



TUGAS AKHIR - RE 184804

PEMANFAATAN LIMBAH *BITTERN* SEBAGAI KOAGULAN DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PENGOLAHAN IKAN

SYAIMA GATNEH
03211740000054

Dosen Pembimbing
Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021



TUGAS AKHIR - RE 184804

**PEMANFAATAN LIMBAH *BITTERN* SEBAGAI
KOAGULAN DALAM PENGOLAHAN LIMBAH
CAIR PENGOLAHAN IKAN**

SYAIMA GATNEH
0321174000054

Dosen Pembimbing
Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021



FINAL PROJECT - RE 184804

**UTILIZATION OF BITTERN AS A COAGULANT
FOR TREATMENT OF FISH PROCESSING
WASTEWATER**

**SYAIMA GATNEH
0321174000054**

**Supervisor
Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.**

**ENVIRONMENTAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN LIMBAH *BITTERN* SEBAGAI KOAGULAN DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PENGOLAHAN IKAN TUGAS AKHIR

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

Oleh :

SYAIMA GATNEH

NRP. 03211740000054

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.

NIP. 19820804 200501 1 001

**SURABAYA
AGUSTUS, 2021**



PEMANFAATAN LIMBAH *BITTERN* SEBAGAI KOAGULAN DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PENGOLAHAN IKAN

Nama Mahasiswa : Syaima Gatneh
NRP : 03211740000054
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil.,
Ph.D.

ABSTRAK

Limbah produksi garam atau *bittern* memiliki konsentrasi magnesium tinggi yang menyebabkan limbah ini memiliki potensi yang besar sebagai koagulan dalam pengolahan air. Limbah cair pengolahan ikan mengandung beban organik yang tinggi dan jika tidak diolah dengan baik limbah ini dapat menyebabkan eutrofikasi dan kematian organisme pada badan air. Proses pengolahan yang membutuhkan biaya tinggi menyebabkan pengolahan limbah cair pengolahan ikan belum terlaksana dengan baik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan di analisis efektivitas *bittern* sebagai alternatif koagulan alami dalam pengolahan limbah cair pengolahan ikan dengan memberikan variasi dosis koagulan *bittern* dan variasi pH selama analisis *jar test*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik *bittern*, mengetahui efisiensi penghilangan kadar TSS, BOD, COD, amonium dan fosfat menggunakan koagulan *bittern* dan menentukan dosis optimum koagulan *bittern* dan kondisi pH untuk menurunkan konsentrasi TSS, BOD, COD, amonium dan fosfat.

Limbah cair pengolahan ikan dimasukkan ke dalam 18 gelas *beaker* dengan volume masing-masing 1L. Setelah itu ditambahkan koagulan *bittern* dengan dosis 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 mL dan diaduk dengan kecepatan 120 rpm selama 1 menit. Setelah pengadukan cepat selesai, dilanjutkan dengan pengadukan lambat dengan kecepatan 40 rpm selama 30 menit. Hasil koagulasi flokulasi didiamkan selama 15 menit agar partikel flok dapat mengendap. Variasi pH yang akan digunakan pada penelitian ini adalah tanpa penyesuaian pH, pH 9 dan pH 10,5.

Berdasarkan analisis *jar test* dengan koagulan *bittern* diperoleh efisiensi penghilangan konsentrasi pencemar optimum untuk TSS adalah 94%, COD sebesar 87,5%, BOD 19,3%, amonium sebesar 40,8% dan fosfat sebesar 96,6%. Dosis dan pH optimum *bittern* adalah 1,5 mL dengan kondisi pH 9. Pada kondisi pH 9 dan dosis *bittern* 1,5 mL dihasilkan 1,73 mg endapan per 1 L limbah cair pengolahan ikan. Estimasi massa lumpur yang dihasilkan pada unit koagulasi flokulasi IPAL Pasar Ikan Pabean adalah 15,57 gram per hari.

Kata Kunci: *Bittern*, flokulasi, *jar test*, koagulasi, limbah cair pengolahan ikan.

UTILIZATION OF BITTERN AS A COAGULANT FOR TREATMENT OF FISH PROCESSING WASTEWATER

Student Name : Syaima Gatneh
Student Number : 03211740000054
Study Programme : Environmental Engineering
Supervisor : Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil.,
Ph.D.

ABSTRACT

Salt or bittern production waste has a high magnesium concentration which causes bittern to have great potential as a coagulant in water treatment. Fish processing wastewater contains a high organic load and if not treated properly this can cause eutrophication and death of organisms in water bodies. The treatment process that requires high costs causes the treatment of fish processing wastewater has not been carried out properly. Therefore, in this study, we will analyze the effectiveness of bittern as an alternative natural coagulant in the treatment of fish processing wastewater by providing variations in the dosage of bittern coagulant and variations in pH during the jar test analysis. The purpose of this study is to determine the characteristics of bittern, determine the removal efficiency of TSS, BOD, COD, ammonium and phosphate using bittern as coagulant and determine the optimum dose of bittern and pH conditions to reduce the concentration of TSS, BOD, COD, ammonium and phosphate.

Fish processing wastewater is put into 18 beakers glass with a volume of 1L each. After that, bittern is added with dosage of 0; 0.5; 1; 1.5; 2; 2.5 mL and stirred at 120 rpm for 1 minute. After the fast stirring is complete, it is continued with slow stirring at 40 rpm for 30 minutes. The effluent of the jar test analysis is allowed to rest for 15 minutes in order for the floc particles to settle. The variation of pH that is used in this research is without pH adjustment, pH 9 and pH 10.5.

Based on the jar test analysis with bittern as coagulant, the optimum pollutant removal efficiency for TSS is 94%, COD is 87.5%, BOD is 19.3%, ammonium is 40.8% and phosphate is 96.6%. The optimum dosage of bittern and pH condition is 1.5 mL with wastewater pH at 9. At pH 9 condition and bittern dosage of 1.5 mL, the coagulation flocculation process produces 1.73 mg of sediment per 1 L of fish processing wastewater. The estimated mass of sludge produced in the WWTP coagulation unit at Pasar Ikan Pabean is 15.57 grams per day.

Keywords: Bittern, flocculation, jar test, coagulation, fish processing waste water.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir tepat waktu.

Tugas akhir ini berjudul “Pemanfaatan Limbah *Bittern* Sebagai Koagulan dalam Pengolahan Limbah Cair Pengolahan Ikan”. Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis berterimakasih kepada:

1. Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Ibu Susi Agustina Wilujeng S.T., M.T., Bapak Welly Herumurti S.T., M.Sc., dan Ibu Ervin Nurhayati S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pengarah yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Alfian Purnomo, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan selama masa perkuliahan.
4. Seluruh pihak dari Pasar Ikan Pabean Surabaya dan PT. Susanti Megah yang telah membantu penulis dalam mengumpulkan data.
5. Kedua orang tua dan keluarga besar penulis yang telah memberikan dukungan baik secara moril maupun materi sehingga penyusunan tugas akhir dapat berjalan lancar.
6. Teman-teman terdekat penulis yang telah memberikan dukungan selama proses pengerjaan tugas akhir.
7. Teman-teman angkatan 2017 yang berjuang bersama menjalani tugas akhir.

Penyusunan tugas akhir ini sudah dilakukan dengan semaksimal mungkin, namun tentu masih terdapat kekurangan oleh karena itu kritik dan saran sangat penulis harapkan.

Surabaya, 6 Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB 2	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Bittern</i> Sebagai Produk Samping Proses Produksi Garam	5
2.2 Parameter Limbah Cair.....	6
2.3 Limbah Cair Pengolahan Ikan.....	9
2.3.1 Karakteristik Limbah Cair Pengolahan Ikan	9
2.4 Baku Mutu Limbah Cair Pengolahan Ikan.....	10
2.5 Proses Pengolahan Limbah Cair Pengolahan Ikan	11
2.6 Koagulasi Flokulasi dalam Pengolahan Air.....	12
2.6.1 Pengaruh pH pada Koagulasi Flokulasi.....	13
2.6.2 Jenis Koagulan	15
2.6.3 <i>Bittern</i> sebagai Koagulan.....	16

BAB 3	19
METODE PENELITIAN	19
3.1 Deskripsi Umum	19
3.4 Tahapan Penelitian.....	22
3.4.1 Ide Penelitian.....	22
3.4.2 Tinjauan Pustaka	23
3.4.3 Persiapan Penelitian.....	23
3.4.4 Uji Karakteristik <i>Bittern</i>	26
3.4.5 Uji Karakteristik Limbah Cair Pengolahan Ikan.....	26
3.4.6 Uji <i>Range Finding Test</i> untuk Menentukan Variasi Dosis Koagulan <i>Bittern</i>	27
3.4.7 Analisis <i>Jar Test</i> untuk Menemukan Dosis <i>Bittern</i> dan pH Optimum Koagulasi Flokulasi	27
3.4.8 Analisis Efluen Koagulasi Flokulasi Air Limbah Cair Pengolahan Ikan.....	29
3.4.9 Analisis Data dan Pembahasan.....	29
BAB 4	31
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Karakteristik Awal Limbah <i>Bittern</i>	31
4.2 Karakteristik Awal Limbah Cair Pengolahan Ikan	31
4.3 Uji <i>Range Finding Test</i>	32
4.4 Analisis Dosis dan pH Optimum Koagulasi Flokulasi dengan Koagulan <i>Bittern</i>	35
4.4.1 Kemampuan Koagulan <i>Bittern</i> dalam Pengurangan Kadar TSS.....	36
4.4.2 Kemampuan Koagulan <i>Bittern</i> dalam Pengurangan Kadar BOD dan COD	38
4.4.3 Kemampuan Koagulan <i>Bittern</i> dalam Pengurangan Kadar Amonium (NH ₄) Fosfat (PO ₄)	41

4.5	Analisis Magnesium (Mg^{2+}) pada Efluen Limbah Cair Pengolahan Ikan	45
4.6	Efektivitas <i>Bittern</i> sebagai Koagulan	46
4.7	Analisis Hasil Endapan Proses Koagulasi Flokulasi dengan Koagulan <i>Bittern</i>	47
4.8	Estimasi Kebutuhan Biaya Operasional Unit Koagulasi Flokulasi dengan Koagulan <i>Bittern</i>	56
BAB 5	.....	61
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	.....	63
LAMPIRAN 1	.....	69
LAMPIRAN 2	.....	78
BIOGRAFI PENULIS	.....	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimiawi Rata-Rata <i>Bittern</i>	5
Tabel 2. 2 Karakteristik Limbah Cair Industri Pengolahan Ikan.....	9
Tabel 2. 3 Karakteristik Limbah Cair Proses Pencucian Industri Ikan	10
Tabel 2. 4 Baku Mutu Air Limbah Industri Pengolahan Ikan dan Air Limbah Domestik.....	11
Tabel 3. 1 Perhitungan Variasi Volume <i>Bittern</i>	25
Tabel 3. 2 Metode Analisis Uji Karakteristik <i>Bittern</i>	26
Tabel 3. 3 Metode Analisis Limbah Cair Pengolahan Ikan.....	26
Tabel 3. 4 Variasi Perlakuan <i>Range Finding Test</i>	27
Tabel 3. 5 Variasi perlakuan analisis Jar Test	29
Tabel 4. 1 Karakteristik Awal Limbah <i>Bittern</i>	31
Tabel 4. 2 Karakteristik Awal Limbah Cair Pengolahan Ikan	31
Tabel 4. 3 Perhitungan Volume <i>Bittern</i>	32
Tabel 4. 4 Variasi Perlakuan <i>Range Finding Test</i>	33
Tabel 4. 5 Variasi Perlakuan pH dan dosis <i>bittern</i>	35
Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Efluen Limbah Cair Pengolahan Ikan dengan Baku Mutu.....	47
Tabel 4. 7 Massa Endapan Proses <i>Jar Test</i> Limbah Cair Pengolahan Ikan	49
Tabel 4. 8 Rincian Bahan dan Estimasi Biaya Unit Koagulasi Flokulasi IPAL Pasar Ikan Pabean	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pengaruh pH Terhadap Zeta Potensial Mineral Magnesit dan Dolomit.....	14
Gambar 2. 2 Pengaruh pH Terhadap Kelarutan $Mg(OH)_2$	15
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian.....	22
Gambar 4. 1 Hasil Uji <i>Range Finding Test</i>	33
Gambar 4. 2 Persen <i>Removal</i> TSS pada Analisis <i>Jar Tests</i>	36
Gambar 4. 3 Persen <i>Removal</i> COD pada Analisis <i>Jar Tests</i>	39
Gambar 4. 4 Persen <i>Removal</i> BOD pada Analisis <i>Jar Tests</i>	40
Gambar 4. 5 Persen <i>Removal</i> Amonium pada Analisis <i>Jar Tests</i>	42
Gambar 4. 6 Persen <i>Removal</i> Fosfat pada Analisis <i>Jar Tests</i> ...	43
Gambar 4. 7 Konsentrasi Mg^{2+} pada Efluen <i>Jar Test</i>	45
Gambar 4. 8 Endapan yang Terbentuk Setelah Analisis <i>Jar Test</i>	48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah proses pembuatan garam adalah larutan garam dari air laut yang telah terkonsentrasi melalui proses evaporasi oleh sinar matahari. Limbah produksi garam dikenal dengan nama *bittern*. Komponen utama *bittern* adalah NaCl, MgCl₂ dan MgSO₄ (Estefan 1983 dalam Apriani dkk. 2018). Konsentrasi mineral di dalam limbah produksi garam dapat bersifat 20- 30 kali lebih besar daripada air laut (Jhala, 2006). Jika tidak diolah dengan baik limbah ini dapat memiliki efek toksik akut pada kehidupan akuatik laut karena air laut menjadi hipersalinitas dan terjadinya perubahan komposisi ion-ion air laut (Apriani dkk., 2018).

Industri pengolahan ikan merupakan salah satu jenis industri yang berkembang saat ini. Berdasarkan data Kementerian Kelautan dan Perikanan Tahun 2018 produk olahan hasil perikanan pada tahun 2017-2018 mengalami pertumbuhan sebesar 5,26% dengan jumlah produksi pada tahun 2018 adalah 6,51 juta ton. Meningkatnya jumlah produksi produk olahan ikan menyebabkan peningkatan terhadap limbah cair yang dihasilkan. Pada umumnya limbah cair pengolahan ikan tidak diolah sebelum dibuang ke badan air. Limbah ini memiliki kandungan nutrisi organik tinggi yang apabila berada dalam badan air akan menyebabkan eutrofikasi pada perairan umum, yang kemudian akan menyebabkan kematian organisme yang hidup dalam air tersebut, pendangkalan, penyuburan ganggang dan bau yang tidak nyaman (Muflih, 2013). Proses pengolahan limbah cair dapat dilakukan secara fisik, kimia dan biologis. Salah satu metode untuk pengolahan secara fisik kimia adalah koagulasi flokulasi.

Koagulasi dan flokulasi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar zat padat tersuspensi yang terkandung dalam limbah cair. Koagulasi adalah dicampurnya koagulan dengan pengadukan secara cepat guna mendestabilisasi koloid dan solid tersuspensi yang halus, dan masa inti partikel, kemudian membentuk mikro flok (Rahimah dkk., 2016). Flokulasi adalah pengadukan perlahan terhadap larutan

mikro flok yang menghasilkan flok berukuran besar dan kemudian mengendap secara cepat (Tjokrokusumo 1995 dalam Rahimah dkk. 2016). Pemilihan koagulan yang tepat akan meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan dan khususnya untuk meningkatkan efisiensi penghilangan padatan. Terdapat banyak jenis koagulan yang dapat digunakan untuk proses koagulasi antara lain tawas, ferosulfat, poli aluminium klorida, dll. Namun bahan-bahan tersebut merupakan bahan kimia buatan, oleh karena itu perlu di cari alternatif lain yang lebih murah dan alamiah.

Beberapa penelitian terdahulu menyebutkan bahwa penggunaan *bittern* sebagai koagulan dalam pengolahan limbah industri kertas mampu menurunkan nilai zat padat tersuspensi (TSS) hingga mencapai 94,95 % (Sutioyono, 2016). Penggunaan *bittern* sebagai koagulan dalam pengolahan limbah industri pengolahan ikan dan memiliki efisiensi penghilangan TSS sebanyak 84% (Purwaningsih dkk., 2017).

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai efektivitas *bittern* sebagai alternatif koagulan dalam pengolahan limbah cair pengolahan ikan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik limbah produksi garam atau *bittern*?
2. Berapa efisiensi penghilangan kadar TSS, BOD, COD, amonium dan fosfat dari koagulasi limbah cair pengolahan ikan menggunakan koagulan *bittern*?
3. Berapa dosis optimum koagulan *bittern* dan pH optimum limbah untuk menurunkan konsentrasi TSS, BOD, COD, amonium dan fosfat pada proses koagulasi limbah cair pengolahan ikan?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan karakteristik limbah produksi garam atau *bittern*.
2. Mendapatkan efisiensi penghilangan konsentrasi TSS, BOD, COD, amonium dan fosfat dari koagulasi limbah cair pengolahan ikan menggunakan koagulan *bittern*.

3. Menentukan dosis optimum koagulan *bittern* dan pH optimum limbah untuk menurunkan konsentrasi TSS, BOD, COD, amonium dan fosfat pada proses koagulasi limbah cair pengolahan ikan.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium.
2. Sampel *bittern* diambil dari industri garam PT. Susanti Megah di Surabaya melalui pertimbangan bahwa limbah di pabrik ini belum ada upaya pemanfaatannya.
3. Sampel limbah cair pengolahan ikan diambil dari Pasar Ikan Pabean Surabaya melalui pertimbangan bahwa limbah ini belum ada upaya pengolahannya.
4. Waktu penelitian ini adalah selama bulan Februari 2021 hingga Juni 2021.
5. Variabel penelitian yang diteliti adalah dosis koagulan dan pH koagulasi flokulasi.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat untuk desain proses koagulasi pada pengolahan limbah cair pengolahan ikan melalui peningkatan efisiensi penghilangan TSS, BOD, COD, amonium dan fosfat menggunakan koagulan *bittern*.
2. Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat secara praktis sebagai masukan untuk petani garam untuk memanfaatkan limbah produksi garam menjadi produk yang memiliki nilai.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Bittern* Sebagai Produk Samping Proses Produksi Garam

Bittern didefinisikan sebagai cairan pekat yang tersisa setelah pengendapan garam kalsium (CaSO_4 dan CaCO_3) dan proses kristalisasi dari sebagian besar natrium klorida (NaCl) pada saat penguapan air laut oleh matahari (Lozano 1993 dalam Semerjian dan Ayoub 2003). Secara umum proses produksi garam terdiri dari 4 tahapan, yaitu (i) stabilisasi untuk menghilangkan partikel besar di air laut dan sebagai penampungan air laut (ii) evaporasi (iii) konsentrasi (iv) kristalisasi dan (v) pemanenan garam (Susanto dkk., 2015). Pengukuran densitas air laut dilakukan secara rutin menggunakan hidrometer yang dinyatakan dalam Be. Hal ini dilakukan karena densitas air laut merupakan komponen penting dalam keberhasilan garam yang di produksi. Air tua dengan kandungan Be melebihi 29 memiliki rasa yang pahit dikarenakan oleh tingginya konsentrasi magnesium yang terkandung. Oleh karena itu, air tua yang memiliki kandungan Be lebih dari 29 harus dikeluarkan dari petak kristalisasi agar tidak mengganggu kualitas produksi garam. Air tua inilah yang disebut dengan *bittern* (Dini 2011 dalam Apriani 2018).

