



TUGAS AKHIR - RE 184804

OPTIMASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI PENGOLAHAN KAYU DI KABUPATEN JOMBANG

MASSA'ADAH NADYA ROSA BELA
0321154000032

DOSEN PEMBIMBING:
Dr. Ir. ELLINA SITEPU PANDEBESIE, M.T

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



TUGAS AKHIR - RE 184804

OPTIMASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI PENGOLAHAN KAYU DI KABUPATEN JOMBANG

MASSA'ADAH NADYA ROSA BELA
0321154000032

DOSEN PEMBIMBING:
Dr. Ir. ELLINA SITEPU PANDEBESIE, M.T

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



FINAL PROJECT - RE 184804

**PERFORMANCE OPTIMIZATION OF WASTEWATER
TREATMENT PLANTS OF WOOD PROCESSING
INDUSTRY IN JOMBANG REGENCY**

MASSA'ADAH NADYA ROSA BELA
0321154000032

ADVISOR
Dr. Ir. ELLINA SITEPU PANDEBESIE, M.T

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

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI PENGOLAHAN KAYU DI KABUPATEN JOMBANG

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MASSA'ADAH NADYA ROSA BELA
NRP. 0321154000077

Disejutui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Dr. Ir. Ellina Sitepu Pandebesie, M.T.

NIP. 19560204 199203 2 001



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

OPTIMASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI PENGOLAHAN KAYU DI KABUPATEN JOMBANG

Nama Mahasiswa : Massa'adah Nadya Rosa Bela
NRP : 0321154000032
Departemen : Teknik Lingkungan FTSLK ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ellina Sitepu Pandebesie, M.T.

ABSTRAK

Industri pengolahan kayu berpotensi menghasilkan limbah cair akibat proses pengawetan kayu. Limbah cair yang dihasilkan apabila tidak diolah dengan baik maka menyebabkan pencemaran dan kerusakan badan air. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan senyawa organik maupun inorganik hasil proses produksi. Industri pengolahan kayu di Jombang menghasilkan limbah cair yang berasal dari proses pengawetan kayu. Proses pengawetan kayu dilakukan dengan perendaman panas, baik dengan penambahan bahan pengawet kimiawi (prevail) maupun tidak. Air sisa perendaman kayu ini yang menjadi limbah cair dan perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air. Karakteristik limbah cair yang dihasilkan memiliki rasio BOD/COD <0,2 sehingga pengolahan dengan sistem biologis sukar dilakukan.

Industri pengolahan kayu di Jombang telah memiliki IPAL eksisting yang menggunakan sistem fisik-kimiawi. Pengolahan kimiawi menggunakan reagen kimia eksisting membutuhkan biaya yang tinggi. Hal tersebut tidak sebanding dengan hasil olahannya yang masih belum memenuhi baku mutu sesuai PERGUB JATIM No 72 Tahun 2013. Oleh karena itu diperlukan evaluasi dan optimasi kinerja IPAL eksisting agar efektif dan ekonomis dalam mengolah air limbah yang dihasilkan.

Percobaan koagulasi-flokulasi menggunakan aluminium sulfat, *poly aluminium chloride* (PAC) dan FeCl_3 dilakukan guna mencari alternatif koagulan yang lebih efektif dan ekonomis. Hasil percobaan menunjukkan koagulan PAC adalah koagulan yang paling efektif untuk mengolah air limbah baik prevail dan nonprevail. Pada air limbah prevail, dosis PAC sebesar 500 mg/L mampu menurunkan parameter COD, TSS dan kekeruhan sebesar 52,63%, 97,14% dan 98,71%. Sedangkan dosis PAC

sebesar 50 mg/L mampu menurunkan parameter kekeruhan dan COD sebesar 97,41% dan 85,37%. Hasil optimasi IPAL eksisting meliputi penambahan bak pembubuh koagulan PAC, bak pembubuh NaOH, perencanaan unit *sand filter*, serta pergantian unit generator ozon. Biaya investasi optimasi IPAL sebesar Rp 101.558.604., biaya operasi IPAL sebesar Rp 1.634.395 dan biaya perawatan IPAL sebesar Rp 3.800.000/tahun.

Kata Kunci: Evaluasi, Koagulan, Limbah Cair Industri Kayu, Optimasi, Pengolahan Kimiawi.

PERFORMANCE OPTIMIZATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS OF WOOD PROCESSING INDUSTRY IN JOMBANG REGENCY

Student Name : Massa'adah Nadya Rosa Bela
ID Number : 0321154000032
Departement : Environmental Engineering
Guide Lecturer : Dr. Ir. Ellina Sitepu Pandebesie, M.T.

ABSTRACT

The wood processing industry has some potential to produce liquid waste due to the wood preservation process. If the wastewater does not treated properly, it will cause pollution and damage to the water bodies. This is caused by high of organic and inorganic compounds during the production process. The wood processing industry in Jombang produces the wastewater from the wood preservation process. The wood preservation process is carried out by heat immersion, whether by adding chemical preservatives (prevail) or not. The remaining water from the soaking wood becomes wastewater and needs to be processed before being discharged into the water body. The characteristics of the wastewater have a BOD/COD ratio $<0,2$ so that the biological processing systems is difficult to do.

The wood processing industry in Jombang has WWTP that used a physical-chemical system. The chemical process using existing coagulant requires high cost to buy the coagulant. But, the result of the effluent water quality still over the quality standards of wastewater according to PERGUB JATIM No. 72 2013. Therefore, the evaluation and optimization performance of the existing WWTP is needed to make the wastewater process more effective and economical.

The coagulation-flocculation experiments using Aluminium sulfate, poly aluminium chloride (PAC) and FeCl_3 were carried out to find alternatives coagulant that more effective and economical. The result of this experiment showed that PAC is the most effective coagulant for treating wastewater both prevail and nonprevail. In prevail wastewater, the dose of 500 mg/L PAC is able to reduce

COD, TSS and turbidity parameters by 52.63%, 97.14% and 98.71%. While the dose of 50 mg/L PAC is able to reduce turbidity and COD parameters by 97.41% and 85.37%. The results of the WWTP optimization include the addition of the PAC coagulant tub, NaOH tub, sand filter unit and the replacement of the ozone generator unit. The optimization investment cost of WWTP is Rp. Rp101.558.604, the operating cost is Rp 1.634.395/month and the maintenance cost is Rp. Rp 3.800.000/year.

Keywords : Coagulant, Chemical Treatment, Evaluation, Optimation, Wood Industrial Wastewater.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Optimasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Kayu di Kabupaten Jombang” tepat pada waktunya. Laporan ini dibuat dalam rangka memenuhi persyaratan mata kuliah Tugas Akhir S1 Teknik Lingkungan FTSLK ITS. Dalam penyusunan laporan, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Ellina Sitepu Pandebesie, MT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan.
2. Ibu Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., PhD., Ibu Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., PhD dan Bapak Welly Herumurti, S.T., M.Sc., selaku dosen pengarah Tugas Akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya.
3. Bapak Welly Herumurti, S.T., M.Sc selaku koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS. Terima kasih atas kebijakan dan kesabarannya dalam mengurus Tugas Akhir.
4. Bapak Deka Wahyu, Ibu Asa Umu, Bapak Zulfikar serta segenap pekerja industri pengolahan kayu di Jombang yang telah mengizinkan dan membantu pengambilan data di perusahaan.
5. Orang tua penulis, Bapak Masykur dan Ibu Siti Muallimah yang selalu ikhlas mendoakan dan mendukung penulis baik secara moril maupun materiil sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Ahmad Syafi'i, Ahmad Muhammad, Ummi Fadilah, Azza Nur Laila, Nava Farah Dina dan Adi Pramono, terima kasih atas do'a, dukungan, serta semangat yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
7. Teman-teman angkatan 2015, khususnya lin, Imamah, Anes, Rosi, Pingky, Talitha, Rudi dan Govin yang selalu memberikan bantuan dan semangat kepada penulis.

Penyusunan laporan Tugas Akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin. Namun penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.

Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk memperbaiki penulisan dikemudian hari. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengawetan Kayu	5
2.2 Karakteristik Air Limbah Industri Pengolahan Kayu	5
2.3 Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Pengolahan Kayu	8
2.4 Baku Mutu Limbah Cair Industri Pengolahan Kayu	10
2.5 Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Kayu	10
2.6.1 <i>Lamella Separator</i>	10
2.6.2 Bak Koagulasi dan Flokulasi	12
2.6.3 <i>Filter Press (Membrane cloth)</i>	15
2.6.4 Filter Bertekanan	15
2.6.5 Filter Karbon Aktif	19
2.6.6 Ozonisasi	21
2.6 Termisida <i>Prevail 100EC</i>	23
2.7 Jenis-jenis Koagulan	25
2.8 Metode <i>Jar Test</i>	28
2.9 Studi Terdahulu	29
2.11 Gambaran Umum Objek Perencanaan	30
2.11.1 Sumber Limbah Cair	32
2.11.2 Kondisi Eksisting IPAL Objek Perencanaan	33
BAB III METODE PERENCANAAN	43
3.1 Kerangka Perencanaan	43
3.2 Waktu dan Tempat Studi	45

3.3	Metode Perencanaan.....	45
3.3.1	Identifikasi Masalah.....	45
3.3.2	Studi Literatur	45
3.3.3	Pengumpulan Data	46
3.3.4	Penelitian Pendahuluan	49
3.3.5	Metode Pengolahan Data	53
3.3.6	Hasil dan Pembahasan	55
3.3.7	Kesimpulan.....	55
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		57
4.1	Debit Air Limbah	57
4.2	Karakteristik Air Limbah	58
4.3	Penelitian Pendahuluan	61
4.3.1	Penentuan Jenis Koagulan dan Dosis Optimum	62
4.3.2	Percobaan Aerasi Terhadap Kualitas Air Limbah ...	81
4.4	Evaluasi IPAL Eksisting	83
4.4.1	Operasional IPAL Eksisting.....	84
4.4.2	Kolam Penampungan (Kolam 1).....	87
4.4.3	<i>Lamella Separator</i>	87
4.4.4	Kolam Koagulasi-flokulasi (kolam 2).....	93
4.4.5	<i>Filter Press</i>	98
4.4.6	Kolam Aerasi (kolam 3).....	100
4.4.7	<i>Carbon Filter</i>	101
4.4.8	Tandon Akhir (Ozonisasi).....	103
4.4.9	Rekomendasi Evaluasi.....	104
4.5	Optimasi IPAL Eksisting.....	104
4.5.1	Kolam Koagulasi-flokulasi	104
4.5.2	Perencanaan <i>Pressure Sand Filter</i>	111
4.5.3	<i>Carbon Filter</i>	119
4.5.4	Ozon	121
4.6	Kualitas Air Limbah Efluen Hasil Optimasi IPAL	124
4.7	Perhitungan Biaya Investasi, Operasi dan Perawatan IPAL	126
BAB V PENUTUP		129
5.1	Kesimpulan	129
5.2	Saran	129
DAFTAR PUSTAKA.....		131
LAMPIRAN A		139
LAMPIRAN B		145
LAMPIRAN C		149

LAMPIRAN D	157
LAMPIRAN E	159
LAMPIRAN F	161
LAMPIRAN G	163
LAMPIRAN H.....	169
BIOGRAFI PENULIS	173

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Alir Pengolahan Limbah Industri Pengolahan Kayu	9
Gambar 2.2	<i>Lamella Separator</i>	11
Gambar 2.3	Proses Koagulasi-flokulasi	13
Gambar 2.4	Filter Bertekanan	17
Gambar 2.5	Adsorpsi pada Karbon Aktif	19
Gambar 2.6	Prinsip Kerja Generator Ozon	22
Gambar 2.7	Struktur Molekul Sipermetrin	24
Gambar 2.8	Grafik Kelarutan Koagulan Alum	26
Gambar 2.9	Grafik Kelarutan Koagulan FeCl ₃	27
Gambar 2.10	Alat <i>Jar test</i>	28
Gambar 2.11	Batas Wilayah Industri Pengolahan Kayu di Jombang.....	31
Gambar 2.12	Kolam Masak Kayu Tanpa Prevail	33
Gambar 2.13	Kolam Masak Kayu dengan Penambahan Prevail	33
Gambar 2.14	Karakteristik Air Limbah Prevail	33
Gambar 2.15	Diagram Alir Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Pengolahan Kayu di Jombang	34
Gambar 2.16	Bangunan Kolam Penampungan (Kolam 1).....	35
Gambar 2.17	Air Limbah di Kolam 1	35
Gambar 2.18	Unit <i>Lamella Separator</i>	36
Gambar 2.19	Unit Kolam Koagulasi-flokulasi (Kolam 2)	37
Gambar 2.20	Unit <i>Filter Press</i>	37
Gambar 2.21	Lumpur Hasil Pemisahan dari <i>Filter Press</i>	38
Gambar 2.22	Unit Kolam 3	38
Gambar 2.23	Unit <i>Carbon Filter</i>	39
Gambar 2.24	(a) <i>Catridge Filter</i> (b) Reaktor Ozon yang Telah Rusak	40
Gambar 2.25	Unit Tandon Akhir.....	41
Gambar 2.26	Generator Ozon Pengganti	41
Gambar 3.1	Kerangka Perencanaan.....	44 47
Gambar 3.2	Lokasi Titik Sampling Air Limbah	47
Gambar 3.3	Bagan Percobaan <i>Jar test</i> Koagulan	52
Gambar 3.4	Bagan Percobaan Aerasi	53
Gambar 4.1	Diagram Alir Kualitas Air Limbah.....	59

Gambar 4.2	Hasil Percobaan <i>Jar Test</i> Pertama Koagulan Alum untuk Air Limbah Prevail	64
Gambar 4.3	Hasil Percobaan <i>Jar Test</i> Kedua Koagulan Alum untuk Air Limbah Prevail.....	65
Gambar 4.4	Hasil Percobaan <i>Jar Test</i> Kedua Koagulan Alum untuk Air Limbah Nonprevail	67
Gambar 4.5	Hasil Percobaan <i>Jar Test</i> Pertama Koagulan FeCl_3 untuk Air Limbah Prevail	68
Gambar 4.6	Hasil Percobaan <i>Jar Test</i> Kedua Koagulan FeCl_3 untuk Air Limbah Prevail.....	69
Gambar 4.7	Hasil Percobaan <i>Jar Test</i> Pertama Koagulan FeCl_3 untuk Air Limbah Nonprevail.....	70
Gambar 4.8	Hasil Percobaan <i>Jar Test</i> Kedua Koagulan FeCl_3 untuk Air Limbah Nonprevail	71
Gambar 4.9	Hasil Percobaan <i>Jar Test</i> Kedua Koagulan PAC untuk Air Limbah Prevail.....	72
Gambar 4.10	Hasil Percobaan <i>Jar Test</i> Koagulan PAC untuk Air Limbah Nonprevail	73
Gambar 4.11	Penurunan pH Air Limbah Prevail Setelah Proses Koagulasi-flokulasi	76
Gambar 4.12	Penurunan pH Air Limbah Nonprevail Setelah Proses Koagulasi-flokulasi	76
Gambar 4.13	Skema Aliran Air Limbah Pada <i>Lamella/Tube Settler</i>	88
Gambar 4.14	Tampak Atas Unit <i>Lamella Separator</i>	88
Gambar 4.15	Generator Ozon Netech tipe NT-DGY 1.0.....	124

