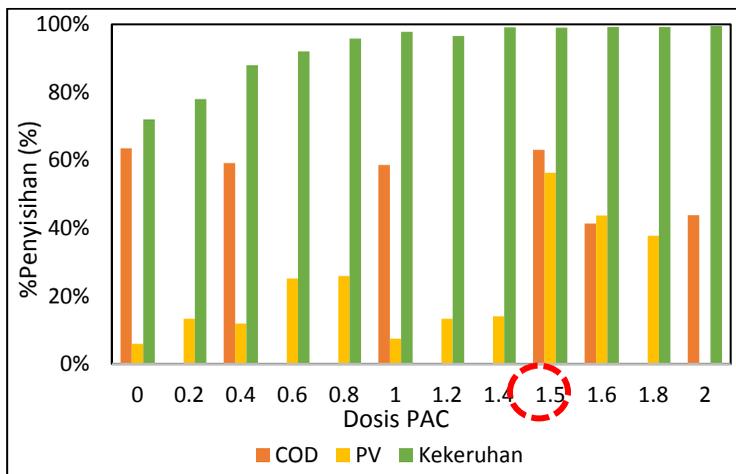
Gambar 4.14 Hubungan Dosis PAC dengan Kekeruhan

Semakin besar penambahan polimer PAC sebagai koagulan menurunkan kekeruhan hingga mencapai 26 NTU dari kekeruhan awal 5000 NTU untuk konsentrasi PAC sebesar 2 g/L. Namun dosis 1 g/L merupakan dosis optimum yaitu dosis yang setelah penambahan lebih banyak dosis tidak menghasilkan perubahan yang signifikan atau mengalami penurunan kekeruhan telah mencapai kestabilan.

Grafik hubungan antara penambahan dosis polimer PACI sebagai koagulan pada Gambar 4.15 serta pada tabel yang terdapat pada LAMPIRAN B (B.4) menunjukkan bahwa penambahan PAC sebagai koagulan memberikan %penyisihan yang baik terhadap kekeruhan dan juga COD. Namun, lumpur yang dihasilkan dengan penambahan PAC

sebagai koagulan cukup banyak, sehingga dinilai tidak ekonomis apabila diterapkan pada pengolahan lindi Rumah Kompos Keputran.

Persentase penyisihan parameter COD, PV dan kekeruhan dapat dilihat pada Gambar 4.15. Grafik tersebut menunjukkan bahwa 1,5 g/L polimer PAC merupakan dosis optimum pada koagulasi satu tahap. Hal tersebut dapat diketahui dari penurunan %penyisihan COD dan PV yang cenderung menurun pada dosis 1,6 g/L. Kekeruhan cenderung stabil setelah pemberian dosis yang lebih besar dari 1,5 g/L yaitu mencapai 99%.



Gambar 4.15 Hubungan Dosis PAC dengan COD, Kekeruhan dan PV

4.2.4 Penelitian Koagulasi Dua Tahap (PAC)

Koagulasi dua tahap merupakan proses lanjutan dari koagulasi satu tahap dengan koagulan $FeCl_3$. Penambahan koagulan pembantu dapat meningkatkan pengendapan dari air yang telah melalui proses flokulasi untuk meningkatkan kinerja. Dosis PAC untuk penentuan dosis optimum adalah 0; 0,5; 0,75; 1; 1,25; dan 1,5 g/L. Polimer anorganik memiliki kelebihan dibandingkan dengan koagulan alum atau besi (II) klorida

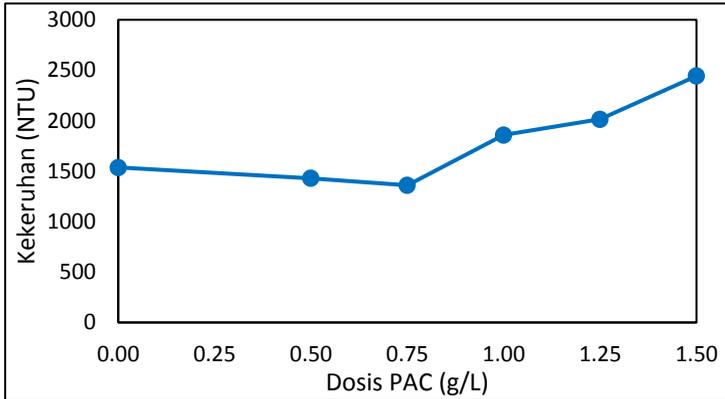
untuk menurunkan kekeruhan pada air dengan suhu rendah atau alkalinitas rendah (Oregon Health Authority, 2019).

Dosis koagulan FeCl_3 yang digunakan merupakan dosis optimum FeCl_3 yang telah diperoleh yaitu sebesar 0.1 g/L. Koagulasi dua tahap dilakukan dengan menambahkan polimer PAC dengan koagulasi 200 rpm selama 2 menit, flokulasi 30 rpm selama 15 menit dan pengendapan selama 1 jam. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yu *et al.* (2011), koagulasi dua tahap dilakukan dengan mengatur kecepatan pengadukan 200 rpm selama 1 menit untuk pengadukan cepat kemudian 50 rpm selama 10 menit untuk pengadukan lambat. Kecepatan kemudian ditambahkan lagi menjadi 200 rpm selama 1 menit untuk memecah flok dan 50 rpm selama 10 menit untuk menumbuhkan kembali flok. Penambahan dosis pada koagulasi tahap kedua dapat dilakukan saat setengah jalan pemecahan flok saat pengadukan cepat kedua (misal: setelah 30 detik pengadukan cepat)

Kekeruhan yang dihasilkan dari penambahan PAC dengan dosis yang berbeda memberikan hasil semakin besar dosis yang diberikan maka kekeruhan yang dihasilkan meningkat. Pada pemberian dosis 0,5 dan 0,75 g/L, kekeruhan menurun meskipun dengan selisih yang hanya sedikit berbeda dari sebelum ditambahkan PAC yaitu 1.429 NTU dan 1.360 NTU dari 1.580 NTU atau sebesar 9,6% dan 13,9%. Grafik yang menunjukkan hubungan penambahan dosis PAC dengan kekeruhan dapat dilihat pada Gambar 4.16.

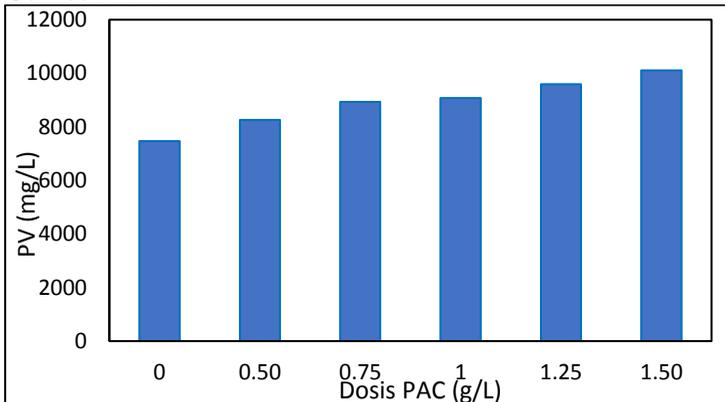
Penambahan dosis yang lebih besar dari 0,75 g/L meningkatkan kekeruhan pada sampel. Hal ini dapat terjadi jika penambahan koagulan PAC telah mencapai dosis optimum. Kekeruhan dapat mengalami peningkatan pada saat koagulasi yang disebabkan oleh penambahan senyawa kimia yang tidak mudah larut, yaitu penambahan bahan kimia koagulan. Penelitian yang telah dilakukan oleh Zand dan Hoveidi (2015), pada dosis optimum PAC 20 mg/L untuk kekeruhan awal 1000 NTU. Kemudian menurun ketika ditambahkan dosis PAC 40

mg/L dan 50 mg/L. Hal tersebut dikarenakan PAC yang telah mencapai dosis optimum.



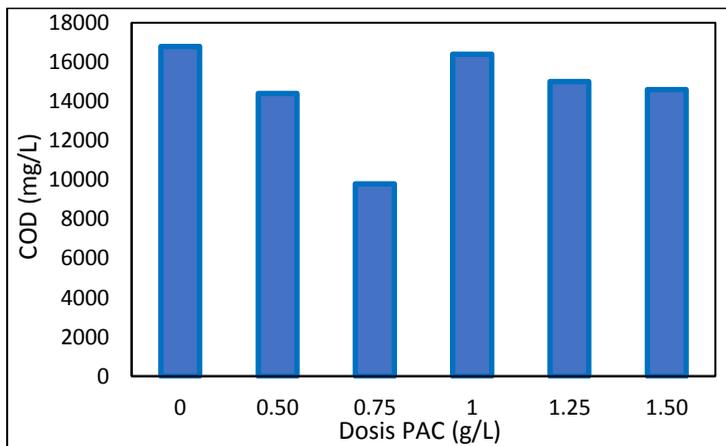
Gambar 4.16 Hubungan Dosis PAC Koagulasi Dua Tahap dengan Kekeruhan

Pada parameter PV, semakin besar dosis PAC yang ditambahkan maka semakin besar nilai PV. Grafik hubungan penambahan PAC pada koagulasi dua tahap dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Hubungan Dosis PAC Koagulasi Dua Tahap dengan PV

Konsentrasi COD pada penambahan PAC dengan dosis 0,75 g/L mengalami penurunan dari 16.400 mg/L menjadi 9.800 mg/L dengan persentase mencapai 35,5%. Dosis lebih dari 0,75 g/L memberikan dampak peningkatan pada konsentrasi COD. Penelitian koagulasi dengan PAC yang dilakukan oleh Bakar dan Halim (2013) menunjukkan bahwa penambahan dosis koagulan yang lebih besar dari dosis optimum akan menurunkan persen penyisihan pada konsentrasi COD. Persentase penyisihan meningkat hingga diperoleh dosis optimum kemudian menurun sedikit demi sedikit.