Komponen utama *bittern* adalah NaCl , MgSO_4 , MgCl_2 dan KCl . Selain itu juga terdapat NaSO_4 , Br , dan boraks dalam jumlah yang kecil (Estefan, 1983). Komposisi lengkap dari *bittern* sesuai dengan densitas air laut dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Komposisi Kimiawi Rata-Rata *Bittern*

Densitas (20° C) (g/mL)	Senyawa (% w/w)			
	NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄
1,020	3,05	0,19	0,51	0,26
1,027	3,05	0,19	0,43	0,30
1,030	3,30	0,19	0,61	0,31
1,037	4,06	0,19	0,52	0,42

Densitas (20° C)	Senyawa (% w/w)			
	(g/mL)	NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO_{4}
1,069	7,37	0,38	1,27	0,74
1,095	9,66	0,32	0,30	1,01
1,139	14,23	0,57	1,79	1,23
1,169	11,69	1,33	4,96	1,09
1,202	14,99	1,52	6,09	2,48
1,222	16,62	1,86	5,36	5,69
1,241	14,93	1,37	6,26	4,09
1,251	8,37	2,42	10,46	6,52
1,260	8,31	2,41	11,04	6,85
1,270	6,49	2,86	13,55	7,18
1,281	7,37	2,56	11,86	7,30
1,295	4,94	3,46	14,73	7,78
1,302	2,79	3,87	18,03	5,90
1,315	2,55	4,16	19,28	6,38
1,321	0,91	1,42	25,50	4,54

Sumber: Beg dkk. 1986 dalam Semerjian dan Ayoub 2003

2.2 Parameter Limbah Cair

Menurut Metcalf dan Eddy (2005), parameter limbah cair bisa digolongkan sebagai berikut:

1. Parameter fisik

a. *Total Solids* (TS)

Padatan yang terdiri dari bahan padat organik atau anorganik yang dapat larut, mengendap atau tersuspensi pada air limbah. Padatan ini dapat menyebabkan kekeruhan pada badan air. Bahan ini pada akhirnya akan mengendap di dasar air sehingga menimbulkan pendangkalan pada dasar badan air penerima.

b. *Total Suspended Solids* (TSS)

Total padatan tersuspensi (TSS) didefinisikan sebagai padatan dalam air yang dapat terperangkap oleh filter. Untuk mengukur TSS, sampel air disaring melalui filter yang telah ditimbang sebelumnya. Residu yang tertahan pada filter dikeringkan dalam oven pada suhu 103-105 °C sampai berat filter tidak lagi berubah. Peningkatan berat filter mewakili TSS (Ismail dkk., 2019)

c. Warna

Kondisi air bersih pada dasarnya tidak memiliki warna, namun seiring berjalannya waktu dan meningkatnya kondisi anaerob, warna limbah berubah dari abu-abu menjadi kehitaman.

d. Kekeruhan

Kekeruhan pada air disebabkan oleh zat padat tersuspensi, baik yang organik maupun anorganik. Hal ini dapat membatasi pencahayaan ke dalam air.

e. Temperatur

Temperatur memiliki efek terhadap reaksi kimia, kehidupan organisme air dan penggunaan air untuk aktivitas sehari-hari.

f. Bau

Disebabkan oleh udara yang dihasilkan pada proses dekomposisi materi atau penambahan substansi pada limbah.

2. Parameter kimia

a. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi limbah organik biodegradable yang terdapat didalam air.

b. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Merupakan jumlah kebutuhan oksigen dalam air untuk proses reaksi secara kimia guna menguraikan unsur pencemar yang ada. COD dinyatakan dalam ppm (*part per milion*).

c. *Dissolved Oxygen (DO)*

Merupakan parameter yang menyatakan ketersediaan oksigen terlarut dalam air untuk keperluan respirasi mikroorganisme. Ketersediaan oksigen terlarut dipengaruhi oleh kelarutan gas, tekanan udara, temperatur, dan konsentrasi zat pengotor dalam air.

d. pH

Air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan mempunyai pH sekitar 6,5 – 7,5. Air akan bersifat asam atau basa tergantung besar kecilnya pH. Bila pH di bawah pH

normal, maka air tersebut bersifat asam, sedangkan air yang mempunyai pH di atas pH normal bersifat basa.

e. Amonium

Amonium (NH_4^+) adalah salah satu dari beberapa bentuk nitrogen yang ada di lingkungan perairan. Tidak seperti bentuk nitrogen lainnya, yang dapat menyebabkan pengayaan nutrisi yang berlebihan pada badan air pada konsentrasi tinggi dan efek tidak langsung pada kehidupan akuatik, amonia menyebabkan efek toksik langsung pada kehidupan akuatik. NH_4^+ adalah ion amonium yang memiliki muatan positif dan berat molekul 18g/mol. $\text{NH}_4\text{-N}$ adalah kandungan nitrogen dari ion amonium (USEPA, 2013). Pada penelitian ini akan digunakan parameter amonium dalam bentuk NH_4^+ karena $\text{NH}_4\text{-N}$ membahas konversi senyawa nitrogen, sedangkan pada baku mutu, yang digunakan adalah amonium, maka menggunakan NH_4^+ .

f. Fosfat

Fosfor dalam sistem perairan terjadi sebagai fosfat organik dan fosfat anorganik. Fosfat organik terdiri dari molekul fosfat yang terkait dengan molekul berbasis karbon, seperti pada jaringan tumbuhan atau hewan. Fosfat yang tidak berasosiasi dengan bahan organik adalah anorganik. Fosfor anorganik adalah bentuk yang dibutuhkan oleh tanaman. Hewan dapat menggunakan fosfat organik atau anorganik. Karena molekul PO_4 tiga kali lebih berat dari atom P, hasil yang dilaporkan sebagai PO_4 adalah tiga kali konsentrasi yang dilaporkan sebagai P (USEPA, 2013). Pada penelitian ini parameter yang digunakan adalah PO_4 karena pada baku mutu digunakan nilai fosfat (PO_4).

3. Parameter biologis

Parameter biologis yang digunakan untuk mengukur kualitas air limbah biasanya adalah jumlah mikroorganisme. Mikroorganisme dapat mengonsumsi bahan-bahan organik yang terkandung dalam air limbah untuk membuat biomassa sel baru serta zat-zat organik dan memanfaatkan energi yang dihasilkan dari reaksi oksidasi untuk metabolismenya.

2.3 Limbah Cair Pengolahan Ikan

Limbah cair pengolahan ikan dihasilkan dari proses pemotongan, pencucian, dan pengolahan produk. Limbah ini mengandung darah dan potongan-potongan kecil ikan serta kondensat dari proses pemasakan dan air pendinginan dari kondensor (Muflih, 2003). Tingkat pencemaran dari limbah cair ini tergantung pada tipe proses pengolahan dan spesies ikan yang diolah.

2.3.1 Karakteristik Limbah Cair Pengolahan Ikan

Limbah cair pengolahan ikan memiliki kandungan organik yang tinggi. Kontribusi terbesar beban organik pada limbah industri pengolahan ikan berasal dari industri pengalengan dengan beban COD 37,56 kg/m³, disusul oleh industri pengolahan *fillet* ikan salmon yang menghasilkan beban limbah 1,46 kg COD/m³. Kemudian industri krustasea dengan beban COD yang kecil. Perbandingan beban organik industri pengalengan, pemfiletan salmon dan krustasea adalah 74,3%, 21,6% dan 4,1% (River dkk., 1998). Limbah cair pengolahan ikan juga mengandung senyawa nitrogen yang tinggi yang merupakan protein air laut setelah mengalami *leaching* selama pencucian, *defrost*, dan proses pemasakan (Battistoni dkk. 1992 dalam Muflih 2003). Karakteristik limbah cair industri perikanan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Karakteristik Limbah Cair Industri Pengolahan Ikan

Jenis Industri	BOD	COD	Lemak/Minyak	TSS
Pengolahan Ikan (manual)	3,32 kg/t	-	0,348 kg/	1,42 kg/t
Pengolahan ikan (mekanis)	11,9 kg/t	-	2,48 kg/t	8,92 kg/t
Pengolahan <i>fillet herring</i>	3428-10000 mg/l	-	857-6000 mg/l	-
Pengalengan tuna	6,8–20 kg/t	14-64 kg/t	1,7-13 kg/t	3,8-17 kg/t
Pengolahan sarden	9,22 kg/t	-	1,74 kg/t	5,41 kg/t

Jenis Industri	BOD	COD	Lemak/Minyak	TSS
Pengolahan rajungan	4,8–5,5 kg/t	7,2-7,8 kg/t	0,21-0,3 kg/t	0,7-0,78 kg/t
Pengolahan kerang (mekanis)	5,14 kg/t	-	0,145 kg/t	10,2 kg/t
Pengolahan kerang (konvensional)	18,7 kg/t	-	0,461 kg/t	6,35 kg/t
Pabrik tepung	2,96 kg/t	-	0,56 kg/t	0,92 kg/t
<i>Bloodwater (fishmeal)</i>	23500-34000 mg/l	93000 mg/l	0%-1,92%	-
<i>Stickwater (fishmeal)</i>	13000-76000 mg/l	1780 mg/l	60-1560 mg/l	-
Udang beku	160 mg/l	-	-	-

Sumber: Gonzales 1996 dan Hayati 1998 dalam Muslih 2003

Pada penelitian Purwanto (2017) telah dianalisis karakteristik limbah cair pada proses pengolahan ikan yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Karakteristik Limbah Cair Proses Pencucian Industri Ikan

Parameter	Satuan	Konsentrasi
BOD	mg/L	204,77
COD	mg/L	369,55
TSS	mg/L	500
pH	-	4

Sumber: Purwanto, 2017.

2.4 Baku Mutu Limbah Cair Pengolahan Ikan

Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah dari suatu usaha dan atau kegiatan. Baku mutu air limbah cair pengolahan ikan yang bersumber dari pasar ikan sesuai dalam

Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang baku mutu air limbah bagi industri dan/atau kegiatan usaha lainnya dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016 mengenai baku mutu air limbah domestik terdapat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Baku Mutu Air Limbah Industri Pengolahan Ikan dan Air Limbah Domestik

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah Industri Pengolahan Ikan	Baku Mutu Air Limbah Domestik	Baku Mutu yang Digunakan Limbah
1	pH	-	6-9	6-9	6-9
2	BOD	mg/L	100	30	30
3	COD	mg/L	150	100	100
4	TSS	mg/L	30	30	30
5	Minyak dan Lemak	mg/L	15	5	5
6	Amonia	mg/L	5	10	5
7	Total Coliform	Jumlah/1000 mL	-	3000	3000
7	Klor bebas	mg/L	1	-	1
8	Sulfida	mg/L	1	-	1

Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016

2.5 Proses Pengolahan Limbah Cair Pengolahan Ikan

Pada umumnya, limbah cair pengolahan ikan diolah dalam 2 tahapan, yaitu pengolahan fisik yang dilanjutkan dengan pengolahan biologis atau kimiawi. Untuk air limbah pengolahan hasil laut, proses pengolahan fisik yang digunakan adalah *screening*, sedimentasi, *grease trap*, dan flotasi. Operasi unit ini umumnya akan menghilangkan hingga 85% dari total padatan

tersuspensi, dan 65% BOD₅ dan COD dalam air limbah (Wang, 2004).

2.6 Koagulasi Flokulasi dalam Pengolahan Air

Koagulasi adalah proses mengurangi atau menetralkan muatan listrik pada partikel tersuspensi atau zeta potensi. Muatan listrik serupa pada partikel kecil di air menyebabkan partikel tersebut secara alami saling tolak dan menahan partikel kecil koloid terpisah dan menjaganya dalam suspensi (Ebeling dkk., 2003).

Berdasarkan Saputri (2011), pengadukan cepat atau koagulasi memiliki beberapa tujuan yaitu:

- a. Melarutkan koagulan
- b. Mendistribusikan koagulan secara merata dalam air
- c. Menghasilkan partikel-partikel halus sebagai inti koagulasi sebelum reaksi koagulan selesai.

Waktu tinggal proses koagulasi biasanya berkisar dari 30 detik hingga 2 menit. Intensitas dan durasi pencampuran koagulan harus dikontrol untuk mencegah pecahnya mikroflok atau dosis koagulan yang tidak merata. Nilai gradien kecepatan tipikal untuk pencampuran cepat berkisar dari 250 -1500 per detik (Metcalf dan Eddy, 2005).

Flokulasi adalah proses menyatukan partikel mikroflok ke membentuk partikel berukuran besar dengan pencampuran fisik atau melalui pengikatan flokulan, seperti polimer rantai panjang (Ebeling dkk., 2003). Pengadukan flokulasi jauh lebih lambat untuk memungkinkan interaksi maksimum dari flok untuk membentuk flok berukuran besar. Nilai tipikal gradien kecepatan untuk flokulasi berkisar dari 20-80 per detik, dengan waktu retensi 20-30 menit (Metcalf dan Eddy, 2005).

Menurut Saputri (2011) pengadukan lambat digunakan pada proses flokulasi karena:

- a. Memberikan kesempatan kepada partikel flok yang sudah terbentuk inti flok untuk bergabung membentuk flok yang ukurannya semakin membesar.

- b. Memudahkan flokulan untuk mengikat flok-flok kecil.
- c. Mencegah pecahnya flok yang sudah terbentuk.

Faktor-faktor yang mempengaruhi koagulasi-flokulasi antara lain suhu, pH, dosis dan jenis koagulan (Saritha dkk., 2017).

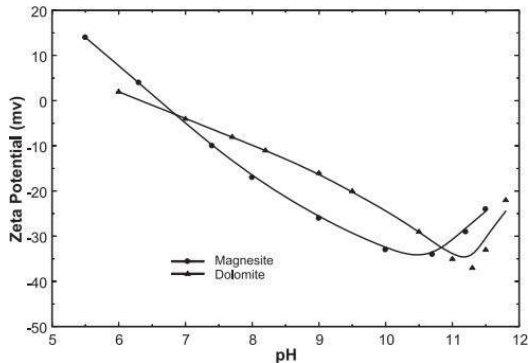
2.6.1 Pengaruh pH pada Koagulasi Flokulasi

Nilai pH dalam proses koagulasi flokulasi dapat mempengaruhi muatan permukaan, bentuk koagulan dan pencemar yang akan dihilangkan (Naceradska dkk., 2019). Koagulan yang digunakan untuk koagulasi membentuk ion tertentu dalam larutan yang bertanggung jawab selama proses koagulasi berlangsung.

Nilai pH berpengaruh terhadap zeta potensial. Zeta potensial menggambarkan perilaku *surface charging* dalam kontak dengan elektrolit berbasis air dan memberikan informasi tentang titik isoelektrik, muatan permukaan dalam fungsi pH, tetapi juga dari gugus fungsi yang terpapar pada antar permukaan padat-cair, reaktivitas dari permukaan dalam larutan uji dan proses penyerapan. Besarnya zeta potensial menunjukkan derajat tolakan elektrostatis antara partikel-partikel yang berdekatan dan bermuatan serupa dalam suatu dispersi (Ferraris dkk., 2018). Faktor terpenting yang mempengaruhi zeta potensial adalah pH medium. Faktor lain termasuk kekuatan ionik, konsentrasi aditif, dan suhu. Nilai zeta potensial dapat dikaitkan dengan stabilitas emulsi jangka pendek dan jangka panjang (Lu dan Gao, 2010).

Pada grafik pH dan zeta potensial, titik dimana plot melewati zeta potensial nol disebut titik isoelektrik dan merupakan titik penting untuk pertimbangan praktis. Pada titik ini kemungkinan besar akan terjadi agregasi dan karenanya sistem koloid berada pada titik paling tidak stabil. Oleh karena itu, zeta potensial sangat relevan dengan studi praktis dan kontrol stabilitas koloid dan proses flokulasi.

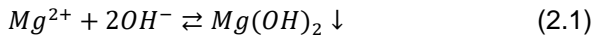
Grafik nilai zeta potensial pada magnesium terdapat pada Gambar 2.1.



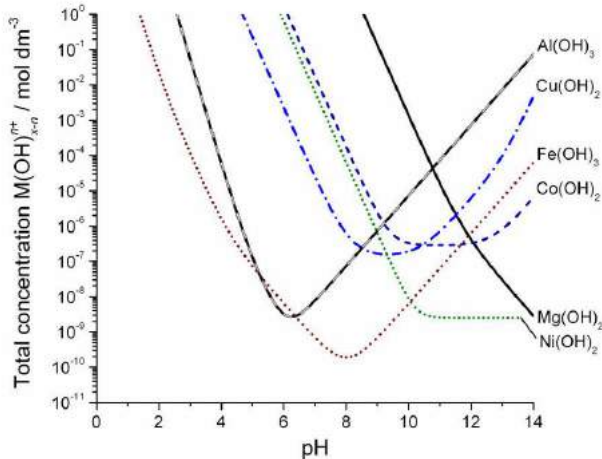
Gambar 2. 1 Pengaruh pH Terhadap Zeta Potensial Mineral Magnesit dan Dolomit

Sumber: Chen dan Tao, 2004

Ketika magnesium terkandung dalam air limbah, peningkatan pH setelah alkalisasi akan menghasilkan pengendapan magnesium hidroksida.