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Baku Mutu Limbah Cair Industri Pengolahan Kayu Lapis/ <i>Plywood</i>	10
Tabel 2.2	Kriteria Desain <i>Lamella Separator</i>	11
Tabel 2.3	Kriteria Desain Pengadukan Cepat.....	14
Tabel 2.4	Kriteria Desain Pengadukan Lambat.....	14
Tabel 2.5	Keuntungan dan Kerugian Penggunaan <i>Filter Press</i>	15
Tabel 2.6	Kriteria Desain <i>Filter Press</i>	15
Tabel 2.7	Kriteria Desain Filter Bertekanan	16
Tabel 2.8	Kriteria Desain <i>Granular Activated Carbon (GAC)</i>	20
Tabel 2.9	Karakteristik Sipermetrin	23
Tabel 2.10	Studi Terdahulu Terkait Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Pengolahan Kayu.....	29
Tabel 2.11	Hasil Pengukuran Influen Air Limbah dari KMK Bulan November 2018.....	32
Tabel 2.12	Spesifikasi Teknis Generator Ozon.....	41
Tabel 2.13	Dimensi Unit-unit IPAL Eksisting.....	42
Tabel 3.1	Parameter Uji Air Limbah	48
Tabel 3.2	Metode Analisis Parameter Air Limbah.....	48
Tabel 4.1	Debit Air Limbah pada Tahun 2018.....	57
Tabel 4.2	Jenis dan Jumlah KMK.....	58
Tabel 4.3	Kualitas Air Limbah di Masing-masing Unit IPAL.....	60
Tabel 4.4	Hasil Uji Laboratorium Kualitas Efluen IPAL Januari 2018 - Desember 2018.....	60
Tabel 4.5	Spesifikasi Koagulan yang digunakan Dalam Penelitian.....	62
Tabel 4.6	Kebutuhan Koagulan sebagai Larutan Stock.....	63
Tabel 4.7	Rangkuman Hasil Penentuan Dosis Optimum Koagulan untuk Air Limbah Prevail	74
Tabel 4.8	Rangkuman Hasil Penentuan Dosis Optimum Koagulan untuk Air Limbah Nonprevail.....	74
Tabel 4.9	Perhitungan Kebutuhan Koagulan dan Biaya Pengolahan Air Limbah Prevail.....	78
Tabel 4.10	Perhitungan Kebutuhan Koagulan dan Biaya Pengolahan Air Limbah Nonprevail.....	78

Tabel 4.11	Jumlah Lumpur yang dihasilkan Masing-masing Koagulan.....	80
Tabel 4.12	Massa Solid yang dihasilkan Masing-masing Koagulan.....	80
Tabel 4.13	Karakteristik Awal Air Limbah Sebelum dan Sesudah Koagulasi-flokulasi	81
Tabel 4.14	Hasil Percobaan Aerasi	82
Tabel 4.15	Kriteria Efisiensi Penurunan Parameter Air Limbah Unit IPAL Eksisting	83
Tabel 4.16	Kualitas Air Limbah Per-unit Bangunan Sesuai Kondisi Eksisting	85
Tabel 4.17	Kualitas Air Limbah Perunit Bangunan Sesuai Kriteria Desain	85
Tabel 4.18	Kriteria Unit Eksisting <i>Lamella Separator</i>	89
Tabel 4.20	Tabel Perbandingan Antara Desain Eksisting <i>Lamella Separator</i> Dengan Kriteria Desain.....	92
Tabel 4.21	Biaya Koagulan Eksisting.....	94
Tabel 4.22	Kebutuhan Reagen Kimia Untuk Mengolah Air Limbah Tahun 2018.....	94
Tabel 4.23	Jumlah Lumpur Yang Dihasilkan IPAL Pada Tahun 2018.....	96
Tabel 4.24	Spesifikasi Kompresor	96
Tabel 4.25	Spesifikasi <i>Filter Press</i> IPAL Eksisting	98
Tabel 4.26	Perbandingan Kondisi Eksisting <i>Filter Press</i> Dengan Kriteria Desain.	99
Tabel 4.27	Unit <i>Carbon Filter</i> IPAL Eksisting	101
Tabel 4.28	Kriteria Desain GAC	101
Tabel 4.29	Hasil Evaluasi Unit <i>Carbon Filter</i>	103
Tabel 4.30	Kriteria Desain <i>Pressure Filter</i> Dengan Media Pasir:.....	111
Tabel 4.31	Disribusi Media Pasir Silika	112
Tabel 4.32	Nilai Nre dan Cd Media Pasir Silika	113
Tabel 4.33	Nilai Vs dan ϵ_e Tiap Diameter Media Pasir Silika	115
Tabel 4.34	Perhitungan Mol Persamaan Reaksi Oksidasi Sipermetrin Dengan Ozon	123
Tabel 4.35	Efisiensi Penurunan Parameter Limbah Perunit IPAL	125
Tabel 4.36	Konsentrasi Parameter Limbah di Masing-masing Unit IPAL.....	125

Tabel 4.37	Perhitungan Biaya Investasi IPAL	126
Tabel 4.38	Biaya Operasi IPAL	127
Tabel 4.39	Biaya Perawatan IPAL	128

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pengolahan kayu di Indonesia merupakan industri yang berperan penting dalam peningkatan perekonomian nasional. Industri ini menjadi faktor kunci dalam upaya meningkatkan penerimaan negara dari sektor kehutanan. Industri pengolahan kayu yang berlokasi di Kabupaten Jombang merupakan penghasil produk kayu olahan dan menjadi produsen lantai kayu keras terbesar di Jawa Timur. Kapasitas produksinya mencapai 50.000 m³ kayu per tahun. Produk utama dari industri ini berupa cetakan dan komponen perumahan seperti *flooring*, *fingerjoint*, laminasi *fingerjoint*, *parquet*, *lamparquet*, *decking*, dan *skirting*. Selain itu juga menghasilkan beberapa produk perabot rumah tangga seperti meja dan kursi.

Kapasitas produksi industri kayu tersebut yang cukup besar, menghasilkan limbah baik padat, cair maupun gas yang besar pula. Menurut Subari (2014), faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas limbah cair dalam industri pengolahan kayu adalah jenis kayu yang digunakan, jumlah air yang digunakan dalam proses pencucian peralatan dan mesin produksi, proses pengawetan kayu, dan sistem produksi yang digunakan (kering atau basah). Ciri-ciri limbah cair dari industri pengolahan kayu umumnya didominasi oleh nilai pH, BOD₅, COD, TSS, fenol, dan amoniak (Subari, 2014). Limbah cair yang dihasilkan oleh industri kayu di Jombang berasal dari proses pengawetan kayu dengan cara perendaman baik dengan bahan pengawet kimiawi atau tidak. Pengawet yang digunakan berasal dari bahan kimia *prevail* 100EC yang berbahan aktif pestisida sipermetrin. Dari hasil uji laboratorium pada bulan November 2018, karakteristik limbah cair yang mengandung *prevail* memiliki nilai COD 28.600 mg/L dan BOD 3.661 mg/L. Sedangkan air limbah non*prevail* memiliki nilai COD 2.330 mg/L dan BOD 424 mg/L. Limbah cair yang mengandung bahan pengawet kimiawi (*prevail*) lebih sukar diolah karena parameter pencemarnya sangat tinggi dibandingkan dengan tanpa pengawet.

Limbah cair apabila dibuang ke badan air dengan tanpa pengolahan terlebih dahulu, dapat mencemari badan air sehingga merugikan masyarakat sekitarnya. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah cair dimana sistem pengolahan limbah yang ada harus mampu meminimalisir kandungan bahan-bahan berbahaya sebelum di lepaskan ke lingkungan (Oktarini *et al.*, 2012). Untuk mengendalikan pencemaran tersebut, Pemerintah RI telah mengeluarkan peraturan mengenai baku mutu limbah cair untuk kegiatan industri sehingga tidak mencemari lingkungan. Dengan adanya peraturan tersebut, maka pemantauan terhadap kinerja IPAL sangat diperlukan agar efluen yang dihasilkan tetap memenuhi standar baku mutu yang telah di tetapkan.