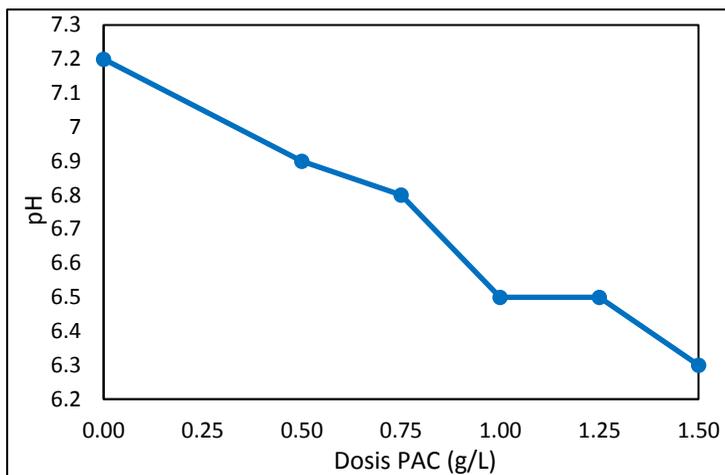


Gambar 4.18 Hubungan dosis PAC Koagulasi Dua Tahap dengan COD

Konsentrasi koagulan yang terlalu tinggi dapat menurunkan derajat keasaman (pH) dan efisiensi menjadi rendah. hal ini disebabkan sebagian besar koagulan jika dimasukkan kedalam air limbah akan melepaskan sifat asam sehingga pH air limbah menjadi turun.

Berdasarkan hasil koagulasi dua tahap dapat dilihat dari Gambar 4.19 bahwa penambahan PAC juga memberikan dampak penurunan pH namun tidak sebesar penurunan yang terjadi pada koagulan FeCl_3 . Dosis sebesar 1,5 g/L memberikan dampak penurunan menjadi 6,3 dari pH awal 7,2.

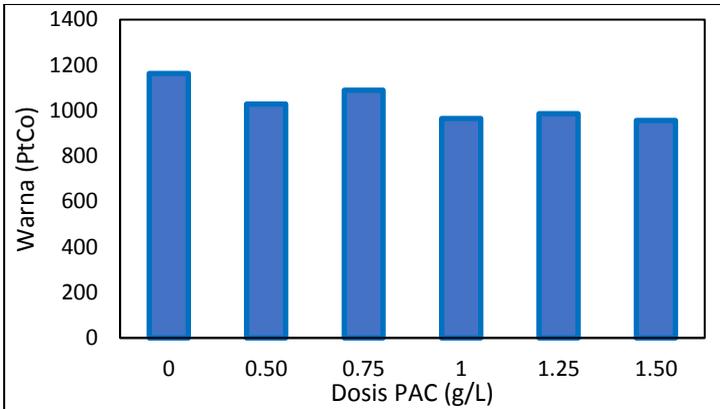
Sedangkan untuk dosis optimum 0,75 g/L mengalami penurunan hingga 6,8.



Gambar 4.19. Hubungan PAC Koagulasi Dua Tahap dengan pH

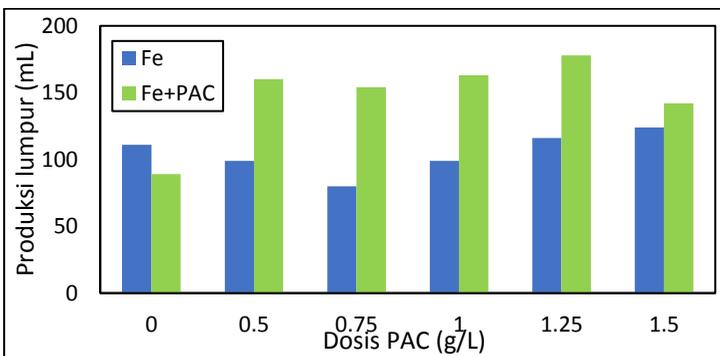
Parameter lain yang dianalisis adalah warna. Warna merupakan partikel koloid bermuatan negatif (Aristiemi dan Widiassa, 2015). Warna yang diukur pada penelitian ini adalah warna asli (*true colour*) yaitu melalui proses penyaringan terlebih dahulu untuk memisahkan koloid atau padatan tersuspensi yang menyebabkan kekeruhan.

Warna cenderung mengalami penurunan. Pada dosis optimum 0,75 g/L PAC pada koagulasi dua tahap, warna mengalami penurunan nilai dari 1109,2 Pt-Co menjadi 1090 Pt-Co atau sebesar 7,21%. Sedangkan penurunan parameter warna terbesar yaitu 13,75% diperoleh dengan penambahan dosis 1.5 g/L PAC. Semakin besar dosis PAC yang ditambahkan maka semakin rendah warna yang terkandung pada lindi hasil pengolahan. Penurunan warna disebabkan oleh adanya pembentukan muatan positif hidroksida akibat reaksi hidrolisis oksida dengan air sehingga menyerap zat organik penyebab warna (zat asam humat dan fulvat) sebelum hidroksida mengendap (Hendricks, 2005)



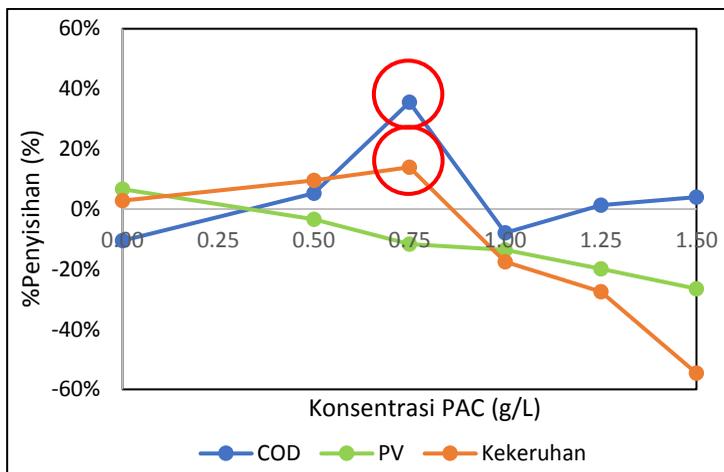
Gambar 4.20 Hubungan Dosis PAC Koagulasi Dua Tahap dengan Warna

Proses koagulasi dua tahap dengan PAC berdampak pada penambahan jumlah produksi lumpur. Rata-rata penambahan jumlah lumpur oleh PAC adalah sebesar 65 mL setiap 800 mL per satu liter sampel. Produksi lumpur koagulasi dua tahap oleh PAC dapat dilihat pada Gambar 4.21. Penambahan PAC pada koagulasi dua tahap meningkatkan produksi lumpur. Hidroksida dari hasil reaksi PAC dengan senyawa organik mengalami penggumpalan menjadi flok yang lebih padat karena elektrisitas yang kuat dari monomer Al yang terdapat pada PAC (Su *et al.*, 2017).



Gambar 4.21 Hubungan Dosis PAC Koagulasi Dua Tahap dengan Produksi Lumpur

Secara garis besar, persentase penyisihan parameter PV, kekeruhan, dan COD dapat dilihat pada Gambar 4.22. Konsentrasi optimum penambahan PAC sebagai koagulan ada koagulasi tahap kedua adalah 0,75 g/L yaitu dengan %penyisihan mencapai 35,5% untuk COD; 13,9% untuk kekeruhan dan penurunan nilai PV sebesar 3%.



Gambar 4.22 Hubungan Dosis PAC dengan COD, PV, dan Kekeruhan

Hasil parameter tambahan untuk dosis optimum koagulasi tahap kedua yaitu 515,8 mg/L NH₄; 6,64 mg/L PO₄; dan 390,9 mg/L TKN dari konsentrasi awal 516,4 mg/L NH₄; 37,1 mg/L PO₄; dan 496,1 mg/L TKN. Hasil tersebut menunjukkan bahwa koagulasi tahap kedua dengan PAC dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi ketiga konsentrasi tersebut.