Presipitasi magnesium dimulai pada kira-kira pH 9,5, menjadi signifikan pada pH 10,5 (Semerjian dan Ayoub, 2003). Proses alkalisasi air limbah pada koagulasi flokulasi menggunakan koagulan *bittern* mencapai pH 10,5 penting untuk dilakukan karena kelarutan magnesium sensitif terhadap pH dan suhu. Ukuran flok juga dipengaruhi oleh pH, yang selanjutnya menentukan kepadatan flok yang diflokulasi dan kecenderungan serta laju pengendapannya (Bratby 2006 dalam Ernest dkk. 2017). Grafik kelarutan $Mg(OH)_2$ terhadap pH dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Pengaruh pH Terhadap Kelarutan $Mg(OH)_2$
 Sumber: McKerracher, 2012

Pada penelitian ini $Ca(OH)_2$ digunakan sebagai agen alkalisasi untuk menaikkan pH limbah cair menjadi 9 dan 10,5. $Ca(OH)_2$ telah digunakan untuk mengolah air limbah karena berbagai alasan. $Ca(OH)_2$ tidak memberikan kontribusi terhadap peningkatan salinitas (Dziubek dan Kowal 1984 dalam Semerjian dan Ayoub 2003). Selain itu, $Ca(OH)_2$ secara efektif mengendapkan fosfat, logam, bakteri dan sebagai koagulan untuk menghilangkan bahan tersuspensi dan koloid dalam air limbah.

2.6.2 Jenis Koagulan

Koagulan adalah zat kimia yang digunakan untuk pembentukan flok pada proses pencampuran (koagulasi-flokulasi). Koagulan menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Jenis koagulan yang digunakan bergantung pada tingkat keefektifannya biaya yang diperlukan relatif terhadap koagulan alternatif.

Jenis koagulan yang biasa digunakan antara lain:

1. Koagulan garam logam
 - a. Aluminium sulfat ($Al_3(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$)

- b. *Feri chloride* $FeCl_3$
 - c. *Fero chloride* $FeCl_2$
 - d. *Feri sulphate* $Fe_2(SO_4)_3$
2. Koagulan polimer kationik
- a. *Poly Alumunium Chloride (PAC)*
 - b. Kitosan
 - c. *Curie Flock*

Dalam aplikasinya, koagulan garam logam akan mengalami hidrolisis dalam air sedangkan koagulan polimer tidak. Flok yang dihasilkan dari koagulasi flokulasi dengan koagulan jenis polimer lebih padat dengan kecepatan mengendap yang tinggi (Rifa'i, 2007).

2.6.3 *Bittern* sebagai Koagulan

Bittern memiliki potensi yang besar untuk digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air limbah. Hal ini dikarenakan *bittern* memiliki kandungan magnesium yang tinggi. Ion magnesium memiliki kemampuan untuk mendestabilisasi koloid dengan menetralkan muatan listrik di permukaan koloid pada air limbah sehingga terbentuknya gumpalan (inti flok). Selanjutnya inti flok ini akan mengalami proses flokulasi dimana inti flok akan ditutupi oleh partikel-partikel koloid yang ada pada air limbah sehingga membentuk flok dengan ukuran lebih besar dan mudah mengendap (Hidayat dan Nur 2016 dalam Purwaningsih dkk. 2017).

Endapan $Mg(OH)_2$ memiliki luas permukaan adsorpsi yang besar dan muatan superfisial positif, yang menarik partikel koloid bermuatan negatif, sehingga menginduksi proses adsorpsi dan aglomerasi. Hal ini menjelaskan efisiensi signifikan yang dicapai ketika $Mg(OH)_2$ diendapkan. Reaksi pengendapan magnesium dalam proses koagulasi flokulasi dengan agen alkalisasi $Ca(OH)_2$ terdapat pada Persamaan 2.2 dan 2.3.



Penambahan *bittern* sebagai koagulan dapat berperan dalam proses destabilisasi partikel, agregasi dan peningkatan pengendapan disebabkan oleh peningkatan formasi $Mg(OH)_2$ tidak larut dan banyaknya elektrolit yang menyebabkan pematatan lapisan ganda koloid, sehingga menghasilkan koagulasi yang lebih baik (Ødegaard 1989 dalam Semerjian dan Ayoub 2003).

Penggunaan *bittern* sebagai koagulan untuk berbagai jenis limbah cair telah diteliti sebelumnya. Purwaningsih dkk. (2017) menyebutkan bahwa penggunaan *bittern* sebagai koagulan dapat menurunkan COD, BOD, TSS, warna, *total phosphate*, *total nitrogen* dan logam berat pada limbah pengolahan ikan. Pada penelitian ini, pH air limbah pengolahan ikan disesuaikan hingga mencapai 11 dengan penambahan NaOH yang dilanjutkan dengan penambahan *bittern* sebagai sumber magnesium. Variasi volume *bittern* yang dilakukan adalah 10%-50%. Hasil optimum dari variasi volume *bittern* dan waktu pengadukan lambat adalah removal COD sebesar 74,70%, BOD 76,25%, dan TSS sebesar 84% dengan penambahan volume *bittern* 40% dan waktu pengadukan lambat 30 menit.

Pada penelitian Sutyono (2006) didapatkan *recovery* TSS optimum 94,95% dengan volume *bittern* sebanyak 4 mL dan waktu pengadukan lambat selama 75 menit. Penelitian ini dilakukan dengan kondisi pH limbah cair industri kertas 11 dengan penambahan $Ca(OH)_2$. Perbandingan antara penggunaan *bittern* dan koagulan komersial yaitu $MgCl_2$ dan $Al_2(SO)_4$ dalam menghilangkan TSS pada limbah cair zat warna telah dilakukan. Penelitian dilakukan pada kondisi pH 11 dan konsentrasi kation yang bervariasi pada koagulan yang ditambahkan mulai dari 0 mg/L sampai 200 mg/L. Hasil terbaik dalam proses penghilangan kekeruhan diperoleh pada kondisi penambahan konsentrasi Mg^{2+} 100 mg/L pada penggunaan *bittern* dan $MgCl_2$ dengan efisiensi penyisihan 92%, sedangkan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ membutuhkan penambahan yang lebih besar. konsentrasi Al yang diperlukan yaitu 200 mg/L untuk efisiensi penyisihan yang sama. Selain itu, proses penghilangan warna pada limbah cair menggunakan *bittern* dan $MgCl_2$ pada konsentrasi 100 mg/L memiliki efisiensi penyisihan masing-masing sebesar 80% dan 70%, sedangkan $Al_2(SO_4)_3$ pada konsentrasi 200 mg/L memiliki efisiensi

penghilangan sebesar 82%. Dari hasil yang diperoleh, penggunaan *bittern* sebagai koagulan memiliki hasil yang positif jika dibandingkan dengan koagulan komersial lainnya yaitu dengan menghasilkan efisiensi penyisihan yang lebih besar (Albuquerque dkk., 2013).

2.8 Teknik Analisis Jar Test

Jar test adalah teknik analisis skala laboratorium untuk menentukan dosis optimum koagulan yang diperlukan dalam proses pengolahan air (Oktaviasari dan Mashuri, 2016). Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) kegunaan dari metode uji *jar test* adalah:

1. Untuk mengevaluasi berbagai jenis koagulan dan koagulan pembantu pada proses pengolahan air.
2. Pengaruh konsentrasi koagulan dan koagulan pembantu juga dapat dievaluasi dengan metode ini.

Alat yang diperlukan dalam teknik analisis *jar test* menurut SNI adalah:

1. Pengaduk

Pengaduk multi posisi dengan kecepatan kontinu dengan variasi 20-150 rpm. Baling-baling harus terbuat dari bahan ringan dan tahan terhadap korosi dengan ukuran dan bentuk yang sama.

2. Gelas kimia

Gelas kimia mempunyai ukuran dan bentuk yang sama, dengan ukuran yang disarankan minimal 1000 mL.

3. Rak pereaksi

Alat untuk memasukkan setiap larutan uji kedalam gelas kimia secara serempak. Sekurang- kurangnya harus tersedia satu buah rak untuk setiap larutan atau suspensi uji.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Deskripsi Umum

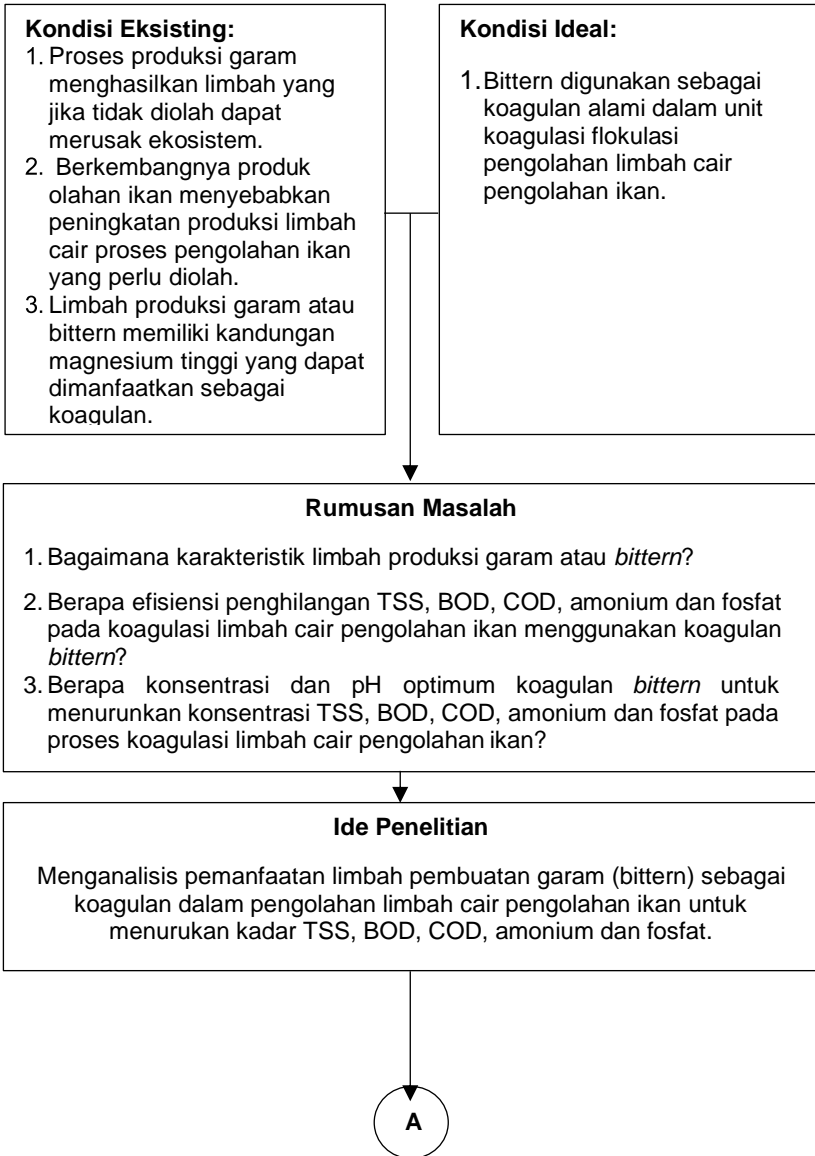
Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik *bittern*, efektivitas *bittern* dalam koagulasi flokulasi limbah cair pengolahan ikan, dan mengetahui dosis *bittern* dan pH optimum dalam koagulasi flokulasi limbah cair pengolahan ikan. Pada tahap persiapan penelitian akan dilakukan uji karakteristik *bittern* dan uji karakteristik limbah cair pengolahan ikan. Selanjutnya akan dilanjutkan dengan uji *range finding test* untuk menentukan *range* konsentrasi *bittern* yang akan digunakan. Hasil yang didapatkan pada *range finding test* akan digunakan pada analisis *jar test* utama. Efluen dari proses *jar test* akan dianalisis karakteristik pencemar untuk mengetahui efisiensi koagulan *bittern*.

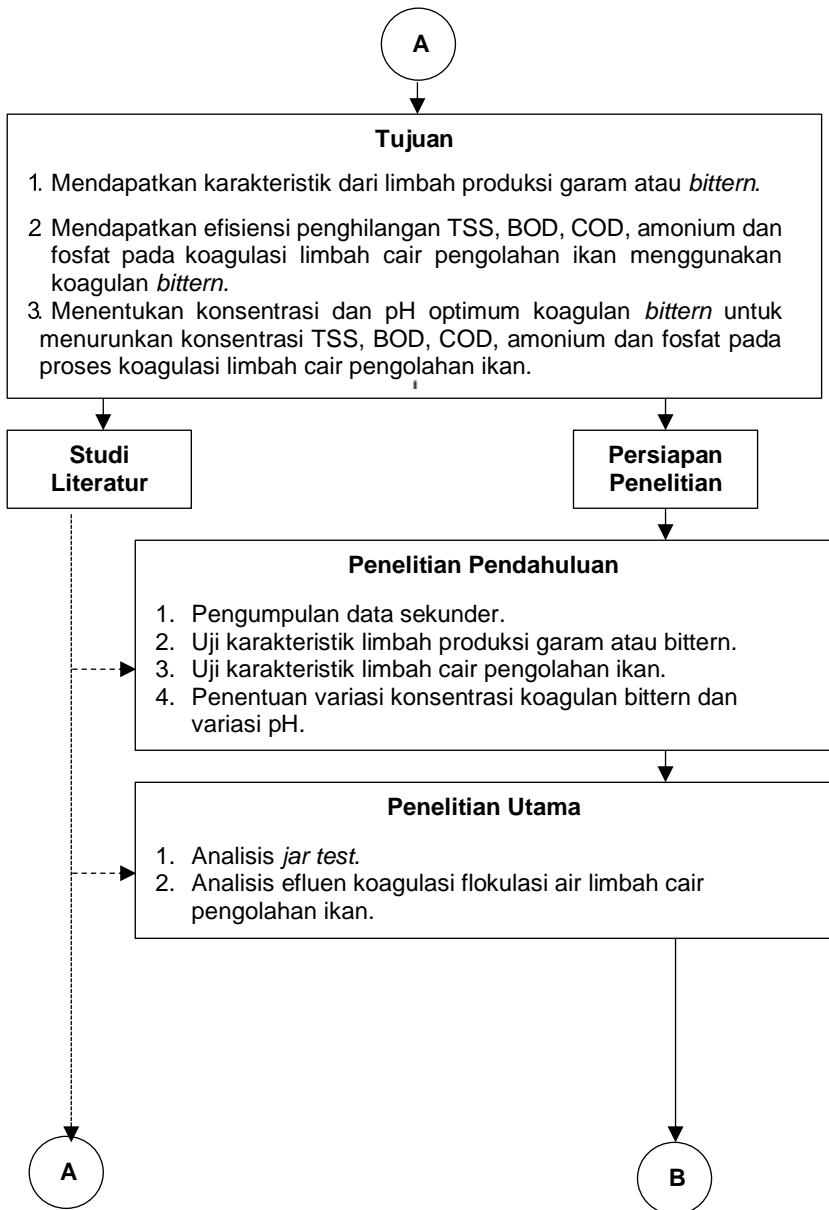
a. Tempat dan Waktu Penelitian

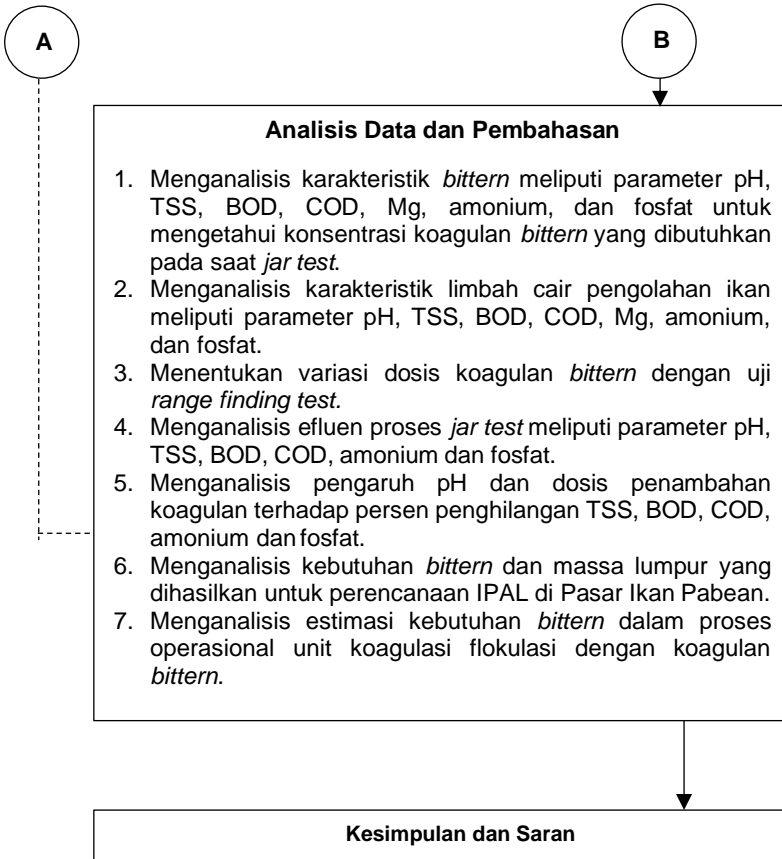
Lokasi pengambilan sampel limbah *bittern* adalah di PT. Susanti Megah Surabaya. Lokasi pengambilan sampel limbah cair pengolahan ikan berada di Pasar Ikan Pabean Surabaya. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air pada bulan Februari hingga Juni 2021.

b. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian adalah tahapan yang akan dilakukan selama pengerjaan tugas akhir. Dalam kerangka penelitian, akan diuraikan langkah-langkah yang akan dilakukan agar pelaksanaan tugas akhir dapat dilakukan secara sistematis dan untuk mengurangi kesalahan yang terjadi saat proses penelitian. Diagram kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.







Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.4 Tahapan Penelitian

Berdasarkan kerangka penelitian, maka tahapan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.4.1 Ide Penelitian

Ide penelitian diperoleh dari identifikasi masalah yang terjadi pada usaha produksi garam tradisional yang sebagian besar limbahnya belum terolah secara maksimal. Seharusnya limbah ini diolah atau dimanfaatkan agar tidak mencemari lingkungan.

Namun pada kenyataannya, *bittern* dibuang langsung ke laut dan mencemari ekosistem laut. Selain itu meningkatnya produksi produk olahan ikan berakibat pada peningkatan limbah cair pengolahan ikan yang perlu diolah.

Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukan adanya penelitian untuk pemanfaatan limbah produksi garam atau *bittern* sebagai koagulan alami dalam proses koagulasi flokulasi limbah cair pengolahan ikan.

3.4.2 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka berguna untuk mendukung ide penelitian secara teori serta membantu memperluas pemahaman terhadap ide yang akan diteliti. Sumber-sumber yang digunakan meliputi *text book*, jurnal/artikel ilmiah, laporan penelitian, peraturan dan standar yang berlaku, tugas akhir dan karya terdahulu yang berhubungan dengan ide penelitian. Berikut merupakan data yang diperlukan dari tinjauan pustaka:

1. *Bittern* sebagai produk samping proses produksi garam.
2. Parameter limbah cair.
3. Limbah cair pengolahan ikan.
4. Karakteristik limbah cair pengolahan ikan.
5. Baku mutu limbah cair pengolahan ikan.
6. Proses pengolahan limbah cair pengolahan ikan.
7. Koagulasi flokulasi dalam pengolahan air.
8. *Bittern* sebagai koagulan.
9. Teknik analisis *jar test*.