Industri pengolahan kayu di Jombang merupakan salah satu industri yang telah melakukan pengolahan terhadap limbah cair yang dihasilkannya. Sistem pengolahan limbah cair yang digunakan yaitu fisik dan kimiawi. Pengolahan kimiawi diterapkan karena karakteristik limbah cair yang memiliki rasio BOD/COD rendah yaitu $<0,2$. Nilai BOD/COD yang rendah membuat pengolahan secara biologis sulit dilakukan karena air limbah bersifat toksik terhadap mikroorganismenya (Rezagama dan Notodarmojo, 2012). Namun dalam implementasinya, pengolahan kimiawi memerlukan biaya yang relatif besar untuk pembelian bahan kimia (koagulan). Hal tersebut tidak sebanding dengan hasil yang diperoleh. IPAL eksisting menghasilkan kualitas efluen yang belum memenuhi standar baku mutu air limbah sesuai dengan PERGUB JATIM No 72 tahun 2013. Ketidakefektifan ini disebabkan oleh proses pengolahan yang tidak dapat berjalan dengan baik maupun desain IPAL yang kurang tepat, sehingga mempengaruhi kualitas air limbah yang diolah di IPAL. Parameter efluen air limbah yang seringkali melebihi baku mutu yaitu parameter BOD dan COD. Oleh karena itu, diperlukan optimasi kinerja IPAL eksisting agar efluen dapat memenuhi standar baku mutu yang dipersyaratkan serta menekan biaya pengeluaran agar ekonomis.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka diperlukan evaluasi dan optimasi IPAL eksisting pada industri pengolahan kayu di Jombang. Optimasi IPAL eksisting dilakukan dengan

menentukan jenis koagulan yang efektif untuk pengolahan kimiawi serta mengevaluasi desain masing-masing unit IPAL. Optimasi IPAL eksisting diharapkan mampu memberikan keuntungan pada pihak perusahaan dari aspek teknis maupun aspek finansial untuk mengolah air limbah yang dihasilkan.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. IPAL eksisting industri pengolahan kayu di Jombang belum bekerja secara optimal dalam mengolah air limbah sehingga diperlukan evaluasi dan optimasi kinerja IPAL.
2. Biaya pengolahan air limbah tinggi namun kualitas efluen masih belum memenuhi baku mutu PERGUB JATIM No 72 Tahun 2013, sehingga diperlukan pemilihan jenis bahan kimia (koagulan) yang efektif dan ekonomis dalam mengolah air limbah.

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengevaluasi dan merencanakan optimasi kinerja IPAL eksisting industri pengolahan kayu di Jombang.
2. Menentukan biaya investasi, operasi dan perawatan IPAL.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam tugas akhir ini meliputi :

1. Aspek yang digunakan dalam perencanaan meliputi aspek teknis dan aspek finansial. Aspek teknis meliputi efektivitas pengolahan air limbah sehingga memenuhi baku mutu PERGUB JATIM No 72 Tahun 2013 dan evaluasi desain IPAL eksisting sesuai kriteria desain. Aspek finansial meliputi biaya investasi, biaya operasi dan biaya perawatan IPAL.
2. Penelitian pendahuluan dilakukan untuk menentukan jenis koagulan dan dosis optimum yang efektif untuk mengolah air limbah dengan metode *jar test* dan percobaan aerasi.
3. Koagulan yang digunakan untuk penelitian pendahuluan adalah Aluminium sulfat dan Besi (III) klorida dan *Polyaluminium chloride* (PAC).
4. Perencanaan ini dibatasi pada fraksi cair air limbah, lumpur hasil pengolahan IPAL diangkut oleh pihak ketiga.

5. Jangka waktu perencanaan adalah 3 bulan, yakni pada bulan Maret hingga Mei 2019.
6. Baku mutu yang digunakan mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No 72 tahun 2013 tentang Baku Air Limbah Untuk Industri Kayu Lapis / *Plywood*.
7. Parameter air limbah yang dianalisis meliputi pH, BOD, COD, TSS, total amoniak ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan fenol.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menjadi bahan pertimbangan dalam perbaikan kinerja unit IPAL industri pengolahan kayu di Jombang sehingga air limbah yang dibuang dapat memenuhi baku mutu yang ditetapkan.
2. Sebagai acuan untuk pembangunan unit pengolahan air limbah jika ada penambahan kapasitas produksi dari industri pengolahan kayu Jombang dimasa akan datang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengawetan Kayu

Kayu dengan kelas awet rendah rentan terhadap serangan organisme pengganggu kayu sehingga perlu diawetkan terlebih dahulu (Barly dan Lelana, 2010). Penggunaan bahan kimia pengawet kayu diakui sebagai cara yang paling efektif dalam meningkatkan mutu kayu. Beberapa bahan kimia yang paling umum digunakan sebagai pengawet kayu antara lain formaldehid (formalin), berbagai produk termisida (pestisida anti rayap), *boric acid equivalent* (BAE), senyawa boron dan boraks.

Metode pengawetan kayu yang umum digunakan yaitu metode rendaman (dingin atau panas), metode pencelupan, metode pemulasan, dan metode vakum dan tekanan (Pangestuti *et al.*, 2016). Metode rendaman merupakan cara dimana kayu direndam didalam bak larutan bahan pengawet yang telah ditentukan konsentrasi (kepekatan) bahan pengawet dan larutannya selama beberapa jam atau beberapa hari (Dumanauw, 1984). Metode perendaman dingin dilakukan dengan merendam kayu di dalam bahan pengawet larut air pada suhu kamar (20-25°C). Waktu perendaman tergantung tingkat peresapan bahan pengawet (Fitriyani *et al.*, 2018). Perendaman panas dingin dimulai dengan merendam kayu dengan air yang dialiri uap panas selama 2 jam kemudian dilanjutkan perendaman dingin selama beberapa hari (bisa 1-3 hari) (Rinaldi *et al.*, 2012).

2.2 Karakteristik Air Limbah Industri Pengolahan Kayu

Karakteristik limbah cair industri pengolahan kayu dipengaruhi oleh proses produksi yang berjalan. Limbah industri kayu biasanya mengandung bahan-bahan pencemar yang berasal dari bahan pengawet kayu seperti impralit, termisida, boraks dan sebagainya. Bahan pengawet ini mempunyai bahan pengaktif yang menyebabkan nilai BOD dan COD sangat tinggi (Soedarmanto, 2012).

Warna limbah cair industri kayu lapis adalah coklat keruh. Air limbah ini mengandung bahan organik cukup tinggi yang disebabkan penggunaan urea dan melamin selama proses produksi berlangsung. Menurut Hadibarata *et al* (2000), tingginya

kandungan bahan organik pada limbah cair akan menyebabkan kandungan oksigen yang larut dalam air berkurang. Sedangkan bau yang ditimbulkan oleh limbah cair industri kayu sangat menyengat dan mempunyai ciri khas seperti bau formaldehid (formalin) dan amoniak. Karakteristik limbah cair industri pengolahan kayu pada umumnya dilihat dari parameter pH, BOD, COD, TSS, fenol dan total amoniak (Subari, 2014). Penjelasan lebih rinci mengenai parameter tersebut akan dijelaskan sebagai berikut :

a) pH

pH (*puissance de hydrogen*) adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Harga pH merupakan ukuran untuk konsentrasi ion hidrogen dalam larutan akuatik. Kadar pH normal air yang ideal pada suhu 25°C adalah 7. Pengukuran pH sangatlah penting dalam bidang yang terkait dengan kehidupan atau industri pengolahan kimia seperti kimia, biologi, kedokteran, pertanian, ilmu pangan, rekayasa (keteknikan), dan oseanografi (Zuliani, 2017). Perubahan nilai pH berperan sebagai indikator kualitas perairan yang terjadi sebagai akibat berlimpahnya senyawa-senyawa kimia baik yang bersifat polutan maupun bukan polutan (Susana, 2009).

b) BOD₅

Kandungan BOD₅ yang terkandung dalam air limbah menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan mikroorganisme untuk mengurai zat organik dalam kondisi aerob (Zahra dan Purwanti, 2015). Dalam hal ini dapat diinterpretasikan bahwa senyawa organik adalah makanan bagi bakteri (Subari *et al.*, 2012). BOD₅ air limbah dapat dihubungkan dengan jumlah oksigen yang harus disuplai ke dalam air limbah baik dengan aerator maupun proses aerasi alami di dalam air. Angka BOD₅ dinyatakan dalam satuan mg/L atau *part per million* (ppm). Dapat pula dinyatakan dalam satuan beban yaitu gram atau kilogram per satuan waktu.

c) COD

COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk penguraian seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Sari *et al.*, 2015). Parameter COD mencerminkan banyaknya

senyawa organik yang dioksidasi secara kimia (Subari *et al.*, 2012). Penentuan nilai COD dilakukan dengan mengoksidasi air limbah (senyawa organik) dengan $K_2Cr_2O_7$ dalam suasana asam, misalnya sulfat, nitrit kadar tinggi, dan zat-zat reduktor lainnya. Nilai tes COD biasanya lebih besar daripada tes BOD. Hal ini disebabkan senyawa yang lebih mudah dioksidasi secara kimia jumlahnya lebih banyak daripada secara biologi, dikarenakan adanya bahan *non-biodegradable* dalam air limbah.