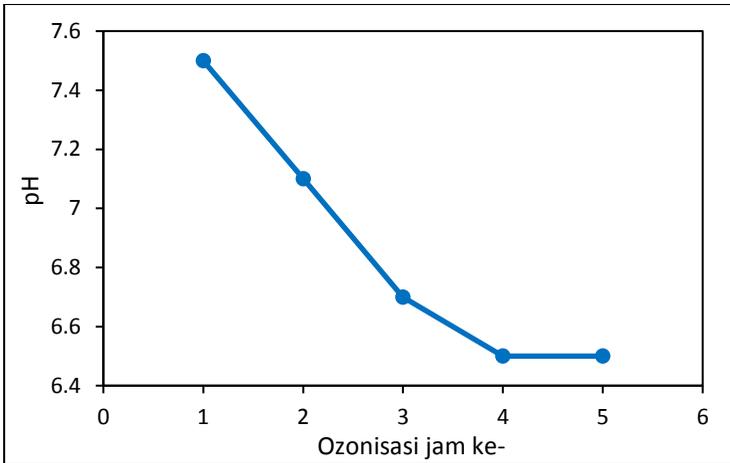
4.2.5 Ozonisasi

Ozonisasi dilakukan dengan menginjeksikan ozonizer dengan kapasitas 3 g/jam ke dalam 1 L lindi yang telah melalui proses koagulasi dua tahap dengan 0,1 g/L FeCl₃ dan 0,75 g/L PAC. Ozon diinjeksikan selama 72 jam dengan waktu pengambilan sampel setiap 12 jam yaitu jam ke 12, 24, 36, 48, 60, dan 72. Degradasi pencemar organik dengan ozon akan dikonversi

menjadi H₂O dan CO₂. Sampel yang mengandung pestisida akan teroksidasi menjadi sulfat, fosfat dan nitrat (Rakness, 2005).

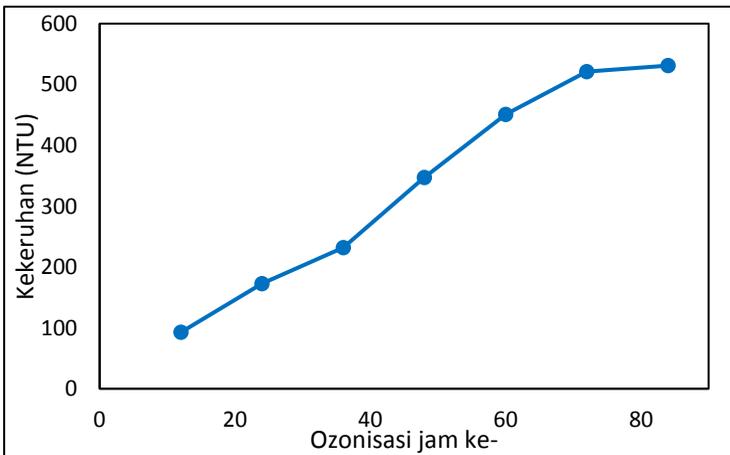
Proses ozonisasi bertujuan untuk mengoksidasi sisa senyawa organik yang belum terdegradasi melalui proses koagulasi dua tahap. Hal tersebut sesuai dengan fungsi ozonisasi untuk mendegradasi senyawa organik dan anorganik yang terdapat pada sampel karena ozon mampu mendegradasi senyawa tanpa menyeleksi jenis senyawa tersebut. Proses ozonasi dengan ozon dibantu dengan hidroksi radikal yang memiliki muatan electron oksidasi yang kuat. Hidroksi radikal mendegradasi senyawa organik dengan mekanisme reaksi tidak langsung karena hidroksi radikal diperoleh dari hasil samping reaksi degradasi antara senyawa organik dengan ozon pada reaksi langsung. Senyawa organik yang berhasil di oksidasi dengan mekanisme ozonisasi dapat menurunkan konsentrasi COD. Pada beberapa penelitian menyebutkan bahwa ozonisasi juga dapat menurunkan parameter warna serta kekeruhan.

Gambar 4.23 menunjukkan pengaruh ozonisasi terhadap parameter pH. Penurunan terjadi hingga pH 6,9 dari pH awal 7,7 setelah ozonisasi selama 48 jam dan kemudian tidak mengalami perubahan nilai pH yaitu 6,9. pH optimum pada proses ozonisasi adalah 7-9. Semakin tinggi pH awal dapat membantu pembentukan radikal hidroksil sehingga mempermudah pembentukan presipitat. Namun pH yang tinggi menyebabkan semakin banyaknya pembentukan karbonat (CO₃) sehingga dapat menghabisi senyawa ozon dengan cepat dan reaksi langsung dengan ozon menjadi lebih lambat (Rezagama, 2014).



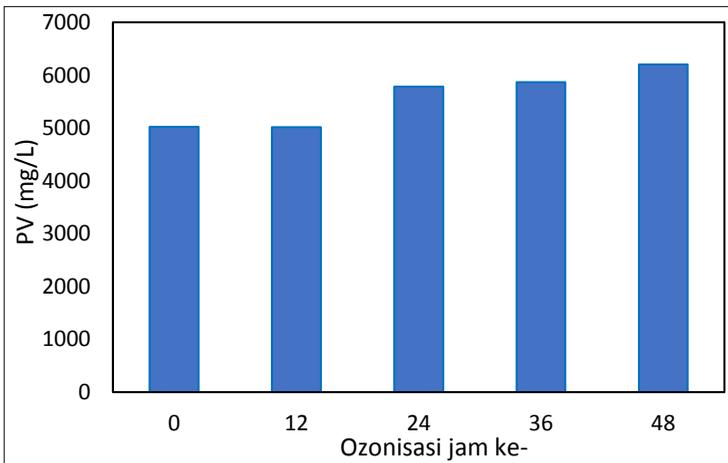
Gambar 4.23 Hubungan Waktu Ozonisasi dengan pH

Parameter kekeruhan juga mengalami peningkatan. Peningkatan kekeruhan dapat terlihat langsung, yaitu dengan perubahan warna menjadi lebih merah dan lebih keruh. Kekeruhan dapat disebabkan oleh degradasi zat organik oleh ozon membentuk flok yang meningkatkan kekeruhan serta TSS.



Gambar 4.24 Hubungan Waktu Ozonisasi dengan Kekeruhan

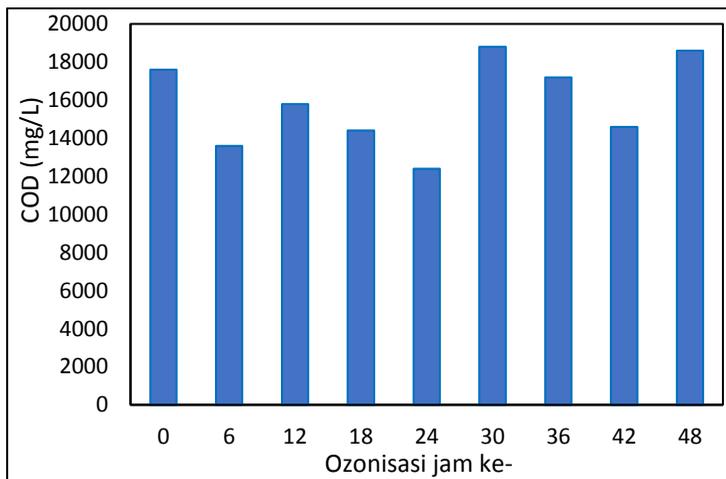
Pada parameter PV, semakin lama injeksi ozon dilakukan maka semakin nilai PV mengalami peningkatan konsentrasi. Rata-rata kenaikan konsentrasi sebesar 13,42%. Parameter COD yang menunjukkan kandungan zat organik juga mengalami peningkatan konsentrasi seiring dengan lamanya injeksi ozon.



Gambar 4.25 Hubungan Waktu Ozonisasi dengan PV

Peningkatan pada konsentrasi beban pencemar organik juga terlihat dengan meningkatnya konsentrasi COD. Hal ini menunjukkan bahwa proses ozonisasi pada sampel lindi muda dengan konsentrasi PV dan COD yang tinggi memberikan hasil peningkatan konsentrasi pada jangka waktu 48 jam. Konsentrasi organik yang tinggi memerlukan waktu ozonisasi yang cukup lama. Konsentrasi COD yang mengalami peningkatan dapat disebabkan karena residual ozon akibat injeksi ozon. Setelah injeksi ozon, sampel yang akan dianalisis harusnya dibiarkan terlebih dahulu karena residual ozon tersebut akan mengganggu analisis ozon. Namun, pada penelitian ini tidak dilakukan analisis terhadap sisa ozon sehingga tidak diketahui berapakah jumlah ozon yang menjadi pengotor saat proses analisis COD.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Lee *et al.* (2011) menunjukkan bahwa penambahan O_3 ke dalam limbah yang tidak diolah mengalami peningkatan pada nilai COD sebesar 24-26 mg/L dalam jangka waktu 0-10 menit oksidasi. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa COD lebih cenderung mengalami peningkatan daripada penurunan. Selain itu, penggunaan ozon saja, tanpa penambahan bahan kimia lain, meningkatkan nilai COD lebih besar daripada penambahan 0-50 menit ozon/ H_2O_2 . Penentuan sisa ozon setelah injeksi dapat dilakukan dengan metode yang sama seperti pada penelitian tersebut. Sisa ozon dapat meningkatkan nilai analisis COD, sehingga diperlukan estimasi nilai sisa ozon untuk kemudian dapat menentukan nilai COD yang sesungguhnya. Hal tersebut dapat dilakukan dengan hubungan antara Δ COD dengan sisa ozon dalam sampel yang dianalisis.