3.4.3 Persiapan Penelitian

Pada tahap persiapan penelitian dilakukan persiapan sampel limbah *bittern*, alat dan bahan yang mendukung penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari instansi pemerintahan seperti Kementerian LHK serta dari penelitian sebelumnya. Berikut merupakan data sekunder yang dibutuhkan:

b. Karakteristik limbah produksi garam atau *bittern*

Data ini diperoleh dari penelitian yang dilakukan Semerjian dan Ayoub (2003) yang terdapat pada Tabel 2.1.

c. Kualitas influen dan efluen koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern* dari penelitian sebelumnya

Data ini diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sutiyono (2006) mengenai pemanfaatan *bittern* sebagai koagulan pada limbah cair industri kertas, Purwaningsih (2017) mengenai pengaruh penambahan *bittern* pada limbah cair dari industri pengolahan ikan, dan penelitian Semerjian dan Ayoub (2003) tentang koagulasi flokulasi dengan pH tinggi magnesium di air limbah. Data ini digunakan sebagai data pembanding hasil analisis laboratorium.

c. Baku Mutu Limbah Cair Pengolahan Ikan

Baku mutu yang digunakan berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016 yang terdapat pada Tabel 2.4. Baku mutu digunakan sebagai acuan dalam pengolahan limbah cair menggunakan desain unit koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern*.

2. Persiapan Sampel *Bittern*

Sampel yang digunakan adalah limbah produksi industri garam sebanyak 240 mL berdasarkan perhitungan kebutuhan sampel limbah *bittern* sebagai berikut:

- Kandungan Mg^{2+} pada *bittern* diasumsikan 15.900 mg/L (Apriani, 2018).
- Dosis optimum pada penggunaan *bittern* untuk air limbah industri pengolahan tepung ikan pada penelitian Nugraha dkk. (2016) adalah:

d. Dosis optimum untuk removal TSS:

Volume *bittern* = 50 mL

Konsentrasi Mg^{2+} pada *bittern* = 4783 mg/L

$$\begin{aligned} \text{Massa Mg}^{2+} &= \text{Konsentrasi} \times \text{Volume} \\ &= 4783 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL} \\ &= 239,15 \text{ mg} \end{aligned}$$

e. Dosis optimum untuk removal kekeruhan:

$$\text{Volume } \textit{bittern} = 40 \text{ mL}$$

$$\text{Konsentrasi Mg}^{2+} \text{ pada } \textit{bittern} = 4783 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Mg}^{2+} &= \text{Konsentrasi} \times \text{Volume} \\ &= 4783 \text{ mg/L} \times 40 \text{ mL} \\ &= 191,32 \text{ mg} \end{aligned}$$

Berdasarkan massa tersebut, ditentukan variasi massa Mg^{2+} *bittern* untuk koagulasi limbah cair pengolahan ikan adalah 150; 175; 200; 225; 250 mg. Perhitungan perkiraan volume *bittern* yang digunakan untuk analisis *jar test* terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Perhitungan Variasi Volume *Bittern*

Variasi massa Mg^{2+} pada <i>bittern</i> (mg)	Asumsi konsentrasi sampel limbah <i>bittern</i> (mg/L)	Volume <i>bittern</i> (mL) (Massa/Konsentrasi)	Volume digunakan (mL)
150	15.900	9.4	9.5
175		11.0	11
200		12.5	12.5
225		14.1	14
250		15.7	16
Total			63

Selain untuk analisis *jar test*, 100 mL *bittern* juga diperlukan untuk uji karakteristik awal. Berdasarkan perhitungan tersebut, maka diprediksi volume limbah *bittern* yang dibutuhkan adalah 163 mL. Pada saat melakukan analisis, limbah *bittern* dikocok terlebih

dahulu untuk mengatasi endapan yang terjadi pada proses penyimpanan.

3.4.4 Uji Karakteristik *Bittern*

Pengambilan sampel *bittern* dilakukan sesuai dengan *APHA Standard Methods*. Uji karakteristik *bittern* diperlukan untuk mengetahui konsentrasi magnesium yang terkandung pada sampel limbah *bittern*. Parameter yang diuji yakni pH, TSS, BOD, COD, Mg, amonium, dan fosfat.

Tabel 3. 2 Metode Analisis Uji Karakteristik *Bittern*

Kegiatan	Metode	Acuan
pH	pH meter	<i>APHA Standard Method</i>
Magnesium	Titrimetri	
TSS	Gravimetri	
BOD	Winkler	
COD	Reflux/titrimetric	
Amonium	Nessler	
Fosfat	Spektrofotometri	

3.4.5 Uji Karakteristik Limbah Cair Pengolahan Ikan

Analisis kualitas air limbah awal bertujuan untuk mengetahui karakteristik limbah awal sebelum percobaan. Parameter yang dianalisis adalah pH, TSS, BOD, COD, Mg, amonium, fosfat, sulfida, klor bebas, total coliform, minyak dan lemak. Analisis ini dilakukan sesuai dengan *APHA Standard Methods* yang terdapat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Metode Analisis Limbah Cair Pengolahan Ikan

Kegiatan	Metode	Acuan
pH	pH meter	<i>APHA Standard Method</i>
Magnesium	Titrimetri	
TSS	Gravimetri	
BOD	Winkler	
COD	Reflux/titrimetric	
Amonium	Nessler	
Fosfat	Spektrofotometri	
Sulfida	Spektrofotometri	
Klor Bebas	Spektrofotometri	

Kegiatan	Metode	Acuan
Total Coliform	<i>Total Plate Count</i>	<i>APHA Standard</i>
Minyak dan Lemak	Gravimetri	<i>Methods</i>

3.4.6 Uji *Range Finding Test* untuk Menentukan Variasi Dosis Koagulan *Bittern*

Penentuan variasi volume *bittern* dilakukan berdasarkan penelitian terdahulu dan uji *range finding test*. Pada Tabel 3.1 telah didapatkan variasi massa Mg^{2+} yang terkandung dalam *bittern*. Setelah hasil analisis kandungan Mg^{2+} pada sampel *bittern* PT. Susanti Megah didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah menghitung 5 variasi volume *bittern* yang akan digunakan. 5 variasi dosis tersebut akan diuji dengan 2 variasi kecepatan dan waktu pengadukan lambat yang berbeda. Perlakuan pertama adalah pengadukan lambat dengan kecepatan 50 rpm selama 45 menit dan perlakuan kedua adalah dengan kecepatan 40 rpm selama 30 menit. Pada uji *range finding test*, pengadukan cepat dilakukan dengan kecepatan 120 rpm selama 1 menit dan limbah cair pengolahan ikan dikondisikan pada pH 10,5 karena pH tersebut merupakan pH optimum untuk presipitasi magnesium. Variasi perlakuan pada uji *range finding test* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Variasi Perlakuan *Range Finding Test*

Volume <i>Bittern</i> (mL)	Kecepatan dan Waktu Pengadukan Lambat	
	50 rpm, 45 menit	40 rpm, 30 menit
Volume 1	Sampel 1	Sampel 7
Volume 2	Sampel 2	Sampel 8
Volume 3	Sampel 3	Sampel 9
Volume 4	Sampel 4	Sampel 10
Volume 5	Sampel 5	Sampel 11
Volume 6	Sampel 6	Sampel 12

3.4.7 Analisis *Jar Test* untuk Menemukan Dosis *Bittern* dan pH Optimum Koagulasi Flokulasi

Analisis *jar test* dilakukan untuk menentukan dosis optimum koagulan yang diperlukan dalam proses pengolahan air. Analisis ini dilakukan sesuai dengan *APHA Standard Methods*.

- Penyesuaian pH

Pada analisis ini, terdapat 3 perlakuan pH yang berbeda yaitu pH tanpa penyesuaian, 9 dan 10,5. Kondisi pH 9 digunakan untuk mengetahui efektivitas *bittern* tanpa ada campuran bahan kimia lain. pH 9 digunakan untuk mengetahui efektivitas *bittern* pada kondisi sesuai baku mutu dan pH 10,5 merupakan pH optimum untuk presipitasi magnesium. Proses alkalisasi dilakukan dengan mencampurkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kedalam limbah cair pengolahan ikan sebelum proses *jar test* dimulai. Selama analisis *jar test* berlangsung kondisi pH dijaga dengan menggunakan pH meter.

- Penambahan *Bittern* pada Limbah Cair Pengolahan Ikan

Penambahan *bittern* pada limbah cair pengolahan ikan difungsikan sebagai koagulan pada proses koagulasi untuk mengendapkan partikel-partikel tersuspensi. Sampel diberi perlakuan dengan massa *bittern* yang berbeda-beda untuk mengetahui dosis optimum koagulan *bittern*. Variasi volume *bittern* didapatkan dari hasil *range finding test*.

- Pengadukan Cepat (*Rapid Mixing*)

Pengadukan cepat bertujuan untuk mendispersikan koagulan secara merata ke dalam air baku untuk memacu pembentukan flok. Pada penelitian ini, pengadukan cepat dilakukan dengan kecepatan 120 rpm selama 1 menit. Kecepatan dan waktu pengadukan disesuaikan dengan *APHA Standard Methods* dan penelitian Ahmed dkk. (2014).

- Pengadukan Lambat (*Slow Mixing*)

Flokulasi merupakan proses pembentukan flok yang pada dasarnya merupakan pengelompokan/aglomerasi antara partikel dengan koagulan menggunakan proses pengadukan lambat atau *slow mixing*. Pada flokulasi terjadi proses penggabungan beberapa partikel menjadi flok yang berukuran besar. Partikel yang berukuran besar akan mudah diendapkan. Kecepatan pengadukan lambat yang digunakan berdasarkan hasil *range finding test*.

Variasi perlakuan *jar test* pada penelitian ini terdapat pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Variasi perlakuan analisis Jar Test

Volume <i>Bittern</i> (mL)	pH		
	Tanpa Penyesuaian	9	10,5
Volume 1	Sampel 1	Sampel 7	Sampel 13
Volume 2	Sampel 2	Sampel 8	Sampel 14
Volume 3	Sampel 3	Sampel 9	Sampel 15
Volume 4	Sampel 4	Sampel 10	Sampel 16
Volume 5	Sampel 5	Sampel 11	Sampel 17
Volume 6	Sampel 6	Sampel 12	Sampel 18

3.4.8 Analisis Efluen Koagulasi Flokulasi Air Limbah Cair Pengolahan Ikan

Setelah proses pengendapan, dilakukan analisis efluen dari proses pengendapan. Parameter yang dianalisis adalah TSS, BOD, COD, pH, magnesium, amonium, dan fosfat. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi koagulasi menggunakan koagulan *bittern*. Selain itu juga akan dilakukan penimbangan endapan hasil koagulasi flokulasi untuk mengetahui massa dan dari endapan yang terbentuk dari proses koagulasi flokulasi limbah cair pengolahan ikan dengan koagulan *bittern*.

Pada analisis efluen tidak dilakukan analisis parameter sulfida, klor bebas, total coliform, minyak dan lemak karena diasumsikan pada kondisi lapangan parameter tersebut telah dihilangkan pada pengolahan pendahuluan. Koagulasi flokulasi pada pengolahan air pada umumnya telah didahului dengan unit pengolahan pendahuluan seperti kolam sedimentasi dan *grease trap* sehingga beberapa kadar pencemar telah hilang. Analisis ini dilakukan sesuai dengan *APHA Standard Methods* yang terdapat pada Tabel 3.3.

3.4.9 Analisis Data dan Pembahasan

Hasil yang akan dianalisis pada bagian ini merupakan data sekunder maupun data primer yang didapatkan selama pelaksanaan penelitian. Berikut merupakan sub bahasan pada bab analisis data dan pembahasan:

1. Menganalisis karakteristik *bittern* meliputi parameter pH, TSS, BOD, COD, Mg, amonium, dan fosfat untuk mengetahui konsentrasi koagulan *bittern* yang dibutuhkan pada saat *jar test*.

2. Menganalisis karakteristik limbah cair pengolahan ikan meliputi parameter pH, TSS, BOD, COD, Mg, amonium, dan fosfat.
3. Menentukan variasi dosis koagulan *bittern* dengan uji *range finding test*.
4. Menganalisis efluen proses *jar test* meliputi parameter pH, TSS, BOD, COD, Mg²⁺, amonium dan fosfat.
5. Menganalisis pengaruh pH dan dosis penambahan koagulan terhadap persen penghilangan TSS, BOD, COD, amonium dan fosfat.
6. Menganalisis konsentrasi Mg²⁺ yang terkandung pada efluen proses koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern*.
7. Menganalisis endapan yang dihasilkan pada proses koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern*.
8. Menganalisis estimasi kebutuhan *bittern* dalam proses operasional unit koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern*.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Awal Limbah *Bittern*

Karakteristik awal limbah *bittern* dianalisis untuk mengetahui kadar TSS, BOD, COD, ammonium, fosfat dan magnesium pada *bittern*. Kadar magnesium yang didapatkan akan digunakan untuk menentukan volume *bittern* dalam proses koagulasi flokulasi. Karakteristik awal limbah *bittern* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Karakteristik Awal Limbah *Bittern*

Parameter	Satuan	Konsentrasi
pH	-	7
TSS	mg/L	6.540
BOD	mg/L	7.200
COD	mg/L	10.400
Amonium	mg/L	295,2
Fosfat	mg/L	47,6
Mg ²⁺	mg/L	151.410

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa sampel *bittern* PT. Susanti Megah memiliki kandungan Mg²⁺ yang tinggi yaitu 151.410 mg/L. Pada penelitian Ayoub dan Semerjian (2003) konsentrasi Mg²⁺ dalam *bittern* adalah 53.473 mg/L dan pada Apriani dkk. (2018) konsentrasi Mg²⁺ pada *bittern* adalah 10.000-40.000 mg/L. Semakin tinggi kadar Mg²⁺ yang terkandung pada *bittern* maka semakin kecil kebutuhan *bittern* dalam proses koagulasi flokulasi.

4.2 Karakteristik Awal Limbah Cair Pengolahan Ikan

Uji karakteristik awal limbah cair pengolahan ikan bertujuan untuk mengetahui kadar pencemaran pada limbah dan menilai kesesuaiannya dengan baku mutu yang ada. Selain itu hasil analisis karakteristik awal limbah akan digunakan sebagai acuan dalam menganalisis efektivitas *bittern* sebagai koagulan. Hasil uji karakteristik awal limbah cair pengolahan ikan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Karakteristik Awal Limbah Cair Pengolahan Ikan

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
pH	-	7,2-7,8	6-9
TSS	mg/L	100-270	30

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
COD	mg/L	7.280-15.600	100
BOD	mg/L	2.218-5.000	30
Amonium	mg/L	400-560	5
Fosfat	mg/L	125-230	-
Mg ²⁺	mg/L	5.713-14.284	-
Turbidity	NTU	32-80	-

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa konsentrasi pencemar pada limbah cair pengolahan ikan masih melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan untuk mengurangi kadar pencemar tersebut.

4.3 Uji *Range Finding Test*

Uji *range finding test* dilakukan untuk menentukan *range* dosis koagulan *bittern* yang akan digunakan. Pada uji ini, variasi massa Mg²⁺ yang terkandung dalam *bittern* sesuai pada tabel 3.1 dan hasil analisis kandungan Mg²⁺ pada sampel *bittern* PT. Susanti Megah digunakan untuk mendapatkan volume *bittern*. Perhitungan volume *bittern* yang digunakan terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Perhitungan Volume *Bittern*

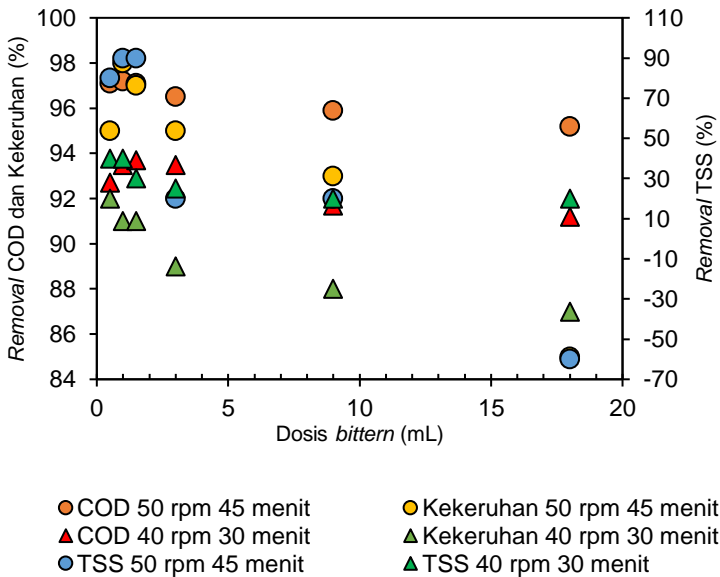
Massa Mg ²⁺ (mg)	Konsentrasi Mg 2+ pada <i>bittern</i> PT. Susanti Megah (mg/L)	Volume <i>bittern</i> (mL)
150		0,99
175		1,15
200	151.410	1,32
225		1,48
250		1,65

Dari hasil perhitungan tersebut, maka dilakukan uji *range finding test* dengan volume *bittern* 0,5; 1; 1,5; 3; 9; 18 mL. Volume 1,5 mL digunakan sebagai representasi dari hasil perhitungan pada Tabel 4.3. Variasi perlakuan dosis *bittern* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Variasi Perlakuan *Range Finding Test*

Volume <i>Bittern</i> (mL)	Kecepatan dan Waktu Pengadukan Lambat	
	50 rpm, 45 menit	40 rpm, 30 menit
0,5	Sampel 1	Sampel 7
1,0	Sampel 2	Sampel 8
1,5	Sampel 3	Sampel 9
3,0	Sampel 4	Sampel 10
9,0	Sampel 5	Sampel 11
18,0	Sampel 6	Sampel 12

Hasil dari uji *range finding test* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hasil Uji *Range Finding Test*

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa *bittern* dapat dilihat bahwa penggunaan *bittern* sebagai koagulan dapat menurunkan konsentrasi pencemar pada limbah cair pengolahan ikan. Pada

seluruh variasi perlakuan yang dilakukan, kadar TSS dan kekeruhan pada limbah cair pengolahan ikan telah memenuhi baku mutu. Pada variasi perlakuan pertama, yaitu pada kecepatan pengadukan lambat 50 rpm selama 45 menit, didapatkan volume optimum *bittern* adalah 1 mL untuk COD dan kekeruhan dengan persen *removal* 97,2% dan 98,1%. Volume optimum untuk parameter TSS pada variasi perlakuan pertama adalah 1,5 mL *bittern* dengan persen *removal* 90%. Pada variasi waktu dan kecepatan pengadukan kedua yaitu 40 rpm selama 40 menit, volume optimum dalam penghilangan konsentrasi COD adalah 1,5 mL *bittern* dengan persen *removal* 93,7%. Volume optimum kadar TSS dan kekeruhan adalah 1 mL dan 0,5 mL dengan persen *removal* 40% dan 92%. Persen *removal* yang berbeda dari proses *jar test* disebabkan oleh perbedaan pada kecepatan dan waktu pengadukan lambat. Kecepatan pengadukan lambat yang terlalu rendah dapat menyebabkan proses penggabungan inti flok yang tidak optimal dan kecepatan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan inti flok pecah kembali (Puspitasari, 2015).