d) *Total Suspended Solid* (TSS)

TSS merupakan padatan yang tersuspensi di dalam air berupa bahan-bahan organik dan anorganik yang disaring dengan kertas *millipore* berpori-pori $0,45\ \mu m$ (Agustira *et al.*, 2013). Nilai TSS air dapat diketahui menggunakan metode gravimetri. Metode gravimetri adalah pemeriksaan jumlah zat dengan cara penimbangan hasil reaksi pengendapan (Fatimah *et al.*, 2014). TSS sangat berguna dalam analisis perairan dan buangan domestik yang tercemar serta dapat digunakan untuk mengevaluasi mutu air, maupun menentukan efisiensi unit pengolahan (Rinawati *et al.*, 2016)

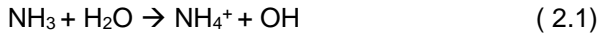
e) Fenol

Fenol adalah senyawa yang mudah terbakar yang sangat larut dalam air, minyak, karbon disulfida dan berbagai pelarut organik. Fenol telah terdaftar sebagai polutan prioritas oleh *US Environmental Protection Agency* (USEPA) dengan batas yang diizinkan $0,1\ mg/L$ di air limbah (El-Naas *et al.*, 2010). Fenol dalam limbah cair industri pengolahan kayu biasanya dihasilkan dari bahan perekat yang berupa *phenol formaldehyde* (PF). *Phenol formaldehyde* merupakan hasil polimerasi antara *phenol* dan *formaldehyde* (Grafiddin, 2017). Senyawa fenolik (turunan benzena) yang sukar terurai dalam air dan dalam waktu singkat sehingga dapat merubah sifat fisik dan kimia air. Fenol bersifat toksik terhadap biota perairan serta merusak citarasa produk perikanan (Sahubawa, 2008).

f) Amoniak

Amoniak (NH_3) di dalam air adalah senyawa nitrogen amoniak dalam bentuk NH_4^+ (amonium). Amonia dalam air berasal dari air seni, tinja, hasil penguraian secara mikrobiologis terhadap zat organik di alam, dan air limbah industri maupun domestik.

Keberadaan amonium didasarkan pada reaksi kesetimbangan 2.1.



Pada pengolahan air limbah, seringkali terjadi proses nitrifikasi maupun denitrifikasi. Proses nitrifikasi didefinisikan sebagai konversi nitrogen amonium (N-NH_4) menjadi nitrit (N-NO_2) yang kemudian menjadi nitrat (N-NO_3). Proses nitrifikasi ini dilakukan oleh bakteri autotropik dan heterotropik (Widayat *et al.*, 2010). Keberadaan amoniak dalam air sungai yang melebihi ambang batas dapat mengganggu ekosistem perairan dan makluk hidup lainnya (Murti *et al.*, 2014). Pada manusia, resiko terbesar adalah dari penghirupan uap yang berakibat beberapa efek diantaranya iritasi pada kulit, mata dan saluran pernafasan. Pada tingkat yang sangat tinggi, penghirupan uap sangat bersifat fatal. (Azizah dan Humairoh, 2015).

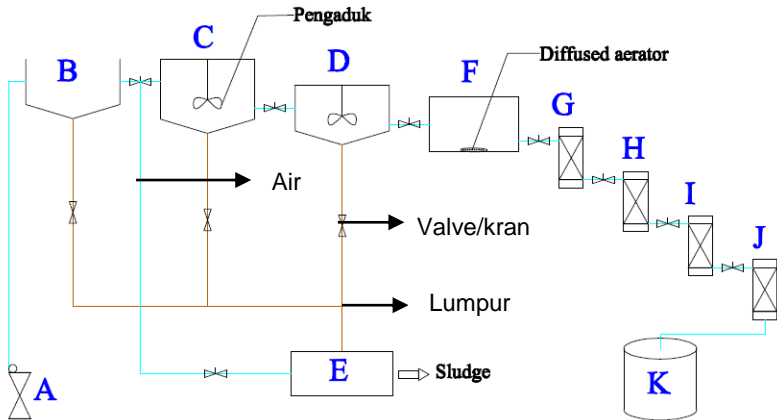
2.3 Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Pengolahan Kayu

Teknologi pengolahan air limbah terus berkembang seiring bertambahnya kebutuhan dan perubahan karakteristik air limbah yang lebih variatif. Pemilihan teknologi pengolahan limbah harus disesuaikan dengan kebutuhan dan daya dukung yang dimiliki oleh pihak industri (Muzakky *et al.*, 2016). Pemilihan teknologi juga mempengaruhi proses pengolahan limbah cair yang berlangsung. Adapun diagram alir pengolahan limbah industri pengolahan kayu dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Berdasarkan Gambar 2.1, pada tahap awal, pH air limbah dinetralkan karena menurut Hamida (2014), pada pH 6-7 koagulan akan bekerja secara efektif. Selanjutnya air limbah pekat diolah secara kimia dengan penambahan koagulan untuk membentuk inti flok. Pada bak koagulasi dilengkapi dengan pengaduk supaya koagulan dapat tercampur secara merata sehingga proses kimia berjalan lebih cepat. Koagulasi/flokulasi diperlukan untuk menghilangkan material limbah berbentuk koloid. Koloid merupakan partikel-partikel berdiameter sekitar 1 nm (10^{-7} cm) hingga 0,1 nm (10^{-8} cm). Partikel-partikel ini tidak dapat mengendap dalam periode waktu tertentu dan tidak dapat

dihilangkan dengan proses perlakuan fisika biasa (Coniwanti *et al.*, 2013)

Setelah melalui bak koagulasi I dan flokulasi (D), efluen air limbah mengalir ke bak aerasi (F) sedangkan lumpurnya masuk ke *filter press (membran cloth)* untuk dipisahkan dengan fraksi airnya. Lumpur yang telah padat ditampung pada wadah dan siap diangkat ke pihak ketiga untuk diolah/didumping. Setelah melalui bak aerasi, efluen air limbah berturut-turut masuk ke penyaring pasir (G), filter karbon aktif (H), resin anion (I) dan resin kation (J). Resin ini berfungsi untuk pertukaran ion positif dan negatif pada logam berat. Hasil akhir pengolahan air limbah ditampung pada bak penampung sementara (K) sebelum dibuang ke badan air terdekat (Soedarmanto, 2012).



Keterangan :

- | | |
|---|------------------------|
| A. Pompa air | G. Penyaring pasir |
| B. Bak penampungan | H. Filter karbon aktif |
| C. Bak koagulasi | I. Resin anion |
| D. Bak flokulasi | J. Resin Kation |
| E. <i>Filter press (membran cloth)</i> hasil olahan | K. Bak penampung air |
| F. Bak aerasi | |

Gambar 2.1 Diagram Alir Pengolahan Limbah Industri Pengolahan Kayu

Sumber : Soedarmanto, 2012

2.4 Baku Mutu Limbah Cair Industri Pengolahan Kayu

Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No 72 tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri dan/atau Kegiatan Industri lainnya di Jawa Timur, parameter-parameter air limbah yang diperiksa untuk pengolahan kayu lapis/*plywood* adalah sebagai berikut :

1. pH
2. BOD₅
3. COD
4. TSS
5. Fenol
6. Total amoniak (NH₃-N)

Adapun baku mutu limbah cair untuk pengolahan kayu lapis untuk volume air limbah maksimum = 0,3 m³ per ton produk kayu lapis. Untuk parameter BOD₅ kadar maksimum konsentrasi BOD₅ yang dibuang ke badan air sebesar 75 mg/L. Untuk parameter COD sebesar 125 mg/L dan TSS sebesar 50 mg/L. Untuk data lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah Cair Industri Pengolahan Kayu Lapis/*Plywood*

Parameter	Kadar maksimum (mg/L)	Beban pencemaran maksimum (g/m ³)
BOD ₅	75	22,5
COD	125 ,	37,5
TSS	50	15
Fenol	0,25	0,08
Total amoniak (NH ₃ -N)	4	1,2
pH		6,0 – 9,0
Volume limbah maksimum = 0,30 m³ per ton produk kayu lapis		

Sumber : *PerGub Jatim No 72 tahun 2013*

2.5 Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Kayu

2.6.1 Lamella Separator

Teknologi *lamella* mulai dikembangkan oleh Sekoulov dan Plass pada tahun 1995 (Kolisch dan Schirmer, 2004). *Lamella separator* merupakan teknologi sedimentasi yang terkemuka, ekonomis dan hemat lahan, terbuat dari baja tahan karat. Alat ini

berfungsi untuk penjernihan dan mendaur ulang air, serta memisahkan partikel penyebab kekeruhan dari air kotor. *Lamella separator* terdiri atas tiga kompartemen (Gambar 2.2), sisi kiri dan kanan berfungsi sebagai *plate settler* dan sisi tengahnya sebagai inlet *channel*. Zona lumpur berbentuk limas, *plate settler* berbentuk biasa (lembaran). Bentuk zona pengendap dan *plate settler* persegi panjang dan diberikan kemiringan sebesar 45° (Manulangga dan Hadi, 2011).