Gambar 4.26 Hubungan Waktu Ozonisasi dengan COD

Ozon dalam fase cair memiliki reaksi dekomposisi yang dapat mendekomposisi ozon (O_3) kembali menjadi oksigen (O_2). Reaksi dekomposisi tersebut mengikuti perubahan suhu. Pada pH 7 memiliki nilai:

Tabel 4.2 Hubungan Suhu dengan Waktu Tinggal Ozon

Suhu (°C)	Half-life (menit)
15	20
20	20
25	15
30	12
35	8

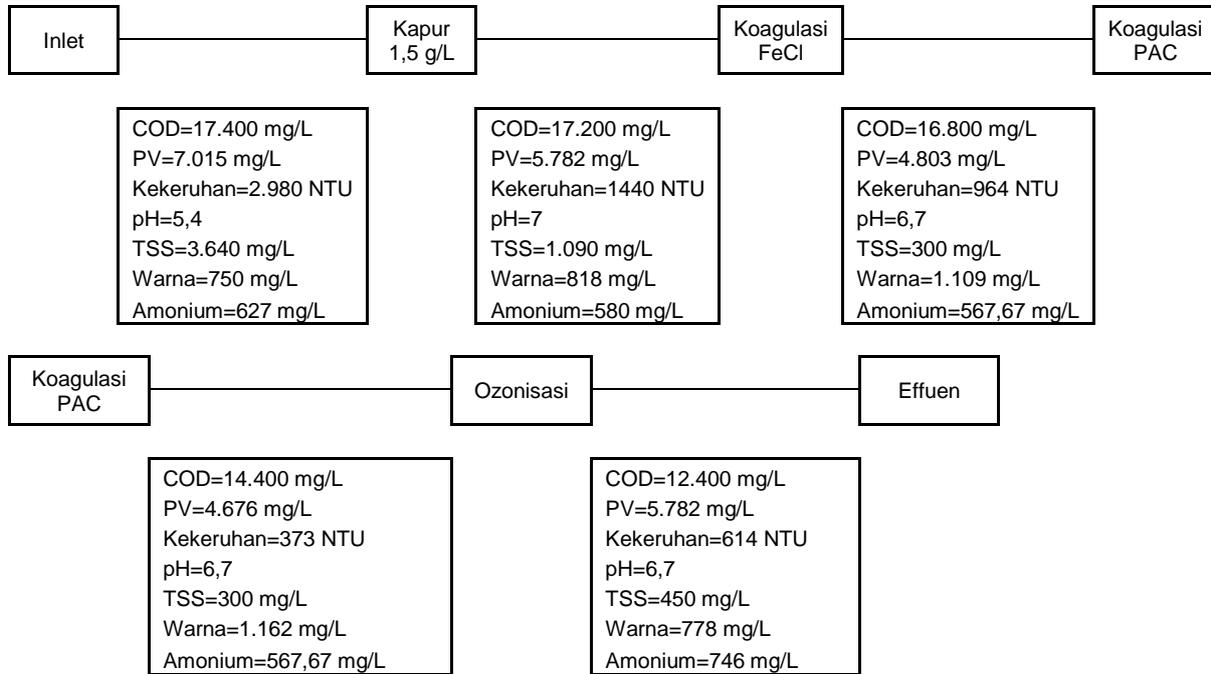
Sumber : (Spartan Environmental Technologies, 2019)

4.3.Kesetimbangan Massa (Mass Balance)

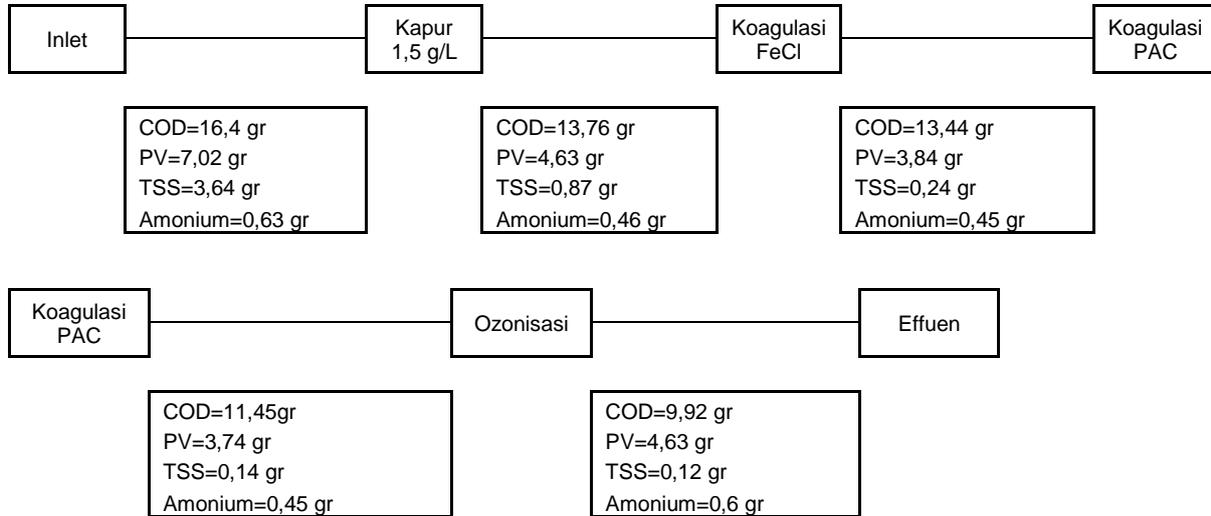
Perhitungan *mass balance* dilakukan untuk memperhitungkan massa yang hilang dalam proses dan lumpur yang diproduksi dari tiap masing-masing proses dan juga akumulasi. Massa tersebut didapatkan dari perhitungan massa lumpur yang masuk dan massa filtrat yang keluar. Massa lumpur yang masuk adalah total massa awal yang masuk dalam setiap satu liter pengolahan. Massa lumpur yang keluar merupakan massa lumpur yang masuk pada proses selanjutnya. Hasil analisis *mass balance* dapat dilihat pada merupakan kesetimbangan massa dari konsentrasi COD.

4.4.Produksi Lumpur

Di dalam proses pengolahan ini, terdapat lumpur yang dihasilkan dari pengapuran serta proses koagulasi serta flokulasi. Untuk mengetahui berapa banyak lumpur yang keluar serta berapa banyak air olahan yang dihasilkan dari proses koagulasi flokulasi maka diperlukan perhitungan jumlah lumpur. Lumpur yang dihasilkan dari proses pengapuran merupakan lumpur kapur yang telah melalui proses pengendapan selama 2 jam. Lumpur yang dihasilkan dari proses ini bervariasi yaitu bergantung pada pH awal lindi yang akan di olah dan jumlah penambahan kapur yang diperlukan untuk menaikkan pH menjadi 7. Pada analisis ini, jumlah lumpur maksimal yang terbentuk adalah sebanyak 129 mL/1000 mL lindi. Sedangkan jumlah lumpur paling sedikit adalah sebesar 21 mL/1000 mL lindi. Rata-rata dari keseluruhan kapur yang terbentuk adalah sebanyak 89,04 mL lumpur kapur tiap 1000 mL lindi terolah.



Gambar 4.27 Diagram Alir



Gambar 4.28 Mass Balance

Pada proses koagulasi dan flokulasi, lumpur dihasilkan dari proses pengendapan selama 1 jam. Dari hasil analisis pada penelitian ini, volume lumpur paling banyak yang terbentuk dari proses koagulasi flokulasi adalah 236,25 mL dari 1000 ml sampel pengolahan lindi. Sedangkan volume paling kecil adalah 111,25 mL dan rata-rata keseluruhan lumpur yang terbentuk adalah 205,625 mL tiap 1000 mL lindi. Sampel yang digunakan sebagai sampel ozonisasi adalah air lindi terolah yang telah terpisah dari lumpur hasil koagulasi flokulasi. Volume air yang dapat masuk ke dalam proses ozonisasi paling sedikit adalah sebesar 596,25 mL; paling banyak adalah 688,75 mL dan rata-rata volume air yang masuk ke dalam proses ozonisasi adalah 615,42 mL.