Pada kedua variasi waktu dan kecepatan pengadukan lambat, persen *removal* kadar pencemar mulai mengalami penurunan signifikan pada dosis *bittern* 3 mL. Hal ini terjadi karena dosis koagulan yang ditambahkan telah melebihi dosis optimum. Dosis koagulan yang berlebih menyebabkan kelebihan kation pada limbah cair yang menyebabkan restabilisasi muatan partikel koloid karena terjadi adsorpsi *counter ion*. Jika terjadi adsorpsi *counter ion* yang berlebih, muatan partikel koloid akan menjadi positif dan menyebabkan tolak menolak antar partikel sehingga gaya van der Waals tidak bekerja (Nugroho, 2009).

Dari hasil uji *range finding test* didapatkan *range* volume *bittern* yang akan digunakan pada analisis penentuan volume optimum koagulan *bittern* untuk koagulasi flokulasi limbah cair pengolahan ikan. Variasi kecepatan dan waktu pengadukan lambat yang digunakan dalam analisis penentuan volume optimum koagulan *bittern* adalah 40 rpm selama 30 menit. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa pada kondisi tersebut parameter TSS dan kekeruhan telah memenuhi baku mutu dan mempertimbangkan efisiensi penggunaan energi dan biaya pada proses koagulasi flokulasi. Dosis koagulan yang digunakan adalah

0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 mL. Pemilihan dosis ini dilakukan karena persen *removal* kadar pencemar tinggi pada 0,5 – 2,5 mL dan mengalami penurunan pada 3 mL.

Pada penelitian ini digunakan 3 variasi pH limbah cair pengolahan ikan untuk mengetahui pengaruh pH terhadap proses koagulasi flokulasi. Variasi pertama adalah pH awal limbah cair pengolahan ikan tanpa penyesuaian yaitu 7,2-7,8. Variasi kedua adalah pH 9 menyesuaikan dengan standar baku mutu, dan variasi terakhir adalah pH 10,5 sebagai pH optimum untuk presipitasi magnesium. Variasi perlakuan pada analisis pH dan dosis optimum koagulan *bittern* pada proses koagulasi flokulasi limbah cair pengolahan ikan terdapat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Variasi Perlakuan pH dan dosis *bittern*

Volume <i>Bittern</i> (mL)	pH		
	Tanpa Penyesuaian	9	10,5
0,0	Sampel 1	Sampel 7	Sampel 13
0,5	Sampel 2	Sampel 8	Sampel 14
1,0	Sampel 3	Sampel 9	Sampel 15
1,5	Sampel 4	Sampel 10	Sampel 16
2,0	Sampel 5	Sampel 11	Sampel 17
2,5	Sampel 6	Sampel 12	Sampel 18

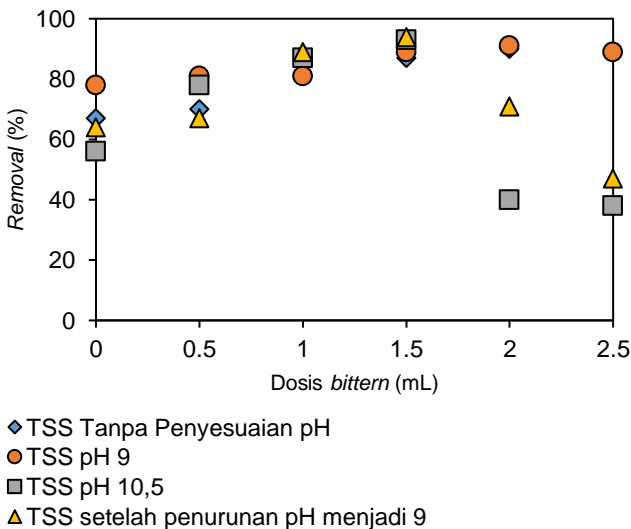
4.4 Analisis Dosis dan pH Optimum Koagulasi Flokulasi dengan Koagulan *Bittern*

Analisis *jar test* untuk menentukan dosis dan pH optimum proses koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern* dilakukan dengan kecepatan pengadukan cepat 120 rpm selama 1 menit dan pengadukan lambat 40 rpm selama 30 menit. Terdapat 18 variasi perlakuan dosis *bittern* dan pH *jar test* yang dilakukan dengan masing-masing sampel memiliki volume 1 liter. Variasi perlakuan selama analisis *jar test* dapat dilihat pada Tabel 4.5. Hal-hal yang perlu diperhatikan pada tahap ini adalah kondisi pH selama proses *jar test* berlangsung dijaga pada titik pH yang telah ditentukan menggunakan pH meter. Jika pH mengalami penurunan, maka akan dinaikkan pada pH yang sesuai dengan larutan Ca(OH)_2 5%. Hasil analisis *jar test* dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Pada penelitian ini penggunaan *bittern* sebagai koagulan dapat menurunkan kadar pencemar pada limbah cair. Hal ini terjadi karena kandungan magnesium yang tinggi pada *bittern*. Reaksi proses pengendapan $Mg(OH)_2$ pada proses koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern* dan agen alkalisasi $Ca(OH)_2$ terdapat pada Persamaan 2.2 dan 2.3.

4.4.1 Kemampuan Koagulan *Bittern* dalam Pengurangan Kadar TSS

Kadar total padatan tersuspensi yang tinggi akan meningkatkan suhu air dan menurunkan kadar oksigen terlarut (DO) (Wetzel, 2001). Hal ini karena partikel tersuspensi menyerap lebih banyak panas dari radiasi matahari daripada molekul air. Panas ini kemudian ditransfer ke air sekitarnya melalui konduksi. Air yang lebih hangat tidak dapat menampung oksigen terlarut sebanyak air yang lebih dingin, sehingga kadar DO akan turun (Hickin, 1995). Pada penelitian ini kertas saring yang digunakan memiliki pori 1,1 mikron. Hasil analisis persen *removal* kadar TSS pada limbah cair pengolahan ikan pada proses koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern* terdapat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 2 Persen *Removal* TSS pada Analisis *Jar Tests*

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pada perlakuan pH pertama yaitu perlakuan tanpa penyesuaian pH limbah cair pengolahan ikan, dosis optimum *bittern* terjadi pada volume 2 mL dengan persen *removal* 89,6%. Pada variasi perlakuan pH 9, dosis optimum *bittern* terjadi pada volume 2 mL dengan persen *removal* 90,7%. Pada variasi pH 10,5 dosis optimum *bittern* terjadi pada volume 1,5 mL dengan persen *removal* 93,3%. Kondisi pH 10,5 kemudian diturunkan dengan H₂SO₄ menjadi pH 9 untuk menyesuaikan dengan standar baku mutu yang ada. Setelah proses penurunan pH didapatkan peningkatan persen *removal* TSS yaitu 94% pada volume *bittern* 2 mL.

Persen *removal* tertinggi didapatkan pada pH 10,5 dengan dosis *bittern* 1,5 mL yaitu 93,3% dan 94% setelah proses penurunan pH menjadi 9. Hal ini sesuai dengan hasil temuan Semerjian dan Ayoub (2003) yaitu proses koagulasi flokulasi limbah industri dengan koagulan *bittern* pada kondisi pH tinggi menghasilkan efisiensi *removal* sebesar 90-95%.

Penghilangan kadar TSS disebabkan oleh penambahan dosis *bittern* yang dapat meningkatkan ukuran partikel zat tersuspensi sehingga terbentuk flok berukuran besar. Hal ini akan meningkatkan pengurangan TSS. *Bittern* memiliki kandungan magnesium tinggi yang dapat mendestabilisasi koloid dengan menetralkan muatan listrik di permukaan koloid pada air limbah sehingga terbentuknya gumpalan (inti flok). Selanjutnya inti flok ini akan mengalami proses flokulasi dimana inti flok akan ditutupi oleh partikel-partikel koloid yang ada pada air limbah sehingga membentuk flok dengan ukuran lebih besar dan mudah mengendap (Hidayat dan Nur 2016 dalam Purwaningsih dkk. 2017). Persamaan reaksi proses pengendapan Mg(OH)₂ dalam koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern* terdapat pada Persamaan 2.2 dan 2.3.

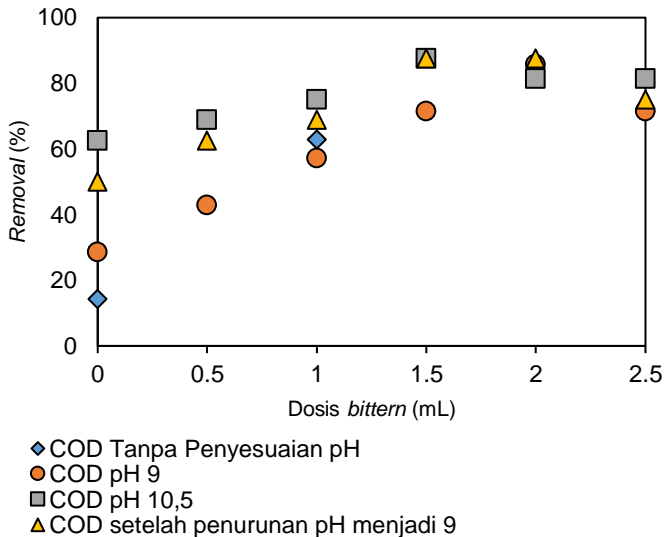
Selain dosis *bittern*, pH juga memiliki pengaruh penting dalam proses koagulasi flokulasi. Nilai pH mempengaruhi muatan permukaan dan bentuk dari koagulan dan zat padat tersuspensi untuk dihilangkan. Mengontrol tingkat pH secara signifikan akan meningkatkan efisiensi proses (Naceradska dkk., 2019).

Presipitasi magnesium dimulai pada sekitar pH 9,5, menjadi signifikan di pH 10,5. Magnesium hidroksida yang dihasilkan pada presipitasi magnesium adalah endapan yang ditemukan dapat menjadi koagulan dan flokulan yang efisien (Vrale, 1978). Karena itu agar proses pengolahan dapat berjalan secara efisien, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ harus digunakan untuk meningkatkan pH air limbah asli menjadi pH 10,5. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ memiliki luas permukaan adsorpsi yang besar dan muatan superfisial positif, yang menarik partikel koloid bermuatan negatif, termasuk flok sehingga menginduksi adsorpsi dan aglomerasi. Ini menjelaskan efisiensi signifikan yang dicapai ketika $\text{Mg}(\text{OH})_2$ diendapkan (Semerjian & Ayoub, 2003).

Nilai zeta potensial minimum untuk magnesium terdapat pada pH 10,5-11. Pada pH ini terdapat titik isoelektrik dimana kemungkinan besar akan terjadi agregasi dan karenanya sistem koloid berada pada titik paling tidak stabil. Grafik nilai zeta potensial magnesium terhadap pH terdapat pada Gambar 2.1. Persamaan reaksi proses pengendapan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ pada kondisi pH tinggi terdapat pada Persamaan 2.1.

4.4.2 Kemampuan Koagulan *Bittern* dalam Pengurangan Kadar BOD dan COD

BOD dan COD merupakan parameter yang digunakan dalam mengukur kadar zat organik dalam air. BOD adalah jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh bakteri saat menguraikan bahan organik dalam kondisi aerobik dan COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk oksidasi kimiawi zat organik total dalam air (Panawala, 2018). Semakin tinggi nilai BOD dan COD, semakin tinggi tingkat pencemaran air oleh zat organik. Hasil analisis persen *removal* COD dalam limbah cair pengolahan ikan dalam proses koagulasi flokulasi menggunakan koagulan *bittern* dapat dilihat pada Gambar 4.4.

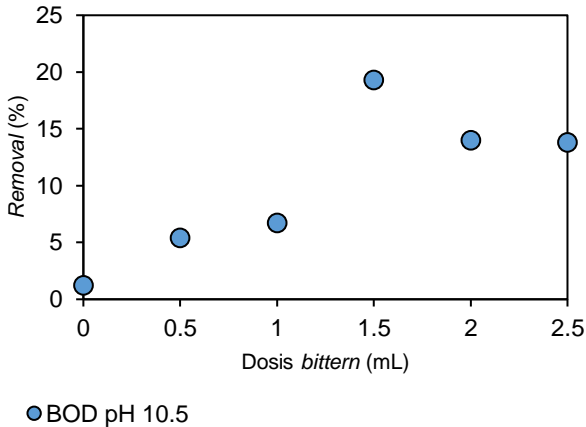


Gambar 4. 3 Persen *Removal* COD pada Analisis *Jar Tests*

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pada variasi perlakuan pH pertama yaitu perlakuan tanpa penyesuaian pH limbah cair pengolahan ikan, dosis optimum *bittern* untuk penghilangan konsentrasi COD terjadi pada volume 2 mL dengan persen *removal* 85,7%. Pada variasi perlakuan pH 9, dosis optimum *bittern* terjadi pada volume 2 mL dengan persen *removal* COD 85,7%. Pada variasi pH 10,5 dosis optimum *bittern* terjadi pada volume 1,5 mL dengan persen *removal* 87,5%. Kondisi pH 10,5 kemudian diturunkan dengan H_2SO_4 menjadi pH 9 untuk menyesuaikan dengan standar baku mutu yang ada. Setelah proses penurunan pH didapatkan persen *removal* COD optimum adalah 87,5% pada volume *bittern* 1,5 dan 2 mL.

Persen *removal* COD tertinggi didapatkan pada pH 10,5 dengan dosis *bittern* 1,5 mL yaitu 87,5%. Pada penelitian Semerjian dan Ayoub (2003) tentang proses koagulasi flokulasi limbah industri dengan koagulan *bittern* pada kondisi pH tinggi didapatkan persen *removal* COD sebesar 80%.

Sedangkan untuk BOD, persen *removal* tertinggi didapatkan pada pH 10,5 dengan dosis *bittern* 1,5 mL yaitu 19,3%. Hasil analisis persen *removal* BOD dalam limbah cair pengolahan ikan dalam proses koagulasi flokulasi menggunakan koagulan *bittern* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 4 Persen *Removal* BOD pada Analisis *Jar Tests*

Penghilangan BOD dan COD pada air limbah pengolahan ikan dapat berasal dari penghilangan bahan organik tersuspensi dan juga bahan organik terlarut.

Penghilangan bahan organik tersuspensi disebabkan oleh penambahan koagulan *bittern* yang mengandung ion Mg^{2+} dan $Ca(OH)_2$ yang mengandung ion Ca^{2+} yang akan berikatan dengan partikel koloid bermuatan negatif dan membentuk inti flok. Lalu pada proses flokulasi terjadi tumbukan antar flok yang akan membentuk flok cukup besar untuk mengendap.

Bahan organik terlarut didefinisikan sebagai matriks kompleks bahan organik yang terdapat di perairan dan dapat mempengaruhi secara signifikan banyak aspek pengolahan air, termasuk kinerja unit proses, aplikasi disinfektan, dan stabilitas biologis. Bahan organik terlarut menjadi semakin penting dalam pengelolaan air minum karena dapat bereaksi dengan klorin selama proses desinfeksi dan menghasilkan produk samping

disinfektan seperti trihalomethanes (THMs). Zat humat akuatik, terdiri dari asam fulvat dan asam humik adalah prekursor paling umum dari THMs (Lancin, 2008).

Salah satu kandungan bahan organik terlarut yang banyak dalam air adalah asam humat dan asam fulvat. Kedua bahan organik ini memiliki berat molekul yang cukup besar yaitu komponen terbesar asam humat berada pada kisaran berat molekul lebih dari 300.000, sedangkan persentase terbesar asam fulvat berada pada kisaran berat molekul 100.000–300.000 (MacFarlane, 1978). Selain itu, asam humat dan asam fulvat memiliki muatan negatif yang memungkinkan pengikatan ion oleh Mg^{2+} dari *bittern* atau Ca^{2+} dari penambahan $Ca(OH)_2$ (Li dkk., 2013).

Berat molekul yang besar dan muatan yang negatif ini menyebabkan bahan organik terlarut dapat dihilangkan melalui proses koagulasi flokulasi. Pada penelitian Lancin (2008) didapatkan bahwa proses koagulasi flokulasi dengan koagulan Al_2SO_4 dapat menghilangkan bahan organik terlarut sebanyak 70%. Pada penelitian ini belum bisa diketahui apakah partikel organik tersuspensi atau terlarut yang berperan dalam penghilangan kadar BOD dan COD pada limbah cair pengolahan ikan.

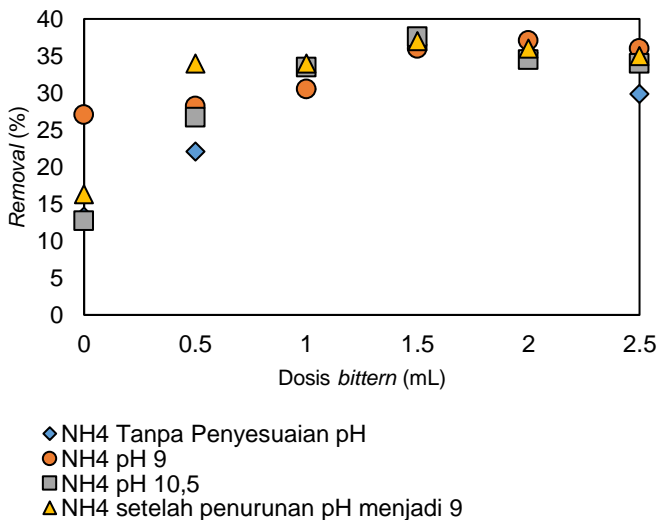
Efluen dari proses koagulasi flokulasi limbah cair pengolahan ikan dengan koagulan *bittern* masih belum memenuhi baku mutu untuk parameter BOD dan COD, sehingga pada penerapannya, perlu dilakukan pengolahan lanjutan untuk menghilangkan kadar zat organik yang terdapat pada limbah.