Gambar 2.2 *Lamella Separator*

Prinsip *lamella separator* yaitu mengendapkan partikel-partikel padat berdasarkan ukuran dan beratnya. Berbeda dengan sedimentasi konvensional, unit pengendapan *lamella* berisi serangkaian pelat piring (*lamellae*) sehingga menyediakan area pengendapan lebih besar dalam ruang yang jauh lebih kecil. Influen air limbah mengalir ke dalam unit *lamella*, partikel padat mengendap diatas piring kemudian menebal dan jatuh ke unit *hopper*. *Hopper* adalah tangki penampungan lumpur yang berada dibagian bawah unit. Selanjutnya air limbah hasil proses pengendapan akan keluar dari sistem melalui saluran outlet (Anonymous, 2018). Kriteria desain *Lamella separator* disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kriteria Desain *Lamella Separator*

Parameter	Satuan	Unit
Sudut kemiringan <i>lamella</i>	$^\circ$	45-60
<i>Hdraulic Retention Time</i> (HRT)	menit	15-25
NRe	-	≤ 200
Diameter <i>tube settler</i> (w)	cm	4-12

Parameter	Satuan	Unit
V maks aliran melewati plat/ <i>tube settler lamella</i>	m/menit	0,15
<i>Hydraulic Loading Rate (HLR)</i>	m ³ /m ² .hari	60-150

Sumber : Kawamura (2000)

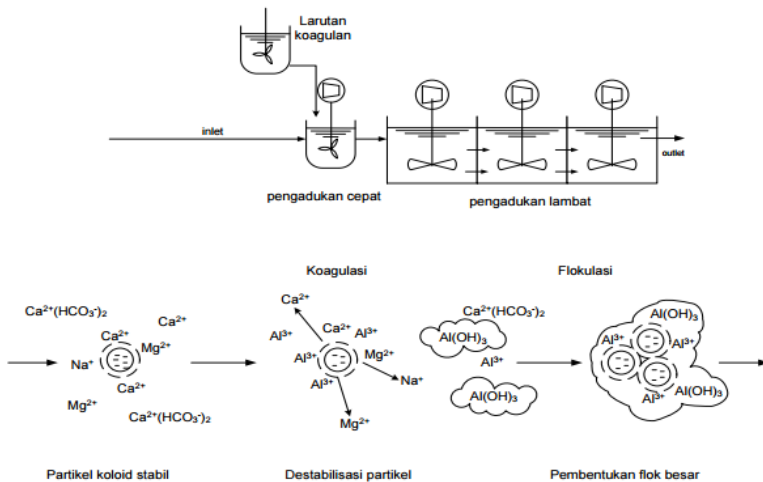
2.6.2 Bak Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi adalah salah satu metode yang digunakan untuk memulihkan air dan merupakan rangkaian pengolahan yang berkelanjutan. Koagulasi adalah proses pencampuran antara air yang akan diolah dengan penambahan zat kimia atau koagulan untuk mengikat polutan menggunakan bantuan pengadukan. Koagulasi-flokulasi terdiri dari tiga tahapan proses, yaitu pembentukan inti flok, destabilisasi koloid/partikel, dan pembesaran ukuran partikel (Husaini *et al.*, 2018). Ada 3 faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses koagulasi, yaitu jenis koagulan yang dipakai, dosis pembubuhan koagulan dan proses pengadukan (Narita *et al.*, 2011).

Menurut Coniwanti (2013), koagulan adalah bahan kimia yang dibutuhkan air untuk membantu proses pengendapan partikel-partikel kecil yang tak dapat mengendap dengan sendirinya. Koagulan yang biasa digunakan dalam pengolahan air limbah adalah koagulan kimia seperti Aluminium sulfat (tawas), *Polyaluminium chloride* (PAC) Besi (III) klorida, Besi (II) sulfat dan polimer kation. Flokulasi adalah proses pengikatan zat-zat pencemar oleh koagulan dan membentuk flok yang lebih besar ukurannya. Flok yang terbentuk akan mengendap secara gravitasi dan air yang akan dikeluarkan dari proses ini akan lebih jernih (Metcalf dan Eddy, 2014). Pengaturan pH merupakan hal yang penting dalam proses pengolahan limbah secara kimiawi. Hal ini disebabkan karena proses koagulasi-flokulasi terjadi pada pH tertentu. Bila proses koagulasi dilakukan tidak pada rentang pH optimum, maka akan mengakibatkan gagalnya proses pembentukan flok dan rendahnya kualitas air yang dihasilkan (Silaban *et al.*, 2017).

Proses pembentukan flok akibat ikatan kimia koagulan dengan air limbah diilustrasikan melalui Gambar 2.3. Air limbah memiliki ion negatif akan berikatan dengan ion positif koagulan (Al^{3+} atau Fe^{3+} tergantung koagulan yang digunakan), begitu juga

sebaliknya. Hal tersebut mengakibatkan partikel air limbah menjadi tidak stabil dan terbentuk inti flok. Melalui pengadukan lambat, flok-flok akan saling bertumbukan sehingga ukurannya semakin besar dan dapat mengendap secara gravitasi.



Gambar 2.3 Proses Koagulasi-flokulasi

Pengadukan yang terjadi dalam proses koagulasi-flokulasi memiliki 3 macam, yaitu pengadukan secara mekanis, hidrolis dan pneumatis. Pengadukan terdiri atas pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Menurut Saputri (2011), pengadukan cepat memiliki tujuan yaitu :

1. Melarutkan koagulan
2. Mendistribusikan koagulan secara merata dalam air
3. Menghasilkan partikel-partikel halus sebagai inti koagulasi sebelum reaksi koagulan selesai.

Sedangkan pengadukan lambat digunakan dalam proses flokulasi bertujuan :

1. Memberikan kesempatan kepada partikel flok yang sudah terbentuk inti flok untuk bergabung membentuk flok yang ukurannya semakin membesar.
2. Memudahkan flokulan untuk mengikat flok-flok kecil.
3. Mencegah pecahnya flok yang sudah terbentuk

Kecepatan pengadukan adalah faktor yang paling penting dalam koagulasi-flokulasi yang dinyatakan sebagai gradien kecepatan (G). Nilai G merupakan fungsi dari daya (P) dan juga volume air limbah yang diaduk (Persamaan 2.2).