4.5. Analisis Statistik

Analisis statistik merupakan analisis yang digunakan untuk menentukan signifikansi pengaruh antara suatu variable dengan parameter. Nilai yang didapatkan mendekati nilai penelitian yang telah diprediksikan. Pendekatan model dilakukan untuk memperoleh nilai signifikansi ($P\text{-Value}$) $< 0,05$. Pada penelitian ini, data yang dibandingkan adalah proses dan parameter utama. Dari hasil analisis statistic menunjukkan bahwa proses memberikan pengaruh yang signifikan dengan dihasilkan nilai $P\text{-Value}$ $< 0,05$. Hasil analisis signifikansi antara proses dengan parameter dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai Signifikansi Proses dengan Parameter

Parameter	F-Value	P-Value
COD	6,68	0,007
PV	6,46	0,008
Kekeruhan	11,69	0,001
TSS	22,34	0,000
pH	3,62	0,046
Warna	33,9	0,001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Dosis optimum FeCl_3 sebagai koagulan pada koagulasi satu tahap adalah 0,1 g/L yaitu mencapai 64,2% untuk COD, 59,4% untuk kekeruhan dan 27% untuk PV. Dosis optimum PAC pada koagulasi dua tahap adalah 0,75 g/L yaitu mencapai 35,5% untuk COD; 13,9% untuk kekeruhan dan 3% untuk PV.
2. Proses oksidasi dengan ozon untuk sampel lindi, terutama lindi sayur dan berumur muda, memerlukan waktu degradasi yang cukup lama. Pada penelitian ini memerlukan waktu 24 jam waktu ozonasi untuk menurunkan konsentrasi COD maksimum yaitu 30%.
3. Persentase penurunan konsentrasi beban pencemar lindi sampah sayur Rumah Kompos Keputran secara keseluruhan dari proses koagulasi flokulasi dan oksidasi dengan dosis optimum adalah sebesar 80,12%

5.2. Saran

1. Parameter yang perlu di analisis dengan metode yang sama adalah alkalinitas dan sisa ozon.
2. Peningkatan pH menggunakan NaOH karena kapur dapat meningkatkan kekeruhan.
3. Penerapan kapur dilapangan dalam bentuk larutan
4. Penelitian koagulasi dua tahap dengan memisahkan lumpur yang terbentuk pada koagulasi satu tahap.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdw, A. S. G., Dogan, S., Pirgalioglu, S. 2018. Single and Combined Application of Ozonation and Coagulation/Flocculation for Humic Acid Removal. *Ozone: Science & Engineering*.
- Ajao, V., Bruning, H., Rijnaarts, H., Temmink, H. 2018. Natural flocculants from fresh and saline wastewater: Comparative properties and flocculation performances. *Chemical Engineering Journal*, 349, 622–632.
- Ali, M. 2011. *Monograf: REMBESAN AIR LINDI (LEACHATE) DAMPAK PADA TANAMAN PANGAN DAN KESEHATAN* (I). Surabaya: Upn press.
- Ameta, S., Ameta, R. 2018. *Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment* (1st ed.). Academic Press.
- Anonim. 2006. Ozone Safe Work Practices. WorkSafeBC.
- Aristiami, D. F., Widiassa, I. N. 2015. Pengaruh Co-Precipitation Besi Klorida Terhadap Kinerja Lumpur Aktif Pada Proses Pengolahan Air Limbah Domestik Sintetik. *Reaktor*, 15(3), 182–189.
- Bakar, A. F., Halim, A. A. 2013. Treatment of Automotive Wastewater by Coagulation-Flocculation Using Poly-aluminum Chloride (PAC), Ferric Chloride (FeCl₃) and Aluminum Sulfate (alum). *AIP*.
- Bhalla, B., Saini, M. S., Jha, M. K. 2012. Characterization of Leachate from Municipal Solid Waste (MSW) Landfilling Sites of Ludhiana, India: A Comparative Study. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2(6), 732–745.
- Butt, M. T. 2013. Coagulation–Flocculation Studies of Laboratory Wastewater using Different Combinations. *Journal Chemical Society of Pakistan*, 35(3), 6.
- Carlson, K. H., Gregory, D. 2000. Optimizing Water Treatment With Two-Stage Coagulation. *Journal of Environmental Engineering*, 556–561.
- Chen, W., Gu, Z., Wen, P., Li, Q. 2018, November 1. *Degradation of Refractory Organic Contaminants in*

Membrane Concentrates from Landfill Leachate by a Combines Coagulation-Ozonation Process.

- Choumane, F. Z., Benguella, B., Maachou, B., Saadi, N. 2017. Valorisation of a bioflocculant and hydroxyapatites as coagulation-flocculation adjuvants in wastewater treatment of the steppe in the wilaya of Saida (Algeria). *Ecological Engineering*, 107, 152–159.
- Comstock, S. E. H., Boyer, T. H., Graf, K. C., Townsend, T. G. 2010. Effect of landfill characteristics on leachate organic matter properties and coagulation treatability. *Chemosphere*, 81(7), 976–983.
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., Tchobanogous, G. 2012. *Water Treatment : Principle and Design* (3rd ed.). Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- da Costa, F. M., Daflon, S. D. A., Bila, D. M., da Fonseca, F. V., Campos, J. C. 2018. Evaluation of the biodegradability and toxicity of landfill leachates after pretreatment using advanced oxidative processes. *Waste Management*, 76, 606–613.
- DKRTH, ITS. 2018. *Studi Pengolahan dan Pemanfaatan Air Limbah pada taman Aktif, Depo/Tempat Penampungan Sampah Sementara, dan Rumah Kompos*. Surabaya: Pemerintah Kota Surabaya.
- Domopoulou, A. E., Gudulas, K. H., Papastergiadis, E. S., Karayannis, V. G. 2015. Coagulation/Flocculation/Sedimentation Applied to Marble Processing Wastewater Treatment. *Canadian Center of Science and Education*, 9(6), 137–144.
- Ebeling, J. M., Sibrell, P. L., Ogden, S. R., Summerfelt, S. T. 2003. Evaluation of chemical coagulation–flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. *Aquacultural Engineering*, 29(1–2), 23–42.
- Effendi, H. 2012. *Telaah Kualitas Air* (7th ed.). Yogyakarta: Kanisius.
- Gadhimathi, R., Durai, N. J., Nidheesh, P. V., Ramesh, S. T., Kanmani, S. 2013. Use of Combined Coagulation-Adsorption Process as Pretreatment of Landfill

- Leachate. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 10(24).
- Gashed, I. G., Hanna, M. A., El-Gamal, H. F., Al-Sarawy, A. A., Wali F. K. M. 2015. Overview on Chemical Oxidation Technology in Wastewater Treatment (pp. 115–132). Presented at the Ninth International Water Technology Conference, Egypt: Research Gate.
- Gebbie, P. 2006. AN OPERATOR'S GUIDE TO WATER TREATMENT COAGULANTS, 7.
- Geng, Y. 2005. *Application of Flocc Analysis for Coagulation Optimization at Split Lak Water Treatment Plant* (Department of Civil & Geological Engineering). University of Manitoba, Manitoba.
- Ghafari, S., Aziz, H. A., Bashir, M. J. K. 2010. The use of poly-aluminum chloride and alum for the treatment of partially stabilized leachate: A comparative study. *Desalination*, 257(1–3), 110–116.
- Gregory, J., Barany, S. 2011. Adsorption and flocculation by polymers and polymer mixtures. *Advances in Colloid and Interface Science*, 169(1), 1–12.
- Gregory, J., Duan, J. 2001. Hydrolizing metal salts as coagulants. *Pure Applied Chemistry*, 73(12), 2017–2026.
- Gunes, E., Demir, E., Hanedar, A. 2019. Characterization and Treatment Alternatives of Industrial Container and Drum Cleaning Wastewater: Comparison of Fenton-like Process and Combined Coagulation/Oxidation Processes. *Separation and Purification Technology*, 209, 426–433.
- Hall, W. 1929. Oxidation-Reduction Reactions. *Journal of Chemical Oxidation*, 6(3), 479.
- Jamali, H. A., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Vaezi, F., Omrani, G. A. 2009. Combination of Coagulation-Flocculation and Ozonation Processes for Treatment of Partially Stabilized Landfill Leachate of Tehran. *World Applied Sciences Journal*, 5, 9–15.
- Jurczyk, Ł., Koc-Jurczyk, J. 2017. Quantitative dynamics of ammonia-oxidizers during biological stabilization of municipal landfill leachate pretreated by Fenton's