4.4.3 Kemampuan Koagulan *Bittern* dalam Pengurangan Kadar Amonium (NH_4) Fosfat (PO_4)

Kandungan fosfat (PO_4) dan amonium (NH_4) merupakan parameter penting dalam pengolahan limbah cair. Konsentrasi fosfat yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan pertumbuhan alga dan tanaman air yang dapat mengakibatkan penurunan kadar oksigen terlarut (DO) dalam proses yang disebut eutrofikasi. Konsentrasi fosfat yang tinggi juga dapat menyebabkan

pertumbuhan alga yang menghasilkan racun alga yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan hewan (Singh, 2013).

Ketika konsentrasi amonium tinggi pada air, organisme akuatik sulit untuk mengeluarkan racun secara memadai, yang menyebabkan penumpukan racun di jaringan internal dan darah, dan berpotensi kematian (US EPA, 2013). Hasil analisis persen *removal* NH_4 dan PO_4 dalam limbah cair pengolahan ikan dalam proses koagulasi flokulasi menggunakan koagulan *bittern* dapat dilihat pada Gambar 4.6.

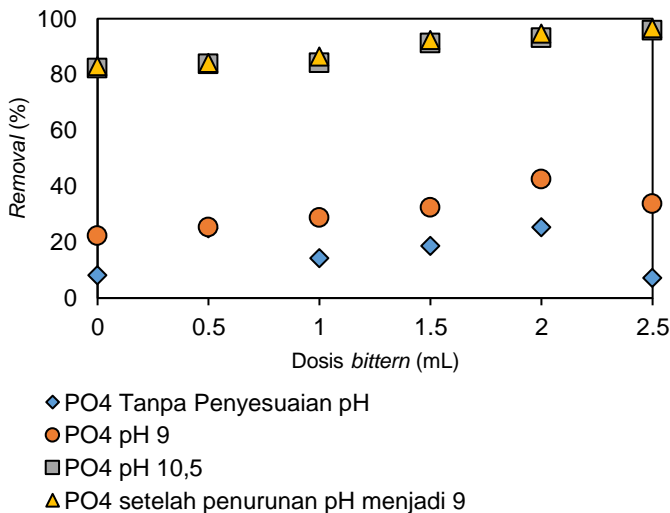


Gambar 4. 5 Persen *Removal* Amonium pada Analisis *Jar Tests*

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa pada variasi perlakuan pH pertama yaitu perlakuan tanpa penyesuaian pH limbah cair pengolahan ikan, dosis optimum *bittern* untuk penghilangan konsentrasi amonium terjadi pada volume 1,5 mL dengan persen *removal* 36,5%. Pada variasi perlakuan pH 9, dosis optimum *bittern* terjadi pada volume 2 mL dengan persen *removal* amonium 37,1%. Pada variasi pH 10,5 dosis optimum *bittern* terjadi pada volume 1,5 mL dengan persen *removal* 37,6%. Kondisi pH

10,5 kemudian diturunkan dengan H_2SO_4 menjadi pH 9 untuk menyesuaikan dengan standar baku mutu yang ada. Setelah proses penurunan pH didapatkan persen *removal* optimum untuk amonium terdapat pada volume *bittern* 1,5 mL yaitu 37%.

Persen *removal* amonium tertinggi didapatkan pada pH 10,5 dengan dosis *bittern* 1,5 mL yaitu 37,6%. Pada penelitian Semerjian dan Ayoub (2013) didapatkan hasil persen *removal* amonium pada koagulasi *bittern* dengan kondisi pH tinggi adalah 31%.



Gambar 4. 6 Persen *Removal* Fosfat pada Analisis *Jar Tests*

Sedangkan untuk persen *removal* fosfat pada Gambar 4.6 variasi perlakuan pH pertama yaitu perlakuan tanpa penyesuaian pH, dosis optimum *bittern* untuk penghilangan konsentrasi fosfat terjadi pada volume 2 mL dengan persen *removal* 25,4%. Pada variasi perlakuan pH 9, dosis optimum *bittern* terjadi pada volume 2 mL dengan persen *removal* fosfat 42,5%. Pada variasi pH 10,5 dosis optimum *bittern* terjadi pada volume 2,5 mL dengan persen *removal* 95,8%. Kondisi pH 10,5 kemudian diturunkan dengan H_2SO_4 menjadi pH 9 untuk menyesuaikan dengan standar baku

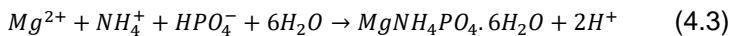
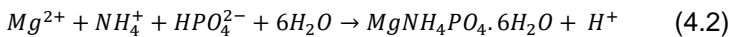
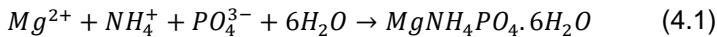
mutu yang ada. Setelah proses penurunan pH didapatkan persen *removal* optimum untuk amonium terdapat pada volume *bittern* 2,5 mL yaitu 96,6%.

Persen *removal* fosfat tertinggi didapatkan pada pH 10,5 dengan dosis *bittern* 2,5 mL yaitu 95,8% dan 96.6% setelah proses penurunan pH menjadi 9. Hasil penelitian Shin dan Lee (1997) dalam Semerjian dan Ayoub (2003) mendapatkan hasil persen *removal* fosfat dan amonia menggunakan koagulan *bittern* pada air limbah yang diberi perlakuan alkalisasi sebesar 95% dan 65%.

Pada penelitian Adiman dkk. (2020) disebutkan bahwa konsentrasi ion Mg^{2+} yang tinggi dapat meningkatkan reaksi penyisihan PO_4 dari larutan. Pengendapan kimia amonia sebagai magnesium amonium fosfat (*struvite*) pada pengolahan limbah cair dapat menjadi alternatif kompetitif untuk penghilangan amonia secara biologis. Penghilangan konsentrasi fosfat dan amonium dengan proses presipitasi magnesium merupakan metode yang banyak digunakan karena potensi *struvite* yang akan dihasilkan.

Pada proses *jar test* dilakukan penambahan *bittern* sebagai koagulan dan $Ca(OH)_2$ untuk menaikkan pH limbah. Dalam proses ini, terjadi presipitasi Mg^{2+} dan Ca^{2+} yang akan mengikat partikel terlarut pada limbah dan membentuk inti kristal. Kondisi pH limbah cair dengan solubilitas larutan yang rendah akan merubah fase partikel dari terlarut menjadi tidak terlarut dan mengendapkan inti kristal yang telah terbentuk. Hal ini menyebabkan kadar fosfat dan amonium berkurang pada efluen limbah cair pengolahan ikan.

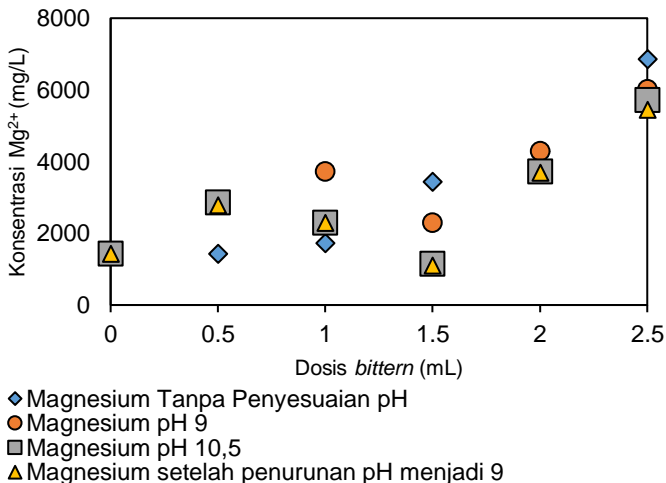
Penghilangan konsentrasi NH_4^+ dan PO_4^{3-} dengan pengendapan *struvite* terjadi menurut reaksi berikut:



Faktor-faktor yang mempengaruhi proses kristalisasi struvite, seperti pH, ion penyusun (Mg^{2+} , PO_4^{3-} dan NH_4^+) rasio molar, keberadaan ion kompetitif lainnya seperti Kalsium (Ca^{2+}), laju agitasi, waktu retensi reaksi, dan lain-lain (Daneshgar dkk., 2018). Kristalisasi struvite terdiri dari tiga tahap; Nukleasi, pertumbuhan kristal, dan agregasi (Galbraith dkk. 2014 dalam Daneshgar dkk. 2018).

4.5 Analisis Magnesium (Mg^{2+}) pada Efluen Limbah Cair Pengolahan Ikan

Bittern memiliki konsentrasi Mg^{2+} yang tinggi. Hal ini menyebabkan *bittern* dapat dimanfaatkan sebagai koagulan dalam proses pengolahan air. Namun perlu dilakukan analisis konsentrasi Mg^{2+} yang terdapat pada efluen limbah cair yang tidak mengendap pada proses presipitasi. Konsentrasi Mg^{2+} pada efluen proses koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern* dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Konsentrasi Mg^{2+} pada Efluen *Jar Test*

Pada uji karakteristik awal, limbah cair pengolahan ikan memiliki konsentrasi Mg^{2+} sebesar 5.713 mg/L. Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa pada ketiga kondisi pH, konsentrasi Mg^{2+}

tertinggi didapatkan pada dosis *bittern* 2,5 mL yaitu 6.856 mg/L pada kondisi tanpa penyesuaian pH, dan 6.000 dan 5.713 mg/L pada kondisi pH 9 dan 10,5. Hal ini dikarenakan kondisi 2,5 mL telah melebihi dosis optimum *bittern* sehingga kemampuan Mg^{2+} untuk membentuk presipitat akan berkurang. Selain itu, semakin tinggi dosis *bittern* yang ditambahkan, maka semakin tinggi konsentrasi Mg^{2+} yang terkandung dalam efluen limbah. Jika dibandingkan dengan konsentrasi awal Mg^{2+} pada limbah cair pengolahan ikan, maka peningkatan yang terjadi tidak terlalu besar yaitu mencapai kandungan tertinggi 6.856 mg/L pada dosis *bittern* 2,5 mL.

Selain itu, pada kondisi awal limbah cair pengolahan ikan didapatkan *Total Dissolved Solids* (TDS) sebesar 1281 mg/L dan pada kondisi pH 10,5 dan dosis optimum *bittern* 1,5 mL didapatkan TDS 890 mg/L. Penurunan ini menunjukkan bahwa *bittern* dapat menjadi alternatif koagulan yang baik dalam pengolahan air.

Pada variasi perlakuan pH 10,5, efluen limbah cair pengolahan ikan diberikan penambahan 0,6 mL H_2SO_4 1N per 30 mL sampel untuk menurunkan pH menjadi 9 sesuai dengan standar baku mutu. Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa pada dosis *bittern* 1,5 mL terjadi perubahan konsentrasi Mg^{2+} dari 3.713,8 mg/L menjadi 3.687 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan yang signifikan terhadap konsentrasi Mg^{2+} dalam limbah cair sebelum dan sesudah penambahan H_2SO_4 yang berarti penambahan H_2SO_4 tidak mempengaruhi reaksi presipitasi magnesium yang terjadi dalam proses koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern*. Reaksi presipitasi magnesium dengan agen alkalisasi $Ca(OH)_2$ dapat dilihat pada Persamaan 2.2 dan 2.3.

4.6 Efektivitas *Bittern* sebagai Koagulan

Konsentrasi Mg^{2+} yang tinggi pada *bittern* menyebabkan *bittern* dapat dimanfaatkan sebagai presipitan dalam pengolahan limbah cair. Pada Gambar 4.1 hingga 4.5 dapat terlihat bahwa *bittern* dapat mengurangi kadar pencemar secara signifikan. Dosis dan pH optimum koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern* untuk menghilangkan kadar TSS, BOD, COD, amonium (NH_4) dan fosfat (PO_4) pada air limbah pengolahan ikan adalah 1,5 mL *bittern* dengan pH limbah cair pengolahan ikan 10,5. Pada kondisi ini,

COD dan BOD mengalami persen *removal* 87,5% dan 19,3%, TSS 93,3%, amonium 37,6% dan fosfat 93,2%.

Kesesuaian kadar pencemar efluen limbah cair pengolahan ikan pada kondisi dosis *bittern* 1,5 mL dan pH 10,5 terdapat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Efluen Limbah Cair Pengolahan Ikan dengan Baku Mutu

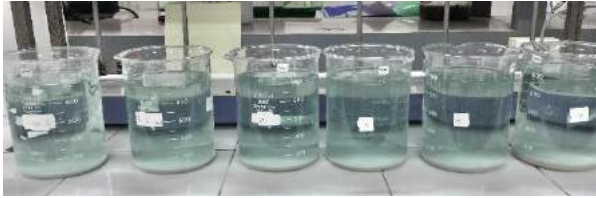
Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu
pH	-	10,50	6-9
TSS	mg/L	30,00	30
COD	mg/L	2080,00	100
BOD	mg/L	1789,00	30
Amonium	mg/L	423,91	5
Fosfat	mg/L	14,50	-

Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016

Pada Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa hanya parameter pH dan TSS yang telah memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah. Hal ini dapat diterima karena pada penerapan IPAL Pasar Ikan Pabean, unit koagulasi flokulasi akan diintegrasikan dengan unit pengolahan lainnya seperti unit pra sedimentasi dan pengolahan lanjutan biologis sehingga air efluen yang dihasilkan akan memenuhi baku mutu.

4.7 Analisis Hasil Endapan Proses Koagulasi Flokulasi dengan Koagulan *Bittern*

Pada proses koagulasi flokulasi, flok yang telah terbentuk akan mengendap sehingga konsentrasi kadar pencemar pada air akan berkurang. Endapan yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Endapan yang Terbentuk Setelah Analisis *Jar Test*

Pada koagulasi flokulasi limbah cair pengolahan ikan dengan koagulan *bittern*, endapan tersebut akan mengandung Mg^{2+} yang didapatkan dari *bittern*, dan amonium dan fosfat yang terdapat pada limbah cair pengolahan ikan. Karena kandungan tersebut, maka terdapat potensi pembentukan *struvite* dalam endapan proses koagulasi flokulasi. *Struvite* merupakan pupuk pelepas lambat atau *slow release* yang baik digunakan untuk tumbuhan. *Struvite* dapat di buat dengan bahan yang mengandung unsur magnesium, amonium dan fosfat. Reaksi pembentukan *struvite* terdapat pada Persamaan 4.1 hingga 4.3.

Endapan *struvite* tanpa penanganan yang baik dapat menyebabkan masalah operasional IPAL. Pengendapan *struvite* dalam pengolahan air limbah telah menyebabkan masalah operasional yang substansial sejak awal 1960-an. *Struvite* adalah mineral kristal anorganik putih yang mengendap di tempat-tempat dengan turbulensi yang meningkat seperti pompa, aerator, dan tikungan pipa (Stratful dkk., 2001). Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terhadap jumlah endapan yang terbentuk agar operasional IPAL dapat berjalan lancar.

Endapan yang terbentuk pada proses *jar test* akan ditimbang untuk mengetahui massa lumpur yang akan dihasilkan pada unit koagulasi flokulasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) menggunakan koagulan *bittern*. Hasil endapan pada proses jar test limbah cair pengolahan ikan dengan koagulan *bittern* terdapat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Massa Endapan Proses *Jar Test* Limbah Cair Pengolahan Ikan

Dosis <i>bittern</i> (mL)	Berat Endapan pada pH 9 (mg)	Berat Endapan pada pH 10,5 (mg)
0,0	1,69	2,21
0,5	2,07	2,14
1,0	1,40	2,29
1,5	1,73	2,65
2,0	2,03	2,27
2,5	1,41	2,31

Pada Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa perlakuan pH 10,5 menghasilkan massa endapan yang lebih besar dibandingkan dengan perlakuan pH 9. Hal ini dikarenakan pada proses penyesuaian pH limbah cair pengolahan ikan menjadi 10,5 diperlukan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang lebih banyak dibandingkan dengan pH 9. Pada pH 9 untuk 7 liter limbah cair pengolahan ikan diperlukan 80 mL $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sedangkan untuk pH 10,5 diperlukan 100 mL $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Pada penelitian Semerjian dan Ayoub (2003) disebutkan bahwa kerugian utama yang disajikan oleh proses koagulasi presipitasi kapur-magnesium adalah besar lumpur yang dihasilkan dibandingkan dengan jumlah yang dihasilkan dalam proses kimia sekunder konvensional yang menggunakan tawas atau besi klorida sebagai koagulan. Namun, lumpur yang dihasilkan dari pengolahan kapur memiliki karakteristik pengentalan dan pengeringan yang unggul dan cocok untuk pengepresan filter dengan biaya lebih rendah daripada lumpur yang dihasilkan dari besi klorida atau tawas.

Berdasarkan data massa endapan pada Tabel 4.7, dapat diketahui estimasi massa lumpur endapan yang akan terbentuk pada unit koagulasi flokulasi IPAL Pasar Ikan Pabean dengan koagulan *bittern*. Perhitungan estimasi massa lumpur endapan dengan perlakuan dosis *bittern* 1,5 mL dan kondisi pH 9 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Massa endapan } \textit{jar test} &= 1,73 \text{ mg/1 L sampel} \\ \text{Q rata-rata Pasar Ikan Pabean} &= 9000 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa endapan IPAL per hari} &= \text{Massa endapan } \textit{jar test} \times \\
&\text{Q rata-rata} \\
&= 1,73 \text{ mg} \times 9000 \text{ liter} \\
&= 15.570 \text{ mg} \\
&= 15,57 \text{ g per hari}
\end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk kondisi pH 10,5 dan didapatkan hasil massa endapan sebesar 23,85 g lumpur per hari.

Selain massa dari endapan proses *jar test*, karakteristik endapan yang terbentuk juga perlu diteliti untuk menentukan upaya pemanfaatan atau proses pengolahan lumpur yang sesuai. Estimasi karakteristik endapan yang terbentuk dari proses *jar test* limbah cair pengolahan ikan dengan koagulan *bittern* yang didapatkan melalui aplikasi visual minteq terdapat pada Tabel 4.8 hingga 4.10.