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (2.2)$$

Pada pengadukan pneumatis, daya ditentukan dari spesifikasi kompresor yang digunakan untuk injeksi udara (*bubbles*). Jika telah diketahui daya, maka dapat dihitung debit udara yang diinjeksikan untuk mengaduk air limbah (Persamaan 2.3)

$$P = 3.904 \cdot G_a \cdot \log \left(\frac{h+10,4}{10,4} \right) \quad (2.3)$$

Dimana :

G = gradien kecepatan (det⁻¹)

P = tenaga pengadukan (N.m/det)

V = volume air (m³)

μ = viskositas absolut (N.det/m²)

G_a = debit udara terinjeksi (m³/menit)

h = kedalaman diffuser dari dasar bak (m)

Kriteria desain pengadukan dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3 Kriteria Desain Pengadukan Cepat

Waktu detensi (detik)	G (per detik)
20	1000
30	900
40	790
>50	700

Sumber : *Reynold dan Richard (1996)*

Tabel 2.4 Kriteria Desain Pengadukan Lambat

Proses	Rentang nilai	
	Td (menit)	G (detik ⁻¹)
Tipikal proses flokulasi untuk air limbah	30-60	50-100
Flokulasi pada proses <i>direct-filtration</i>	2-10	25-150
Flokulasi pada proses <i>contact-filtration</i>	2-5	25-200

Sumber : *Metcalf dan Eddy (2014)*

2.6.3 Filter Press (Membrane cloth)

Menurut Metcalf dan Eddy (2014), *dewatering* adalah operasi unit fisik untuk memisahkan senyawa padat dan air pada lumpur atau *biosolid*. Hasil proses *dewatering* adalah lumpur dengan konsentrasi padatan tinggi (*cake*) dan juga air. Pada *filter press* dilengkapi dengan kompresor untuk menghisap air dan memberikan tekanan tinggi pada lumpur. Jika menginginkan konsentrasi padatan pada *cake* lebih besar dari 35%, penggunaan *filter press* direkomendasikan karena unit pemisahan mekanis lainnya tidak dapat mencapai kandungan padatan yang tinggi secara konsisten. Keuntungan dan kerugian penggunaan *filter press* disajikan Tabel 2.5 sedangkan kriteria desain *filter press* disajikan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Keuntungan dan Kerugian Penggunaan *Filter Press*

No	Keuntungan	Kerugian
1	Konsentrasi padatan lumpur sangat tinggi	Operasi secara <i>batch</i>
2	Operasi mudah dan sederhana	Biaya peralatan tinggi
3	Padatan tersuspensi yang tertinggal di filtrat rendah	Memerlukan tenaga ahli dalam perawatan
4		Umur kain penyaring (<i>filter cloth</i>) terbatas sehingga harus diganti secara rutin

Sumber : Metcalf dan Eddy (2014)

Tabel 2.6 Kriteria Desain *Filter Press*

No	Parameter	Kriteria desain
1	Tekanan	700 – 2100 kPa
2	Ketebalan cake pada kain penyaring (<i>filter cloth</i>)	25 – 38 mm
3	Kadar air pada <i>cake</i>	45 – 70 %
4	Waktu sekali operasi	2 – 5 jam

Sumber : Metcalf dan Eddy (2014)

2.6.4 Filter Bertekanan

Filter bertekanan (*pressure sand filter*) pada dasarnya memiliki prinsip yang sama dengan filter gravitasi (filter cepat dan filter lambat), yaitu air akan melewati media berbutir dan terjadi penyaringan secara fisik (*straining*). Hanya saja, filter pasir

bertekanan memerlukan tekanan tambahan yang berasal dari pompa dan tangki dirancang dengan sistem tertutup (kolom). Sedangkan filter gravitasi didorong oleh tekanan atmosfer dengan sistem aliran terbuka.

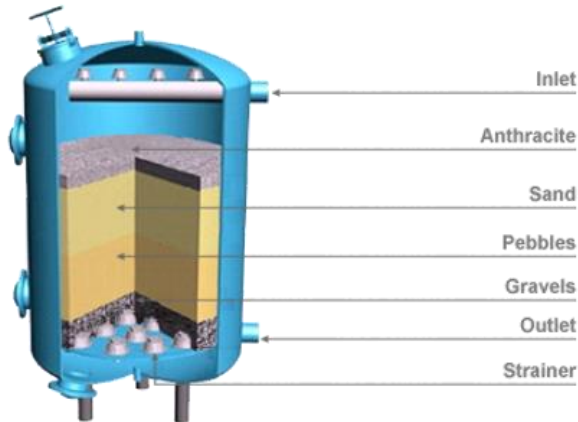
Filter bertekanan terdiri atas tangki/kolom tertutup, media filter, media penyangga dan sistem *underdrain*. Saat filter beroperasi, umumnya aliran air mengalir dari atas ke bawah (*downflow*). Namun pada saat pencucian (*backwash*), air dialirkan berlawanan pada saat filtrasi. Filter bertekanan dilengkapi dengan pengaturan valve untuk mempermudah operasi (Gambar 2.4). Kriteria filter bertekanan diatur dalam SNI 6774-2008 yang disajikan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kriteria Desain Filter Bertekanan

No	Parameter	Kriteria	Satuan
1	Kecepatan penyaringan	12--22	m/jam
2	Pencucian		
	Sistem pencucian	Tanpa/dengan blower & atau <i>surface wash</i>	-
	Kecepatan pencucian	72-198	m/jam
	Ekspansi	30-50	%
3	Media pasir		
	Tebal	300-700	mm
	Singel media	600-700	mm
	Media ganda	300-600	mm
	Ukuran efektif (ES)	-	mm
	Koefisien keseragaman (UC)	1,2-1,4	-
	Berat jenis	2,5-2,65	kg/L
	Porositas	0,4	-
	Kadar SiO ₂	>95	%
4	Media antrasit		
	Tebal	400-500	mm
	Ukuran efektif (ES)	1,2-1,8	mm
	Koefisien keseragaman (UC)	1,5	
	Berat jenis	1,35	kg/L
	Porositas	0,5	-
5	Dasar filter (filter nozel)		
	Lebar slot nozel	<0,5	mm

No	Parameter	Kriteria	Satuan
	Prosentase luas nozel terhadap luas filter	>4	%

Sumber : SNI 6774-2008



Gambar 2.4 Filter Bertekanan

Laju filtrasi (V_f) berbanding terbalik dengan luas permukaan media filter (A_s). Perhitungan luas media filter menggunakan persamaan 2.2, sedangkan perhitungan *headloss* media filter menggunakan persamaan 2.3.

$$A_s = \frac{Q}{V_f} \quad (2.2)$$

$$H_f = 1,067 \frac{L \cdot V_f^2}{\Psi \cdot \varepsilon^4 \cdot g} \sum \frac{C_D \cdot x}{d} \quad (2.3)$$

dimana:

- hf = kehilangan tekanan (m)
- L = tebal media (m)
- x = fraksi berat
- V_f = kecepatan filtrasi (m/det)
- C_D = koefisien drag
- ε = porositas media
- g = kecepatan gravitasi (m/det²)
- Ψ = faktor bentuk media
- d = diameter media (m)

Cd adalah koefisien drag yang besarnya bergantung pada bilangan Reynold. Perhitungan NRe dapat dilihat pada persamaan 2.4 dan koefisien drag (Cd) pada persamaan 2.5 – 2.6.

$$NRe = \frac{\Psi \cdot d \cdot V_f}{\nu} \quad (2.4)$$

$$NRe < 1, \text{ maka } Cd = \frac{24}{NRe} \quad (2.5)$$

$$1 < NRe < 10^4, \text{ maka } Cd = \frac{24}{NRe} + \frac{3}{\sqrt{NRe}} + 0,34 \quad (2.6)$$

Kecepatan pengendapan media filtrasi (v_s) dipengaruhi oleh *specific gravity* media, diameter media dan nilai koefisien drag (Cd). Perhitungan kecepatan pengendapan media filter dihitung dengan persamaan 2.7.

$$V_s = \sqrt{\frac{4g(S_g - 1)d}{3CD}} \quad (2.7)$$

dimana:

v_s = kecepatan pengendapan butiran media (m/dtk)

S_g = *specific gravity* butiran media

d = diameter butiran media (m)

Cd = Koefisien drag

Apabila filter dicuci (*backwashing*), maka diperlukan perhitungan ekspansi media. Pencucian dimaksudkan untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada media filter dengan mengalirkan air secara *upflow* hingga media terekspansi. Kecepatan pencucian (V_b) dihitung berdasarkan persamaan 2.8. Sedangkan porositas media terekspansi (ϵ_e) dihitung berdasarkan persamaan 2.9.

$$V_b = V_s \cdot \epsilon^{4,5} \quad (2.8)$$

$$\epsilon_e = \left(\frac{V_b}{V_s}\right)^{0,22} \quad (2.9)$$

Ketinggian ekspansi total media saat *backwash* dihitung dengan persamaan 2.10 dan % ekspansi dihitung berdasarkan persamaan 2.11.