- reagent at neutral pH. *Waste Management*, 63, 310–326.
- Kamaruddin, M. A., Abdullah, M. M. A., Yusoff, M. S., Alrozi, R., Neculai, O. 2017. Coagulation-Flocculation Process in Landfill Leachate Treatment: Focus on Coagulants and Coagulants Aid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 209, 012083.
- Kristijanti, A. P., Suharto, I., Marieanna. 2013. *Penentuan Jenis Koagulan dan Dosis Optimum untuk Meningkatkan Efisiensi Sedimentasi dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Jamu X*. Universitas Katolik Parahyangan.
- Kumar, S. S., Bishnoi, N. R. 2015. Coagulation of Landfill Leachate by FeCl₃: Process Optimization Using Box-Behnken Design (RSM). *Applied Water Science*, 7, 1943–1953.
- Labastida, I., Armienta, M. A., Lara-Castro, R. H., Aguayo, A., Cruz, O., Ceniceros, N. 2013. Treatment of mining acidic leachates with indigenous limestone, Zimapán Mexico. *Journal of Hazardous Materials*, 262, 1187–1195.
- Lafi, W. K., Al-Anber, M., Al-Anber, Z. A., Al-shannag, M., Khalil, A. 2010. Coagulation and advanced oxidation processes in the treatment of olive mill wastewater (OMW). *Desalination and Water Treatment*, 24(1–3), 251–256.
- Lee, E., Lee, H., Kim, Y. K., Sohn, K., Lee, K. 2011. Hydrogen peroxide interference in chemical oxygen demand during ozone based advanced oxidation of anaerobically digested livestock wastewater. *International Journal Environment Science and Technology*, 8(2), 381–388.
- Luis, T., Alma, C., Edgar, S., Guillermo, B. 2015. Impeller and biopolymer types and agitation speeds influence over the coagulation-flocculation efficiency in the treatment of an University campus wastewater. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 5(3), 3159–3173.

- Marce, M., Palacios, O., Bartolomé, A., Caixach, J., Baig, S., Esplugas, S. 2017. Application of Ozone on Activated Sludge: Micropollutant Removal and Sludge Quality. *Ozone: Science & Engineering*, 39(5), 319–332.
- Mbaaza, M., Agbazue, V., Orjioke, N. 2017. Comparative Assessment of Performance of Aluminium Sulphate (Alum) and Ferrous Sulphate as Coagulants in Water Treatment. *Modern Chemistry and Application*.
- Mojad, M., Mundhe, A., Sable, A., Rakhse, S. 2017. TURBIDITY OF WATER REMOVAL BY USING NATURAL COAGULANTS. *International Journal of Engineering Sciences & Management*, 7(1), 269–272.
- Mousa, K. M., Hadi, H. J. 2016. Coagulation/Flocculation Process for Produced Water Treatment. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 6(2), 551–555.
- Nanda, R., Vyas, R. 2014. Removal of Colour from Textile Wastewater Using Two-Step Coagulation Process. *International Journal of Engineering Sciences & Researches*, 3(2), 660–665.
- Naveen, Dr. B., Thallak, S. G., Puvvadi, S. 2014. CHARACTERISTICS OF A MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILL LEACHATE. In *Proceedings of Indian Geotechnical Conference IGC-2014*. Kakinada, India: Research Gate.
- Ntampou, X., Zouboulis, A. I., Samaras, P. 2006. Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates. *Chemosphere*, 62(5), 722–730.
- Oregon Health Authority. 2019. *Coagulation and Rapi Mixing*. Oregon.
- Portjanskaja, E. 2006. Ozone Science and Technology - Ozone Reaction with Inorganic and Organic Compounds in Water. In *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Tallinn University of Technology.
- Rakness, K. K. 2005. *Ozone in Drinking Water Treatment: Process Design, Operation, and Optimization* (1st ed.). USA: American Water Works Association.

- Rana, S., Suresh, S. 2017. Comparison of different Coagulants for Reduction of COD from Textile industry wastewater. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 567–574.
- Rasool, M. A., Tavakoli, B., Chaibakhsh, N., Pendashteh, A. R., Mirroshandel, A. S. 2016. Use of a plant-based coagulant in coagulation–ozonation combined treatment of leachate from a waste dumping site. *Ecological Engineering*, 90, 431–437.
- Reynolds, G., Graham, N., Perry, R., Rice, R. G. 1989. Ozone : Science & Engineering. *The Journal Of the International Ozone Association*, 11(4), 339–382.
- Reynolds, T. D., Richards, P. A. 1995. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering* (2nd ed.). USA: PWS Publishing Company.
- Rezagama, A. 2014. Studi Ozonisasi Senyawa Organik Air Lindi Tempat Pemrosesan Akhir Sarimukti. *Jurnal Teknik*, 34(2).
- Romadhoni, H. A., Wesen, P. 2015. PEMBUATAN BIOGAS DARI SAMPAH PASAR. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(1), 59–64.
- Roy, D., Azar's, A., Benkaraache, S., Dogui, P., Tyagi, R. D. 2018. Composting leachate: characterization, treatment, and future perspectives. *Springer*, 17, 323.
- Rui, L. M., Daud, Z., Latif, A. A. A. 2012. Coagulation-Flocculation In Leachate Treatment Using Combination Of PAC With Cationic And Anionic Polymers. *Ijera*, 2, 6.
- S., K., S., G. M. V. S., K., V. G. 2017. A Jar Test on the use of Alum and Ferric Chloride for Turbidity Removal. In *Proceedings of 4th National Conference on Water, Environment & Society*. Hyderabad.
- Said, N. I., Hartaja, R. K. 2015. Pengolahan Air Lindi dengan Proses Biofilter Anaerob dan Denitrifikasi. *Jurnal Air Indonesia*, 8(1), 1–20.
- Sallanko, J., Okkonen, J. 2009. Effct of Ozonation on Treated Municipal Wastewater. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous*

- Substances and Environmental Engineering*, 44, 57–63.
- Scottish Environment Protection Agency. 2003. *Guidance on Monitoring Of Landfill Leachate, Groundwater and Surface Water*. Scottish Environment Protection Agency.
- Singh, R. 2005. Water and Membrane Treatment. In *Hybrid Membrane Systems for Water Purification* (1st ed., p. 92). USA: Elsevier Science.
- Spartan Environmental Technologies. 2019. Determining Amount of Ozone Required for Ozone Water Treatment [<https://www.spartanwatertreatment.com/how-much-ozone-do-i-need-to-treat-water.html>].
- Staehelin, J., Holgne, J. 1985. Decomposition of Ozone in Water in the Presence of Organic Solutes Acting as Promoters and Inhibitors of Radical Chain Reactions. *Environ. Sci. Technol.*, 19, 1206–1213.
- Su, Z., Li, X., Yang, Y. 2017. Regrowth ability and coagulation behavior by second dose: Breakage during the initial flocculation phase. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 527, 109–114.
- Susanti, E., Hartati, A. 2003. Koagulasi Flokulasi Untuk Menurunkan Warna Dengan Koagulan PAC Pada Efluen Pengolahan Limbah Pencelupan Benang. *Jurnal Purifikasi*, 4(1), 37–42.
- Tatsi, A. A., Zouboulis, A. I., Matis, K. A., Samaras, P. 2003. Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere*, 53(7), 737–744.
- Verma, M., Chakraborty, S., Kumar, R. N. (n.d.). Evaluation of coagulation-flocculation process as pretreatment option for landfill leachate using alum, ferric chloride and polyacrylamide grafted gum ghatti, 12.
- Winarni. 2003. Koagulasi Menggunakan Alum dan PAC. *Makara*, 7(3), 89–95.
- Wirandani, M. Y., Sudarno, Purwono. 2017. Pengolahan Lindi Menggunakan Metode Koagulasi Flokulasi Dengan Koagulan FeCl₃ (Ferric Chloride) Dan AOPs

- (Advanced Oxidation Process Dengan Fe-H₂O₂. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 1–17.
- Xu, W., Gao, B., Wang, Y., Yue, Q., Ren, H. 2012. Effect of second coagulant addition on coagulation efficiency, floc properties and residual Al for humic acid treatment by Al₁₃ polymer and polyaluminum chloride (PACl). *Journal of Hazardous Materials*, 215–216, 129–137.
- Yu, W., Gregory, J., Campos, L. C. 2011. Breakage and regrowth of flocs: Effect of additional doses of coagulant species. *Water Research*, 45(20), 6718–6724.
- Zand, A. D., Hoveidi, H. 2015. Comparing Aluminium Sulfate and poly Aluminium chloride (PAC) Performance in Turbidity Removal From Synthetic Water. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 2(3), 287–292.
- Zhang, H., Sun, B., Zhao, X., Gao, Z. 2008. Effect of ferric chloride on fouling in membrane bioreactor. *Separation and Purification Technology*, 63(2), 341–347.
- Zhao, Y. X., Gao, B. Y., Shon, H. K., Wang, Y., Kim, J. H., Yue, Q. Y. 2011. The effect of second coagulant dose on the regrowth of flocs formed by charge neutralization and sweep coagulation using titanium tetrachloride (TiCl₄). *Journal of Hazardous Materials*, 198, 70–77.