Tabel 4. 8 Estimasi Karakteristik Endapan Limbah Cair Pengolahan Ikan

Tanpa Penyesuaian pH (7,8)						
Mineral	Dosis <i>Bittern</i>					
	0	0,5	1	1,5	2	2,5
Indeks Saturasi						
Brucite	-2,107	-2,103	-2,099	-2,094	-2,090	-2,086
Mg(OH) ₂	-3,801	-3,797	-3,793	-3,788	-3,784	-3,780
Mg ₃ (PO ₄) ₂ (s)	2,945	2,950	2,956	2,961	2,966	2,972
MgHPO ₄ ·3H ₂ O (s)	0,440	0,440	0,440	0,440	0,440	0,441
Periclase	-6,573	-6,569	-6,565	-6,560	-6,556	-6,552
Struvite	1,669	1,669	1,669	1,670	1,670	1,671

Tabel 4. 9 Estimasi Karakteristik Endapan Limbah Cair Pengolahan Ikan

Mineral	pH 9					
	Dosis <i>Bittern</i> (mL)					
	0	0,5	1	1,5	2	2,5
Indeks Saturasi						
Brucite	0,290	0,294	0,298	0,303	0,307	0,311
Ca ₃ (PO ₄) ₂ (am1)	-3,818	-3,819	-3,820	-3,821	-3,821	-3,822
Ca ₃ (PO ₄) ₂ (am2)	-1,068	-1,069	-1,070	-1,071	-1,071	-1,072
Ca ₃ (PO ₄) ₂ (beta)	-0,398	-0,399	-0,400	-0,401	-0,401	-0,402
Ca ₄ H(PO ₄) ₃ : 3H ₂ O (s)	-2,903	-2,905	-2,908	-2,911	-2,913	-2,916
CaHPO ₄ (s)	-2,206	-2,208	-2,210	-2,211	-2,213	-2,214
CaHPO ₄ :2H ₂ O (s)	-2,522	-2,524	-2,525	-2,527	-2,529	-2,531
Hydroxyapatite	7,161	7,160	7,160	7,160	7,160	7,160
Lime	-19,072	-19,070	-19,068	-19,066	-19,063	-19,061
Mg(OH) ₂	-1,404	-1,400	-1,396	-1,391	-1,387	-1,383
Mg ₃ (PO ₄) (s)	5,305	5,310	5,315	5,320	5,326	5,331
MgHPO ₄ :3H ₂ O (s)	0,421	0,421	0,421	0,422	0,422	0,422

pH 9						
Mineral	Dosis <i>Bittern</i> (mL)					
	0	0,5	1	1,5	2	2,5
Indeks Saturasi						
Periclase	-4,176	-4,172	-4,168	-4,163	-4,159	-4,155
Portlandite	-9,095	-9,093	-9,090	-9,088	-9,086	-9,084
Struvite	2,724	2,724	2,725	2,725	2,726	2,726

Tabel 4. 10 Estimasi Karakteristik Endapan Limbah Cair Pengolahan Ikan

pH 10,5						
Mineral	Dosis <i>Bittern</i> (mL)					
	0	0,5	1	1,5	2	2,5
Indeks Saturasi						
Brucite	3,242	3,246	3,250	3,253	3,257	3,261
Ca ₃ (PO ₄) ₂ (am1)	-1,497	-1,497	-1,498	-1,498	-1,498	-1,499
Ca ₃ (PO ₄) ₂ (am2)	1,253	1,253	1,252	1,252	1,252	1,251
Ca ₃ (PO ₄) ₂ (beta)	1,923	1,923	1,922	1,922	1,922	1,921
Ca ₄ H(PO ₄) ₃ :3H ₂ O(s)	-0,918	-0,919	-0,921	-0,923	-0,925	-0,927
CaHPO ₄ (s)	-2,545	-2,546	-2,548	-2,549	-2,550	-2,551

pH 10,5						
Mineral	Dosis <i>Bittern</i> (mL)					
	0	0,5	1	1,5	2	2,5
Indeks Saturasi						
CaHPO ₄ :2H ₂ O(s)	-2,859	-2,860	-2,862	-2,863	-2,864	-2,866
Hydroxyapatite	12,142	12,142	12,143	12,144	12,144	12,145
Lime	-16,073	-16,071	-16,069	-16,067	-16,065	-16,062
Mg(OH) ₂	1,548	1,552	1,556	1,559	1,563	1,567
Mg ₃ (PO ₄) ₂ (s)	7,482	7,486	7,491	7,496	7,501	7,505
MgHPO ₄ :3H ₂ O(s)	0,037	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038
Periclase	-1,225	-1,222	-1,218	-1,214	-1,210	-1,206
Portlandite	-6,095	-6,093	-6,091	-6,089	-6,087	-6,084
Struvite	2,853	2,853	2,853	2,854	2,854	2,854

Pada Tabel 4.8 hingga 4.10 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa jenis mineral yang terkandung dalam hasil endapan proses *jar test* limbah cair pengolahan ikan dengan koagulan *bittern*. Semakin bertambahnya dosis *bittern*, kandungan *brucite*, *struvite* dan $Mg_3(PO_4)$ juga semakin meningkat. *Brucite* atau $Mg(OH)_2$ adalah mineral hidroksida yang paling sering dianggap sebagai pilihan *ex situ* untuk menyerap CO_2 . *Brucite* memiliki struktur heksagonal (gugus ruang Pm1). Ini sering terbentuk dari alterasi periklas (MgO) pada batugamping dan dolomit yang mengandung Mg (Loring dkk., 2018). *Brucite* ($Mg(OH)_2$), *struvite* ($NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$), dan $Mg_3(PO_4)$ terbentuk karena reaksi antara Mg^{2+} pada *bittern*, dengan $Ca(OH)_2$ dan PO_4^{3-} dan NH_4^+ pada proses koagulasi flokulasi. Semakin tinggi dosis *bittern* yang ditambahkan, maka konsentrasi magnesium pada limbah cair pengolahan ikan akan meningkat dan menyebabkan pembentukan endapan *brucite*, *struvite*, dan $Mg_3(PO_4)$ yang semakin banyak. Pembentukan *brucite*, *struvite*, dan $Mg_3(PO_4)$ tertinggi didapatkan pada kondisi pH 10,5 dengan dosis *bittern* 2,5 mL. Pada kondisi tanpa penyesuaian pH endapan *brucite* tidak terbentuk karena tidak ada penambahan $Ca(OH)_2$ pada limbah cair pengolahan ikan.

Pada kondisi pH 9 dan 10,5 didapatkan endapan *hydroxyapatite*. *Hydroxyapatite* (HA) adalah mineral kalsium fosfat dengan rumus kimia $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Senyawa mirip HA menyusun sekitar 65% tulang, menjadikan *hydroxyapatite* pilihan yang menarik untuk komposit tulang sintetis (Fernando dkk., 2016). Terbentuknya *Hydroxyapatite* disebabkan oleh penambahan $Ca(OH)_2$ untuk menaikkan pH limbah yang bereaksi dengan ion PO_4^{3-} yang terdapat pada limbah cair pengolahan ikan. Pada pH 10,5 kandungan *hydroxyapatite* lebih tinggi karena penambahan $Ca(OH)_2$ yang lebih banyak yaitu 100 mL untuk pH 10,5 dan 80 mL untuk pH 9. Pada kondisi tanpa penyesuaian pH, tidak terbentuk *hydroxyapatite* karena tidak dilakukan penambahan $Ca(OH)_2$ sebelum proses *jar test*. Kandungan *hydroxyapatite* tertinggi didapatkan pada pH 10,5 dengan dosis *bittern* 2,5 mL yaitu dimana konsentrasi Ca^{2+} tertinggi.

4.8 Estimasi Kebutuhan Biaya Operasional Unit Koagulasi Flokulasi dengan Koagulan *Bittern*

Pemilihan Unit Proses dan Unit Operasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) memerlukan beberapa pertimbangan. Salah satu faktor penting dalam pemilihan alternatif tersebut adalah faktor finansial. Pada penelitian ini telah didapatkan bahwa berdasarkan analisis *jar test*, efluen optimum didapatkan pada pH limbah cair pengolahan ikan 10,5 dan dosis *bittern* 1,5 mL atau 227,15 mg Mg^{2+} . Namun angka tersebut belum mempertimbangkan faktor biaya dan operasional IPAL.

Dosis optimum *bittern* dalam ketiga kondisi pH yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1,5 mL. Oleh karena itu dosis yang akan digunakan dalam aplikasi unit koagulasi dengan koagulan *bittern* adalah 1,5 mL per 1 L air limbah. Pada penelitian Fatchurosadhi (2020) diketahui debit rata-rata pada Pasar Ikan Pabean adalah 9 m³/hari. Berdasarkan data tersebut maka dapat diketahui kebutuhan *bittern* dalam koagulasi flokulasi limbah pengolahan ikan Pasar Pabean dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Q rata-rata} &= 9 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{Dosis } \textit{bittern} \text{ per 1 L} &= 1,5 \text{ mL} \\ \text{Dosis } \textit{bittern} \text{ per hari} &= \text{Q rata-rata} \times \text{Dosis} \\ &\quad \textit{bittern} \text{ per 1 L} \\ &= 9000 \text{ liter} \times 1,5 \text{ mL} \\ &= 13.500 \text{ mL} \\ &= 13,5 \text{ L } \textit{bittern} \text{ per hari} \end{aligned}$$

Selain *bittern*, penggunaan $Ca(OH)_2$ 5% sebagai agen alkalisasi juga penting dalam proses koagulasi dengan *bittern*. Untuk menaikkan pH limbah 7,2 menjadi pH 9 dibutuhkan 80mL $Ca(OH)_2$ per 7L limbah cair pengolahan ikan dan untuk menaikkan pH menjadi 10,5 dibutuhkan 100mL $Ca(OH)_2$ per 7L air limbah. Berikut merupakan perhitungan estimasi kebutuhan $Ca(OH)_2$ pada unit koagulasi limbah cair pengolahan ikan Pasar Ikan Pabean dengan koagulan *bittern* pada kondisi pH 9.

$$\text{Kebutuhan } \textit{jar test} = 80 \text{ mL/per 7 liter}$$

$$\begin{aligned}
Q \text{ rata-rata} &= 9 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 9000 \text{ L/hari} \\
\text{Kebutuhan IPAL per hari} &= (Q \text{ rata-rata}/7) \times 80 \\
\text{Kebutuhan IPAL per hari} &= 102857,14 \text{ mL} \\
&= 102,85 \text{ L}
\end{aligned}$$

Untuk membuat larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5% diperlukan 5 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2$ per 100 mL aquades.

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan } \text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ IPAL per hari} &= (\text{Volume } \text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ dibutuhkan}/100) \times 5 \\
\text{Kebutuhan } \text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ IPAL per hari} &= 5142,85 \text{ gram} \\
&= 5,14 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Diasumsikan kemurnian $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang digunakan pada IPAL adalah 70%.

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan } \text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ 70\% untuk IPAL per hari} &= \text{Kebutuhan } \text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ IPAL per hari} / 0,7 \\
&= 7,34 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk kondisi pH 10,5 dan didapatkan hasil 9,18 kg.

Selain $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan *bittern*, pada kondisi pH 10,5, H_2SO_4 1N diperlukan untuk menurunkan pH menjadi 9 agar efluen limbah cair pengolahan ikan memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Perhitungan estimasi kebutuhan H_2SO_4 dalam unit koagulasi limbah cair pengolahan ikan Pasar Ikan Pabean dengan koagulan *bittern* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan } \textit{jar test} &= 0,6 \text{ mL/per } 30\text{mL} \\
Q \text{ rata-rata} &= 9 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 9000 \text{ L/hari} \\
&= (Q \text{ rata-rata}/0.03 \text{ L}) \times \\
\text{Kebutuhan IPAL per hari} &= 0,0006 \text{ L} \\
\text{Kebutuhan IPAL per hari} &= 180 \text{ L}
\end{aligned}$$

Untuk membuat larutan H_2SO_4 1 N diperlukan 27,8 mL H_2SO_4 pekat per 1L aquades.

Kebutuhan H_2SO_4 IPAL per hari = Volume H_2SO_4
dibutuhkan x 0,0278 L

Kebutuhan H_2SO_4 IPAL per hari = 5 L

Berikut merupakan rincian estimasi biaya bahan-bahan yang diperlukan untuk masing-masing perlakuan pH, yaitu tanpa penyesuain pH, pH 9 dan pH 10,5 pada unit koagulasi flokulasi IPAL Pasar Ikan Pabean dengan koagulan *bittern*.

Tabel 4. 11 Rincian Bahan dan Estimasi Biaya Unit Koagulasi Flokulasi IPAL Pasar Ikan Pabean

Bahan	Kebutuhan <i>Jar Test</i> (1L)	Q <i>Average</i>	Kebutuhan Operasional IPAL	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
Tanpa Penyesuaian pH						
<i>Bittern</i>	1,5 mL	9 m ³ /hari	13,5 L	L	Rp0	Rp0
pH 9						
<i>Bittern</i>	1,5 mL	9 m ³ /hari	13,5 L	L	Rp0	Rp0
Ca(OH) ₂	80 mL/7 L sampel		7,34 Kg	Kg	Rp10.000	Rp73.400
Total						Rp73.400
pH 10,5						
<i>Bittern</i>	1,5 mL	9 m ³ /hari	13,5 L	L	Rp0	Rp0
Ca(OH) ₂	100 mL/7 L sampel		9,18 Kg	Kg	Rp10.000	Rp91.800
H ₂ SO ₄	0,6 mL/30mL sampel		5 Liter	2,5 L	Rp1.250.000	Rp2.500.000
Total						Rp2.591.800

Berdasarkan Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa pada perlakuan pH 10,5 biaya yang dibutuhkan lebih tinggi dibandingkan kondisi tanpa penyesuaian pH dan kondisi pH 9. Hal ini dikarenakan perlunya penambahan H_2SO_4 pada efluen limbah cair pengolahan ikan. Namun penambahan ini akan menjadi tidak diperlukan jika setelah unit koagulasi flokulasi akan dilakukan pengolahan lanjutan untuk limbah cair pengolahan ikan. Hal ini dikarenakan proses penurunan pH untuk memenuhi standar baku mutu dapat terjadi pada unit pengolahan selanjutnya.

Selain biaya untuk bahan-bahan yang diperlukan pada unit koagulasi flokulasi, hasil endapan lumpur yang dihasilkan juga perlu dipertimbangkan dalam memilih kondisi pH optimum pada unit koagulasi flokulasi. Pada Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa kondisi pH 10,5 menghasilkan endapan yang lebih besar dikarenakan penambahan volume $Ca(OH)_2$ untuk proses penaikan pH yang lebih banyak. Endapan atau lumpur yang lebih banyak memerlukan biaya pengolahan lumpur yang lebih besar sehingga akan meningkatkan biaya operasional IPAL.

Berdasarkan faktor-faktor tersebut dan juga fakta bahwa pada ketiga kondisi pH parameter TSS telah memenuhi standar baku mutu, maka kondisi pH optimum yang dipilih adalah pada pH 9 dengan dosis *bittern* 1,5 mL atau 227,15 mg Mg^{2+} .

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan dari hasil penelitian ini:

1. Karakteristik *bittern* memiliki kandungan Mg^{2+} yang tinggi yaitu 151.410 mg/L serta kandungan bahan organik yang tinggi yaitu BOD dan COD masing-masing sebesar 7.200 mg/L dan 10.400 mg/L. *Bittern* juga memiliki kandungan nutrisi yang tinggi dengan konsentrasi amonium (NH_4) sebesar 295,2 mg/L dan fosfat (PO_4) sebesar 47,6 mg/L. Berdasarkan kandungan Mg^{2+} yang tinggi, maka *bittern* memiliki potensial sebagai koagulan.
2. Berdasarkan analisis *jar test* koagulasi flokulasi dengan koagulan *bittern* diperoleh efisiensi penghilangan konsentrasi pencemar optimum untuk TSS adalah 94%, COD sebesar 87,5%, BOD 19,3%, amonium sebesar 40,8% dan fosfat sebesar 96,6%.
3. Dosis dan pH optimum *bittern* untuk aplikasi unit koagulasi flokulasi IPAL Pasar Ikan Pabean adalah 1,5 mL dengan kondisi pH 9. Hal ini berdasarkan pertimbangan biaya operasional IPAL dan endapan yang dihasilkan.
4. Pada kondisi pH 9 dan dosis *bittern* 1,5 mL dihasilkan 1,73 mg endapan per 1 L limbah cair pengolahan ikan. Estimasi massa lumpur yang dihasilkan pada unit koagulasi flokulasi IPAL Pasar Ikan Pabean adalah 15,57 gram per hari.

5.2 Saran

Berikut merupakan saran untuk penelitian ini:

1. Perlu pengkajian lebih lanjut terkait perbandingan efektivitas *bittern* dan koagulan konvensional sebagai koagulan dalam pengolahan limbah cair pengolahan ikan.
2. Perlu dilakukan kajian mengenai produk hasil endapan yang dihasilkan dan potensi pembentukan *struvite* pada proses koagulasi flokulasi limbah cair pengolahan ikan dengan koagulan *bittern* melalui uji XRD.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Albuquerque, L. F., Salgueiro, A. A., Melo, J. L. D. S., & Chiavone-Filho, O. 2013. Coagulation of indigo blue present in dyeing wastewater using a residual bittern. *Separation and Purification Technology*, 104, hal. 246–249. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.12.005>
- Adiman, T. M. F., Feriyanto, A., . S., & Edahwati, L. (2020). Mineral Struvite Dari Batuan Dolomit Dengan Reaktor Kolom Sekat. *Jurnal Teknik Kimia*, 14(2), 85–91. https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v14i2.2034.
- APHA. 2017. *Standard methods for the examination of water and waste water, 23rd edition*. Washington, DC: American Public Health Association.
- Apriani, M., Hadi, W., dan Masduqi, A., 2018. Synthesis of magnesium carbonate polymorphs from indonesia traditional salt production wastewater. *Environment Asia*, 11(2), hal.140-148. doi:10.14456/ea.2018.29.
- BinAhmed, S., Ayoub, G., Al-Hindi, M., Azizi, F. 2014. The effect of fast mixing conditions on the coagulation–flocculation process of highly turbid suspensions using liquid bittern coagulant. *Desalination and Water Treatment*, 53 (12), hal. 3388-3396.
- Chen, G., & Tao, D. (2004). Effect of solution chemistry on flotability of magnesite and dolomite. *International Journal of Mineral Processing*, 74(1–4), 343–357. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2004.04.004>
- Daneshgar, S., Buttafava, A., Capsoni, D., Callegari, A., & Capodaglio, A. G. (2018). Impact of pH and ionic molar ratios on phosphorous forms precipitation and recovery from different wastewater sludges. *Resources*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/resources7040071>
- Darmasetiawan, M. 2001. *Teori dan perencanaan instalasi pengolahan air*. Bandung: Yayasan Suryono.