LAMPIRAN A CARA ANALISIS

A. 1 Prosedur Analisis Derajat Keasaman (pH)

Peralatan:

1. pH meter

Prosedur Kerja Analisis

1. Ambil 75 mL sampel di dalam *beaker glass*
2. Masukkan pH meter ke dalam *beaker glass* berisi sampel
3. Diamkan beberapa saat hingga pH meter menunjukkan nilai yang stabil dan tepat

A. 2 Prosedur Analisis *Total Kjeldahl Nitrogen* (TKN)

Peralatan:

1. Neraca analitik
2. Labu kjeldahl
3. Pipet ukur 10 mL
4. *Beaker glass*
5. Gelas ukur
6. Labu pengencer 100 mL
7. Spatula kaca

Bahan:

1. Larutan campuran CuSO_4 (CuSO_4 , Na_2SO_4 anhidrat, selen)
2. H_2SO_4
3. Nessler (HgI_2 , KI, NaOH)
4. Garam signet (K.Na.Tartrat)
5. Aquadest

Prosedur Kerja Analisis:

1. Timbang 10 mL sampel dengan timbangan analitis
2. Masukkan ke dalam labu kjeldahl
3. Tambahkan 10 mL H_2SO_4 pekat
4. Panaskan dengan alat Kjeldahl selama 4 jam hingga warna berubah hijau.
5. Dinginkan hasil destilasi. Kemudian encerkan menjadi 100 mL, setelah itu ambil 1 mL dan masukkan ke dalam labu erlenmeyer 100 mL

6. Encerkan larutan menjadi 25 mL dengan menggunakan aquadest
7. Tambahkan 0,6 mL garam signet dan 0,5 mL Nessler
8. Diamkan selama 10 menit
9. Lakukan tahap sebelumnya pada aquadest dan blanko
10. Baca dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang sesuai dengan hasil kalibrasi yaitu 395 nm
11. Hitung total kjehdahl nitrogen dengan rumus kurva kalibrasi

A. 3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Bahan:

1. $K_2Cr_2O_7$
2. $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$
3. Ag_2SO_4
4. Orthopenanthroline
5. $FeSO_4 \cdot H_2O$
6. H_2SO_4
7. Aquadest

Peralatan:

1. Tabung COD
2. Labu pengencer
3. Beaker glass 1000 mL
4. Pipet ukur 10 mL
5. Spatula Kaca
6. Digester

Prosedur Kerja Analisis:

- a. 1 mL sampel lindi diencerkan dengan aquadest hingga 5 kali pengenceran
- b. 1 mL sampel yang telah diencerkan dimasukkan ke dalam tabung COD
- c. Tambahkan aquadest hingga 5 mL
- d. Tambahkan 1,5 mL $K_2Cr_2O_7$
- e. Tambahkan 2,5 mL Ag_2SO_4
- f. Tutup tabung COD
- g. Aerasi dengan digester selama 2 jam
- h. Dinginkan
- i. Tambahkan indikator ferroin 3-4 tetes

- j. Titrasi dengan FAS hingga warna merah bata
- k. Hitung dengan rumus sebagai berikut:

$$COD \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A - B) \times N \times 8000 \times P}{volume\ sampel}$$

Keterangan: A= mL FAS titrasi blanko
 B= mL FAS titrasi sampel
 N= Normalitas larutan FAS
 P= Nilai Pengenceran

A. 4 **Total Suspended Solid (TSS)**

Peralatan:

1. Cawan porselen
2. Oven
3. Desikator
4. Kertas filter
5. Vacuum pump

Prosedur Kerja Analisis:

1. Ambil 10 mL sampel, letakkan pada beaker glass 100 mL
2. Timbang kertas saring dan cawan porselen secara bergantian
3. Ambil kertas saring, basahi dengan aquadest
4. Letakkan kertas saring di atas penyaring *vacuum pump*. Tempatkan *vacuum pump* pada keadaan yang seharusnya
5. Tuangkan air sampel ke dalam corong vacuum pump hingga setengah bagian dari corong bagian bawah
6. Nyalakan vacuum pump, dengan menambahkan air sampel sedikit demi sedikit. Matikan ketika air di atas kertas saring dalam vacuum pump sudah habis.
7. Ambil kertas saring dan letakkan di dalam cawan porselen
8. Masukkan dalam oven 105°C selama 60 menit
9. Keluarkan dari oven dan masukkan ke dalam desikator selama 15 menit
10. Keluarkan dari desikator dan timbang dengan neraca analitik. Catat hasil analisa
11. Analisis hasil dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Total Suspended Solid } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(a - b)}{c} \times 1000 \times 1000$$

Keterangan: a = cawan dan residu setelah dioven
105°C

b = cawan kosong setelah difurnace
550°C dan di oven 105°C

c = volume sampel

A. 5 Analisis Kekeruhan

Peralatan:

1. Turbidimeter

Prosedur Kerja Analisis:

1. Nyalakan turbidimeter
2. Masukkan blanko ke dalam kuvet turbidimeter dan set zero (0)
3. Ganti larutan blanko dengan larutan air sampel pada kuvet
4. Catat angka yang dihasilkan

A. 6 Analisis NH₄

Peralatan:

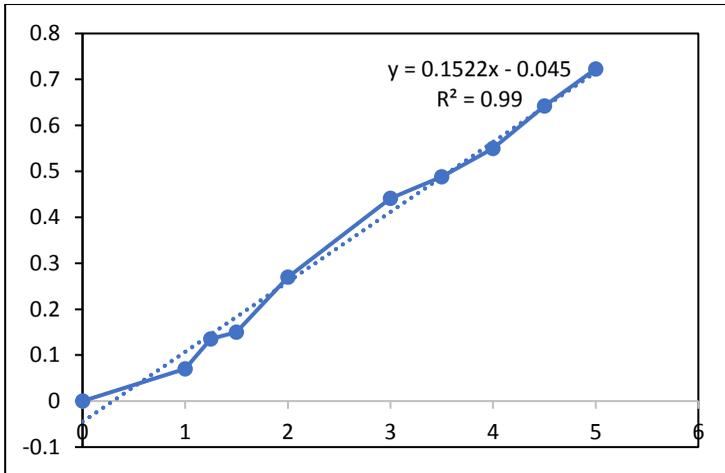
1. Spektrofotometer dan kuvet
2. Erlenmeyer 100 mL
3. Pipet 25 mL, 10 mL, 5 mL

Bahan:

1. Larutan Garam Signet
2. Larutan Nessler

Prosedur Kerja Analisis:

1. Masukkan 25 mL sampel ke dalam Erlenmeyer 100 mL
2. Tambahkan 1 mL larutan Nessler
3. Tambahkan 1,25 mL larutan garam signet
4. Aduk dan biarkan selama 10 menit
5. Baca dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 405 nm
6. Baca hasil analisis dengan kurva kalibrasi yang dihasilkan



A. 7 Analisis PO_4

Peralatan:

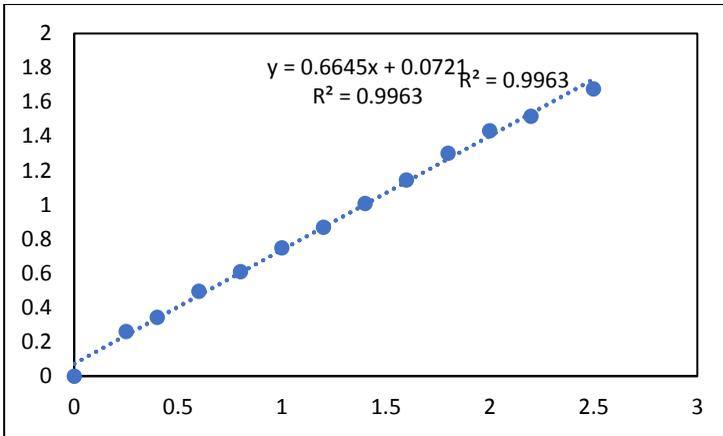
1. Erlenmeyer 100 mL
2. Spektrofotometer dan kuvet
3. Pipet ukur 10 mL

Bahan:

1. Larutan Ammonium Molybdate $(NH_4)MO_7O_{24}.4H_2O$
2. H_2SO_4 pekat
3. Larutan Klorid Timah $(SnCl_2)$
4. Gliserol

Prosedur Kerja Analisis:

1. Masukkan 25 mL sampel air ke dalam erlenmeyer 100 mL
2. Tambahkan 1 mL larutan Ammonium Molybdate
3. Tambahkan 2-3 tetes larutan klorid timah
4. Aduk dan biarkan selama 7 menit
5. Baca dengan spektrofotometer
6. Blanko yang digunakan adalah aquadest dengan penambahan reagen seperti pada sampel
7. Hitung nilai fosfat dengan kurva kalibrasi yang dihasilkan



A. 8 Analisis Warna

Peralatan:

1. Spektrofotometer dan kuvet
2. Beaker glass 100 mL

Prosedur Kerja Analisis:

1. Endapkan padatan yang terdapat pada sampel
2. Ambil 100 mL sampel dalam beaker glass 100 mL
3. Atur spektrofotometer pada panjang gelombang 390 nm
4. Isi kuvet dengan aquadest sebagai blanko, letakkan pada spektrofotometer dan set zero (0)
5. Gantikan aquadest dengan sampel
6. Bandingkan hasil sampel dengan kurva kalibrasi

LAMPIRAN B HASIL PERHITUNGAN

B.1. Waktu pengendapan penambahan kapur

Waktu (menit)	Kekeruhan (NTU)
15	13000
30	8500
45	9000
60	9375
75	9375
90	7500
105	6000
120	6000
135	6000
150	5500
165	5500
180	6000
195	5500
210	6000
225	6000
240	6000
255	6000

B.2. Analisis Koagulasi Satu Tahap (FeCl_3)

Dosis	COD (mg/L)	PV (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	pH	TSS (mg/L)	Amonium (mg/L)	Fosfat (mg/L)
sampel	10600	5245,6	3200	6,5	3904	205,16	103,68
0	8200	4866,4	2400	6,7	2928	204,99	75,65
0,10	3800	3823,6	1300	6,4	1586	206,31	62,83
0,25	7000	4076,4	900	6,1	1098	206,14	44,77
0,50	9000	3254,8	400	5,9	488	206,64	16,17
1,00	10000	3254,8	500	5,7	610	207,46	9,82
1,50	10400	2022,4	450	5,4	549	76,15	11,96

B.3. Analisis Koagulasi Dua Tahap (FeCl_3 + PAC)

Sampel	COD (mg/L)	PV (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	pH	TSS (mg/L)	Warna (Pt-CO)	Amonium (mg/L)	Fosfat (mg/L)
Fe	15200	7994,8	1580	7,2	3110	1109	516,42	37,91
0,00	16800	7465,4	1536	7,2	120	1162	543,36	
0,50	14400	8265,6	1429	6,9	310	1090	520,36	4,68
0,75	9800	8926,8	1360	6,8	170	1029	516,42	
1,00	16400	907,8	1858	6,5	520	965	503,94	6,63
1,25	15000	9589,2	2015	6,5	460	986	507,22	
1,50	14600	10114,4	2443	6,3	1210	956	532,19	6,78

B.4. Analisis Koagulasi Satu Tahap PAC

Dosis	COD (mg/L)	PV (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	pH	Amonium (mg/L)
0	27.400	4266,0	5000	7,0	657,68
0,2		4013,2	1400	7,0	645,20
0,4	14.800	3697,2	1100	7,0	642,57
0,6		4613,6	600	7,0	637,97
0,8		3760,4	400	6,9	627,46
1,0	16.600	3191,6	210	6,9	678,71
1,2		3160,0	110	6,8	639,94
1,4	16.800	3950,0	170	6,7	637,31
1,5	15.000	3697,2	45	6,6	682,65
1,6	23.800	3665,6	50	6,6	645,20
1,8		1864,4	38	6,4	673,45
2,0	22.800	2401,6	38	6,4	644,54

B.5. Analisis Fe 0,1 g/L + PAC 2 g/L

Dosis	COD (mg/L)	PV (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	pH	TSS (mg/L)	Amonium (mg/L)	Fosfat (mg/L)
Fe	15200	7994,8	1580	7,2	3110,0	516,42	37,90
0,00	6600	2780,8	15	5,9	18,3	76,14	0,58
0,10	7400	2654,4	12	6,0	14,6	75,88	0,76
0,25	7600	2401,6	17	5,7	20,7	75,68	0,55
0,50	8200	2812,4	32	5,7	39,0	75,36	0,36
1,00	8400	2401,6	65	5,5	79,3	75,09	0,01
1,50	9200	2338,4	70	5,5	85,4	74,96	0,47

B.6. Analisis Ozonisasi

Dosis (jam)	COD (mg/L)	PV (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	pH	TSS (mg/l)	Warna (Pt-Co)	Amonium (mg/L)	Fosfat (mg/L)
PAC	14400	4676,8	373	6,7	180	1162,5	574,90	51,84
0	17600	5020,4	363	7,5	440		777,92	
6	13600							
12	15800	5017,0	491	7,1	390	690,0	765,44	
18	14400							
24	12400	5782,8	614	6,7	450	778,3	746,38	
30	18800							
36	17200	5865,6	718	6,5	150	802,5	731,27	10,27
42	14600							
48	18600	6204,0	786	6,5	370	620,0	727,98	1,17

LAMPIRAN C

DOKUMENTASI PENELITIAN

	
<p>Pengambilan sampel lindi</p>	<p>Koagulasi Flokulasi</p>
	
<p>Analisis BOD₅</p>	<p>Analisis PV</p>
	

<p style="text-align: center;">Analisis Fosfat</p> 	<p style="text-align: center;">Analisis Kekeruhan</p> 
<p style="text-align: center;">Pengukuran Volume Lumpur</p>	<p style="text-align: center;">Analisis pH</p>
	
<p style="text-align: center;">FeCl₃ dosis 0 gr/L; 0,1 g/L; dan 0,25 g/L</p>	<p style="text-align: center;">FeCl₃ dosis 0,5 gr/L; 1 g/L; dan 1,5 g/L</p>
	
<p style="text-align: center;">Analisis TKN</p>	<p style="text-align: center;">Ozonisasi</p>

BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang lahir di Surabaya pada tanggal 14 Desember 1997. Penulis mengenyam Pendidikan dasar di SDN Panjang Jiwo I/265 Surabaya pada tahun 2003-2009. Setelah itu, dilanjutkan di SMPN 12 Surabaya pada tahun 2009-2012 dan SMAN 2 Surabaya pada tahun 2012-2015. Penulis kemudian melanjutkan

Pendidikan di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2015-2019 dengan NRP 03211540000066.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif di dalam organisasi kemahasiswaan sebagai staf Hubungan Luar periode 2016/2017 dan menjadi Sekretaris Divisi Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan periode 2017/2018. Penulis juga berkontribusi sebagai panitia di berbagai kegiatan HMTL maupun ITS. Selain dalam lingkup institut, penulis juga berkontribusi sebagai pengurus Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan seluruh Indonesia (IMTLI) Regional 4 (Jawa Timur) divisi Media dan Relasi serta turut dalam kegiatan yang dilaksanakan. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* dperwwita@gmail.com.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018/2019

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : 10 Mei 2019
Pukul : 10.00 - 11.00
Lokasi : TL-102
Judul : PENGOLAHAN LINDI SAMPAH SAYURAN RUMAH KOMPOS KEPUTRAN DENGAN METODE
KOAGULASI FLOKULASI SEDIMENTASI
Nama : DEWI PERWITASARI
NRP. : 0321154000066
Topik : PENELITIAN

Nilai TOEFL : 450

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
	<p>Terdapat grafik yang diganti Lampiran dihapus.</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekrelariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistansi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing
Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

()



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018-2019

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Kamis, 18 Juli 2019
Pukul : 13.00-15.00 WIB
Lokasi : TL-105
Judul : Pengolahan Lindi Sampah Sayuran Rumah Kompos Keputran Dengan Metode Koagulasi Dua Tahap FeCl₃-PAC Dan Ozonisasi
Nama : Dewi Penitiasari
NRP. : 0321154000066
Topik : Penelitian

Nilai TOEFL 450
Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
	<p>Keseimbangan massa? Gravitasi perambatan kapur. Ozone kelas 24 jam Sub bomb perbandingan Tahap dan 2 tahap kata pengantar. Peralatan dirumuskan ke lapisan metode</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistansi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:
1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing
Welly Herumurti, S.T., M.Sc.



FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : Dewi Perwitasari
NRP : 03211540000066
Judul Tugas Akhir : Pengolahan Lindi Rumah Kompos Keputran

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1	Penulisan - garis pada grafik - sumber literatur. - kata pengantar.	ok
2	Proses ozonasi ditampilkan pada bab III. Persamaan reaksi ozonisasi dengan senyawa organik dan anorganik.	hal 23.
3	Keseimbangan massa dipisah antar parameter. Dituliskan sumber lumpur dari mana saja.	hal 67
4	Tujuan koagulasi flokulasi bagian hubungan antar parameter nya	ok
5	Reaksi yang terjadi antara koagulan dan polimer dengan zat pencemar.	hal 18
6	Saran harus dituliskan di pembahasan, mengapa untuk penelitian selanjutnya	ok
7	Penulisan daftar isi, gambar, tabel	ok
8	Penulisan sitasi, ada yang tidak ditulis di daftar pustaka, dan yang tabel dituliskan dihapus aja	ok
9		

Dosen Pembimbing,

Welly Herdanti, S.T., M.Sc.

Mahasiswa Ybs.,

Dewi Perwitasari