- Ebeling, M J., 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, hal. 23-42.
- Ernest, E., Onyeka, O., David, N., Blessing, O. (2017). Effects of pH, Dosage, Temperature and Mixing Speed on The Efficiency of Water Melon Seed in Removing the Turbidity and Colour of Atabong River, Awka-Ibom State, Nigeria. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 3(5), 427–434. <https://doi.org/10.24001/ijaems.3.5.4>.
- Estefan, S. F. (1983). Controlled phase equilibria for the chemical utilization of sea-bitterns. *Hydrometallurgy*, 10, hal. 39–45. [https://doi.org/10.1016/0304-386X\(83\)90075-0](https://doi.org/10.1016/0304-386X(83)90075-0)
- Fernando, S., McEnery, M., & Guelcher, S. A. (2016). Polyurethanes for Bone Tissue Engineering. In *Advances in Polyurethane Biomaterials*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100614-6.00016-0>
- Ferraris, S., Cazzola, M., Peretti, V., Stella, B., & Spriano, S. (2018). Zeta potential measurements on solid surfaces for in Vitro biomaterials testing: Surface charge, reactivity upon contact with fluids and protein absorption. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6(MAY), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00060>
- Ismail, A. F., Khulbe, K. C., & Matsuura, T. (2019). RO Membrane Fouling. In *Reverse Osmosis*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811468-1.00008-6>
- Ismail, I. M., Fawzy, A. S., Abdel-Monem, N. M., Mahmoud, M. H., dan El-Halwany, M. A. (2012). Combined coagulation flocculation pre treatment unit for municipal wastewater. *Journal of Advanced Research*, 3(4), 331–336. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.10.004>

- Jhala, D.S. 2006. *Designing of a saltwork friendly to environment*. Proc. The 1st International Conference on the Ecological Importance of Solar Saltworks (CEISSA 06), (October), hal.20–22.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2018. *Laporan kinerja tahun 2018*. Jakarta: Direktorat Jenderal Penguatan Daya Saing Produk Kelautan Dan Perikanan.
- Lancin, D. (2008). Coagulation-Flocculation Treatment of a Tropical Surface Water with Alum for Dissolved Organic Matter (DOM) Removal: Influence of Alum Dose and pH Adjustment. *Journal of International Environmental Application and Science*, 3(4), 247–257.
- Leentvaar, J., & Rebhun, M. (1982). Effect of magnesium and calcium precipitation on coagulation-flocculation with lime. *Water Research*, 16(5), 655–662. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(82\)90087-2](https://doi.org/10.1016/0043-1354(82)90087-2)
- Loring, J. S., Miller, Q. R. S., Thompson, C. J., & Schaef, H. T. (2018). Experimental studies of reactivity and transformations of rocks and minerals in water-bearing supercritical CO₂. In *Science of Carbon Storage in Deep Saline Formations: Process Coupling across Time and Spatial Scales*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812752-0.00004-6>
- Li, Y., Tan, W., Koopal, L. K., Wang, M., Liu, F., & Norde, W. (2013). Influence of soil humic and fulvic acid on the activity and stability of lysozyme and urease. *Environmental Science and Technology*, 47(10), 5050–5056. <https://doi.org/10.1021/es3053027>
- Lu, G. W., & Gao, P. (2010). Emulsions and Microemulsions for Topical and Transdermal Drug Delivery. In *Handbook of Non-Invasive Drug Delivery Systems*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-8155-2025-2.10003-4>
- MacFarlane, R. B. (1978). Molecular weight distribution of humic and fulvic acids of sediments from a north Florida estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42(10), 1579–1582.

[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(78\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(78)90028-5)

- Masduqi, A., Assomadi, A.F., 2012. *Operasi dan proses pengolahan air*. Surabaya: ITS Press.
- McKerracher, Rachel. 2012. Metal Oxide and Silicate Nanotubes: Synthesis and Hydrogen Storage Applications. *Tesis*. Faculty of Engineering & The Environment University of Southampton. Inggris.
- Metcalf dan Eddy, 2005, Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, 5th ed. McGrawHill Book Co: Singapore.
- Muflih, A. (2013). Sistem pengolahan limbah cair industri produk perikanan. *Samakia : Jurnal Teknik Perikanan*, 4(2), 99–104.
- Naceradska, J., Pivokonska, L., Pivokonsky, M. (2019). On the importance of pH value in coagulation. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 68(3), 222–230. <https://doi.org/10.2166/aqua.2019.155>
- Nugraha, K.A., Wesen, P., Mirwan, M. 2016. Pemanfaatan bittern sebagai koagulan alternatif pengolahan limbah tepung ikan. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8 (1), hal. 1-9.
- Nugroho, W. A. (2009). Optimasi Penggunaan Koagulasi Pada Pengoahan Air Limbah Batubara. *Skripsi*, 1–81.
- Oktaviasari, S.A., Mashuri, M. 2016. Optimasi parameter proses jar test menggunakan metode taguchi dengan pendekatan PCR-TOPSIS (studi kasus: PDAM surya sembeda Kota Surabaya). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5 (2), hal. 2337-3520.
- Panawala, L. (2018). *Main Difference – BOD vs COD*. June 2017.
- Peavy, H.S. 1985. *Environmental engineering (international edition)*. Singapore: McGraw – Hill Book Company.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. *Tentang baku mutu air limbah bagi industri dan/atau kegiatan usaha lainnya*. Surabaya: Gubernur Jawa Timur.

- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016. *Tentang baku mutu air limbah domestik*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Priambodo, E.A., Perancangan unit bangunan pengolahan air minum kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember. *Skripsi*. Program Studi Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Purwaningsih, D., Julaika, S., Malik, A.G., Jose, L. 2017. Pengaruh penambahan bittern pada limbah cair dari industri pengolahan ikan. *Jurnal IPTEK*, 21 (1), hal. 43-50.
- Rahimah, Z., Heldawati, H., Syauqiyah, I. 2016. Pengolahan limbah deterjen dengan metode koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan kapur dan PAC. *Konversi*, 5 (2), hal. 52-59.
- Reynolds., 1982. *Unit operation and processes in environmental engineering*. California: Texas A&M University, Brook/Cole Engineering Division.
- Rifa'i, J. (2007). *Pemeriksaan kualitas air bersih dengan koagulan alum dan PAC di IPA Jurug PDAM kota Surakarta*. 38–39.
- River, L., Aspe, E., Roeckel, M., Marti, M.C. 1998. Evaluation of clean technology processes in the marine products processing industry. *Journal of Chemistry*, 73, hal. 217-226.
- Saputri, W. E., 2011. Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA) Badakan PDAM Tirta Kerta Raharja Kota Tangerang. *Skripsi*. Program Studi Teknik Lingkungan. Universitas Indonesia, Depok.
- Saritha, V., Srinivas, N., & Srikanth Vuppala, N. V. (2017). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. *Applied Water Science*, 7(1), 451–460. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0262-y>
- Semerjian, L., & Ayoub, G. M. (2003). High-pH-magnesium coagulation-flocculation in wastewater treatment. *Advances in Environmental Research*, 7(2), 389–403.

[https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00009-6)

- Singh, A. L. (2013). Nitrate and Phosphate Contamination in Water and Possible Remedial Measures. *Environmental Problems and Plant*, February 2013, 43–56. <https://www.researchgate.net/publication/304019296%0ANITRATE>
- Stratful, I., Scrimshaw, M. D., & Lester, J. N. (2001). Conditions influencing the precipitation of magnesium ammonium phosphate. *Water Research*, 35(17), 4191–4199. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00143-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00143-9)
- Sutiyono. 2006. Pemanfaatan bitertern sebagai koagulan pada limbah cair industri kertas. *Jurnal Teknik Kimia*, 1 (1), hal. 36-42.
- USEPA. (2013). Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Ammonia - Freshwater 2013. *United States Environmental Protection Agency*, 13(April), 1–255.
- Wang, L.K., Hung, Y.-T., Lo, H.H., & Yapijakis, C. 2004. *Waste Treatment in the Food Processing Industry* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420037128>
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology : Lake and River Ecosystems . Third Edition . By Robert G Wetzel . Limnology : Lake and River Ecosystems by Robert G Wetzel Review by : Reviewed by Brian Cumming The Quarterly Review of Biology , Vol . 78 , No . 3 (September 2003), pp . 368-36. The Quarterly Review of Biology, 78(3), 368–369.*
- Yanuarita, D., Julaika, S., Malik, A., & Goa, J. L. 2017. Pengaruh penambahan bitertern pada limbah cair dari industri pengolahan ikan. *Jurnal IPTEK*, 21(1), hal. 43–50.

LAMPIRAN 1 DATA HASIL ANALISIS JAR TEST

1. Range Finding Test

Range Finding Test 1		
Sampel	Kekeruhan (NTU)	% Removal
ikan	32	
0.5	1.6	95%
1	0.6	98.1%
1.5	1	97%
3	1.6	95%
9	2.2	93%
18	4.9	85%

Range Finding Test 2		
Sampel	Kekeruhan (NTU)	% Removal
0.5	2.7	92%
1	2.8	91%
1.5	2.9	91%
3	3.6	89%
9	4	88%
18	4.1	87%

Range Finding Test 1 (Blanko = 6.5)			
Sampel	Titrasi FAS	COD (mg/L)	% Removal
bittern	6	10400	
ikan 1	5.75	15600	
0.5	5.4	457.6	97.1%
1	5.45	436.8	97.2%
1.5	5.4	457.6	97.1%
3	5.2	540.8	96.5%

Range Finding Test 1 (Blanko = 6.5)			
Sampel	Titration FAS	COD (mg/L)	% Removal
9	4.95	644.8	95.9%
18	4.7	748.8	95.2%

Range Finding Test 2 (Blanko = 7.1)			
0.5	4.35	1144	92.7%
1	4.65	1019.2	93.5%
1.5	4.75	977.6	93.7%
3	4.65	1019.2	93.5%
9	4	1289.6	91.7%
18	3.8	1372.8	91.2%

Range Finding Test 1				
Sampel	Weight of dish + paper	Weight after oven	TSS (mg/L)	% Removal
ikan	27.7934	27.7944	100	
0.5	32.0302	32.0304	20	80%
1	34.9007	34.9008	10	90%
1.5	33.8961	33.8961	10	90%
3	28.7296	28.7304	80	20%
9	35.2643	35.2651	80	20%
18	38.6517	38.6533	160	-60%

Range Finding Test 2				
Sampel	Weight of dish + paper	Weight after oven	TSS (mg/L)	% Removal
0.5	31.6493	31.6499	60	40%
1	30.8438	30.8444	60	40%
1.5	33.9071	33.9077	70	30%

Range Finding Test 2				
----------------------	--	--	--	--

Sampel	Berat cawan + kertas	Berat setelah oven	TSS (mg/L)	% Removal
9	32.8819	32.8827	80	20%
18	33.4849	33.4857	80	20%

2. Penelitian Utama

a. COD

Running 1 (Blanko = 6.8)			
Sampel	Titration FAS	COD (mg/L)	% Removal
s1	6.5	6240	14.3%
s2	6.6	4160	42.9%
s3	6.67	2704	62.9%
s4	6.7	2080	71.4%
s5	6.75	1040	85.7%
s6	6.7	2080	71.4%

Running 2 (Blanko = 7.3)			
Sampel	Titration FAS	COD (mg/L)	% Removal
s7	7.05	5200	28.6%
s8	7.1	4160	42.9%
s9	7.15	3120	57.1%
s10	7.2	2080	71.4%
s11	7.25	1040	85.7%
s12	7.2	2080	71.4%

Running 3 (Blanko = 7.5)			
Sampel	Titration FAS	COD (mg/L)	% Removal
ikan	6.7	16640	
s13	7.2	6240	62.5%
s14	7.25	5200	68.8%
s15	7.3	4160	75.0%

Running 3 (Blanko = 7.5)			
Sampel	Titrasi FAS	COD (mg/L)	% Removal
s16	7.4	2080	87.5%
s17	7.35	3120	81.3%
s18	7.35	3120	81.3%

Running 3 (Setelah penurunan pH 10,5 ke 9) (Blanko = 6.9)			
Sampel	Titrasi FAS	COD (mg/L)	% Removal
s13*	6.5	8320	50.0%
s14*	6.6	6240	62.5%
s15*	6.65	5200	68.8%
s16*	6.8	2080	87.5%
s17*	6.8	2080	87.5%
s18*	6.7	4160	75.0%

b. TSS

Running 1					
Sampel	Berat cawan	Berat kertas	Berat kertas setelah oven	TSS (mg/L)	% Removal
bittern	37.8498		37.9152	6540	
ikan 2	32.0441		32.0468	270	
s1	31.8362	0.166	0.1669	90	66.7%
s2	28.529	0.166	0.1668	80	70.4%
s3	31.7625	0.1956	0.196	40	85.2%
s4	33.6999	0.1978	0.19815	35	87.0%
s5	33.2794	0.1649	0.16518	28	89.6%
s6	31.4412	0.2019	0.2022	30	88.9%
Running 2					
s7	31.8317	0.1724	0.173	60	77.8%
s8	28.5292	0.199	0.1995	50	81.5%

Running 2					
s9	31.7604	0.1847	0.1852	50	81.5%
s10	33.6994	0.1738	0.1741	30	88.9%
s11	33.2776	0.1735	0.17375	25	90.7%
s12	31.4395	0.1718	0.1721	30	88.9%

Running 3					
s13	31.8359	0.196	0.198	200	55.6%
s14	31.7621	0.195	0.196	100	77.8%
s15	30.6351	0.1953	0.1959	60	86.7%
s16	33.7003	0.1879	0.1882	30	93.3%
s17	33.2782	0.1931	0.1958	270	40.0%
s18	31.4411	0.1958	0.1986	280	37.8%

Running 3 (Setelah penurunan pH 10,5 ke 9) (Blanko = 6.9)					
s13*	31.7608	0.1813	0.1829	160	64%
s14*	31.4402	0.1865	0.188	150	67%
s15*	33.2787	0.1845	0.185	50	89%
s16*	30.6345	0.1951	0.19535	25	94%
s17*	33.6944	0.1798	0.1811	130	71%
s18*	31.8359	0.1952	0.1976	240	47%

c. Amonium

Running 1 ($y = 0.1623x - 0.0056$)			
Sampel	Absorbansi	Konsentrasi	% Removal
bittern	0.234	295.26	
ikan 1	0.124	399.26	
ikan 2	0.175	556.38	
s1	0.151	482.44	13.3%
s2	0.135	433.15	22.1%
s3	0.12	386.94	30.5%

s4	0.109	353.05	36.5%
s5	0.111	359.21	35.4%
s6	0.121	390.02	29.9%

Running 2 ($y = 0.1623x - 0.0056$)

Sampel	Absorbansi	Konsentrasi	% Removal
s7	0.126	405.42	27.1%
s8	0.124	399.26	28.2%
s9	0.12	386.94	30.5%
s10	0.11	356.13	36.0%
s11	0.108	349.97	37.1%
s12	0.11	356.13	36.0%

Running 3 ($y = 0.1623x - 0.0056$)

Sampel	Absorbansi	Konsentrasi	% Removal
s13	0.187	593.35	12.7%
s14	0.156	497.84	26.7%
s15	0.141	451.63	33.5%
s16	0.132	423.91	37.6%
s17	0.139	445.47	34.5%
s18	0.14	448.55	34.0%

Running 3 (Setelah penurunan pH 10,5 ke 9) ($y = 0.1623x - 0.0056$)

s13*	0.179	568.70	16.3%
s14*	0.14	448.55	34.0%
s15*	0.139	445.47	34.0%
s16*	0.125	402.34	37.0%
s17*	0.129	414.66	36.0%
s18*	0.132	423.91	35.0%

d. Fosfat

Running 1 ($y = 0.2478x + 0.007$)			
Sampel	Absorbansi	Konsentrasi	% Removal
bittern	0.125	47.6	
ikan 1	0.162	125.1	
ikan 2	0.294	231.6	
s1	0.27	212.3	8.3%
s2	0.222	173.5	25.1%
s3	0.253	198.5	14.3%
s4	0.24	188.1	18.8%
s5	0.221	172.7	25.4%
s6	0.273	214.7	7.3%

Running 2 ($y = 0.2478x + 0.007$)			
Sampel	Absorbansi	Konsentrasi	% Removal
s7	0.23	180.0	22.3%
s8	0.221	172.7	25.4%
s9	0.211	164.6	28.9%
s10	0.201	156.6	32.4%
s11	0.172	133.2	42.5%
s12	0.197	153.3	33.8%

Running 3 ($y = 0.2478x + 0.007$)			
Sampel	Absorbansi	Konsentrasi	% Removal
ikan	0.272	213.9	
s13	0.054	37.9	82.3%
s14	0.05	34.7	83.8%
s15	0.049	33.9	84.2%
s16	0.03	18.6	91.3%
s17	0.025	14.5	93.2%
s18	0.018	8.9	95.8%

Running 3 ($y = 0.2478x + 0.007$)			
s13*	0.052	36.3	83.0%
s14*	0.049	33.9	84.2%
s15*	0.043	29.1	86.4%
s16*	0.027	16.1	92.5%
s17*	0.021	11.3	94.7%
s18*	0.016	7.3	96.6%

e. Magnesium

Running 1			
Sampel	Titration kesadahan total	Titration kalsium	Konsentrasi
bittern	5.9	0.6	151410.4
ikan 1	1.1	0.6	14284.0
ikan 2	0.5	0.3	5713.6
s1	0.2	0.15	1428.4
s2	0.45	0.4	1428.4
s3	0.25	0.19	1714.1
s4	0.35	0.23	3428.2
s5	0.2	0.05	4285.2
s6	0.4	0.16	6856.3
Running 2			
ikan	0.1	0.05	1428.4
s7	0.5	0.45	1428.4
s8	0.35	0.25	2856.8
s9	0.4	0.27	3713.8
s10	0.5	0.42	2285.4
s11	0.2	0.05	4285.2
s12	0.4	0.19	5999.3

Running 3			
ikan	0.1	0.05	1428.4
s13	0.15	0.1	1428.4
s14	0.15	0.05	2856.8
s15	0.25	0.17	2285.4
s16	0.25	0.21	1142.7
s17	0.3	0.17	3713.8
s18	0.4	0.2	5713.6

LAMPIRAN 2 DOKUMENTASI PENELITIAN

1. Proses *Jar Test*



2. Hasil *Jar Test* Tanpa Penyesuaian pH



3. Analisis COD



4. Analisis Magnesium



BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Surabaya, 04 Desember 1999. Penulis mendapatkan pendidikan dasar di SD Muhammadiyah 1 Gresik yang dilanjutkan di SMP dan SMA Al-Hikmah Surabaya. Setelah lulus dari SMA, penulis menempuh pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS pada tahun 2017. Selama perkuliahan penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan salah satunya *Model United Nations* dan mendapatkan 6+ penghargaan nasional dan menjadi perwakilan ITS dalam *Japan English MUN* 2018. Selain MUN, penulis juga aktif sebagai asisten praktikum pada mata kuliah Kimia Lingkungan dan Teknik Analisis Pencemaran Lingkungan. Penulis juga aktif mengikuti seminar untuk pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi via email syaimagatneh@gmail.com.