$$L_e = (1 - \epsilon) \cdot L \cdot \sum \frac{x}{1 - \epsilon_e} \quad (2.10)$$

$$\% \text{ ekspansi} = \frac{L_e - L}{L} \times 100 \% \quad (2.11)$$

Dimana :

Le = tinggi ekspansi total (m)

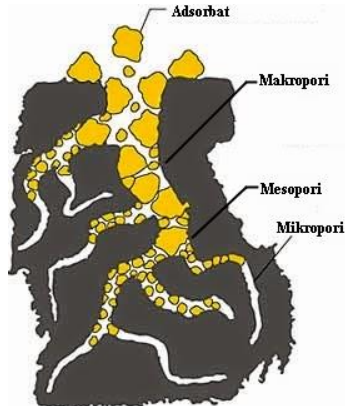
L = tinggi media awal (m)

Kehilangan tekanan (*headloss*) saat *backwash* dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.12.

$$H_f = (S_g - 1) (1 - \epsilon) \cdot L \quad (2.12)$$

2.6.5 Filter Karbon Aktif

Karbon aktif berfungsi sebagai adsorben untuk menyisihkan rasa, bau, atau warna yang disebabkan oleh kandungan bahan organik dalam air, pestisida, dan bahan membran sistesis lainnya (Masduqi dan Assomadi, 2016). Proses yang terjadi adalah adsorpsi dimana terserapnya suatu zat baik molekul atau ion (adsorbat) pada permukaan adsorben (Gambar 2.5). Adsorpsi memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan metode lain, diantaranya memerlukan biaya relatif murah, prosesnya sederhana, efektifitas dan efisiennya tinggi serta adsorbennya dapat digunakan kembali (regenerasi) (Islamiyah dan Koestiari, 2014).



Gambar 2.5 Adsorpsi pada Karbon Aktif

Karbon aktif menurut ikurannya dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu *granular activated carbon* (GAC) dan *powdered activated carbon* (PAC). GAC memiliki diameter lebih besar dari

0,1 mm (140 *sieve*) dan dapat dioperasikan dibawah tekanan maupun secara gravitasi. PAC memiliki ukuran diameter kurang dari 0,074 mm (200 *sieve*) dan biasanya ditambahkan langsung ke proses lumpur aktif. Ditinjau dari segi umur penggunaan, GAC memiliki waktu pemakaian lebih lama dibandingkan PAC. Hal tersebut disebabkan oleh ukuran GAC yang lebih besar sehingga memiliki luas permukaan pori lebih kecil dibandingkan PAC. Apabila luas permukaan yang kontak dengan adsorbat semakin besar, maka menyebabkan karbon aktif cepat mengalami kejenuhan. Apabila karbon aktif telah jenuh, maka perlu dilakukan regenerasi untuk menghilangkan kotoran/adsorbat yang menempel pada pori karbon dan meningkatkan kapasitas adsorpsi. Kriteria desain dari GAC disajikan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Kriteria Desain *Granular Activated Carbon* (GAC)

Parameter	Interval	Satuan
Void fraction (α)	0,38-0,42	m ³ /m ³
Densitas GAC (ρ)	350-550	kg/m ³
Kecepatan aliran bed (vf)	5-15	m/jam
Waktu kontak bed kosong (EBCT)	5-30	menit
Waktu kontak efektif (t)	2-10	menit
Bed life	100-600	hari

Sumber : *Metcalf dan Eddy (2014)*

Perhitungan volume media GAC dipengaruhi oleh waktu kontak bed kosong (EBCT) dan juga debit air yang diolah. Waktu kontak bed kosong (EBCT) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air pada kolom yang belum terisi oleh media GAC. Sedangkan waktu kontak efektif (t) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air pada kolom yang telah terisi oleh media GAC. Perhitungan volume bed (V_b) dan waktu kontak efektif (t) dapat dilihat pada persamaan 2.13 dan 2.14.

$$V_b = EBCT \times Q \quad (2.13)$$

$$\text{Waktu kontak efektif } (t) = \frac{V_b \times \alpha}{Q} \quad (2.14)$$

Dimana :

V_b = volume media (m³)

α = void fraction (m³/ m³)

Q = debit (m³/jam)

Perhitungan kecepatan aliran air pada media GAC, massa GAC dan volume air limbah terolah dapat dilihat pada persamaan 2.15-2.17.

$$V_f = \frac{Q \times H}{V_b} \quad (2.15)$$

$$\text{Massa GAC (M)} = V_b \times \rho \text{ GAC} \quad (2.16)$$

$$\text{Vol air limbah terolah} = \frac{\text{Massa GAC}}{\text{GAC usage rate}} \quad (2.17)$$

Dimana :

V_f = kecepatan aliran air pada media GAC (m/jam)

H = kedalaman bed (m)

ρ = densitas GAC (kg/m^3)

GAC using rate = laju penggunaan karbon terhadap air yang terolah (kg/m^3)

Pada industri pengolahan kayu, limbah fenol dihasilkan dari proses pengawetan kayu. Putranto dan Razif (2005) telah memanfaatkan karbon aktif dari kulit biji mete sebagai adsorben untuk adsorpsi fenol menghasilkan penurunan fenol sebesar 96,9% - 98,5%. Setiap gram karbon aktif dapat mengabsorpsi 0,4-0,9 gram fenol (Kusnaedi, 2006).

2.6.6 Ozonisasi

Ozon merupakan salah satu senyawa yang tidak stabil, sangat reaktif dan mudah terdekomposisi kembali menjadi oksigen. Ozon dapat terdekomposisi menjadi OH radikal ($\text{OH}\cdot$), dengan E0 2,80 V, ketika terlarut di dalam air. Fakta tersebut menunjukkan proses ozonisasi dapat mengoksidasi senyawa organik ataupun anorganik dalam air dengan lebih baik dan lebih cepat. Pemanfaatan ozon dalam teknologi ozonasi berguna untuk membunuh bakteri (*sterilization*), menghilangkan warna (*decoloration*), menghilangkan bau (*deodoratation*), dan menguraikan senyawa polutan dalam limbah (*degradatation*) (Sururi *et al.*, 2012). Namun, kemampuan ozon dalam mengoksidasi senyawa organik maupun anorganik dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pH, suhu, dan alkalinitas (Abdi *et al.*, 2017). Nilai alkalinitas dari air limbah yang akan dioksidasi menggunakan ozon. Alkalinitas merupakan inhibitor yang dapat memperlambat reaksi berantai OH radikal dalam proses dekomposisi ozon. Pelambatan reaksi berantai ini disebabkan oleh produk hasil reaksi

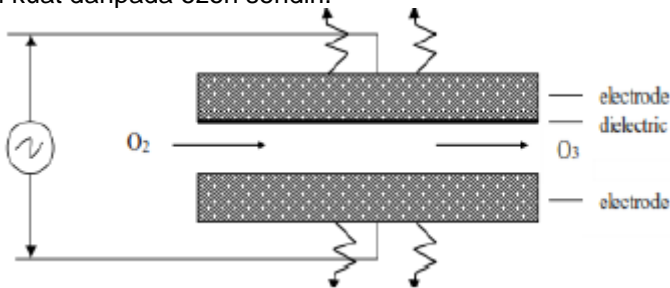
ion karbonat atau bikarbonat dengan OH radikal tidak akan bereaksi kembali dengan ozon (von Gunten, 2003).

Kondisi derajat keasaman pada proses ozonasi akan menunjukkan tipe ozonasi. Apabila pH larutan bersifat asam (pH <4) proses akan menjadi ozonasi langsung, sedangkan apabila pH larutan bersifat basa (pH >10) proses ozonasi berubah menjadi ozonasi tidak langsung. Sementara itu, pada pH normal air (pH = 7) akan terjadi proses gabungan antara ozonasi langsung maupun ozonasi tidak langsung. Pada ozonasi langsung, ozon merupakan oksidator utama yang digunakan sebagai oksidator.

Unit penghasil ozon biasanya disebut generator ozon. Menurut Abdi (2017), prinsip kerja dari generator ozon (ozonizer) adalah dengan memompakan udara kering atau oksigen murni (O₂) masuk melalui rongga silindris yang terbuat dari bahan *stainless steel* (Gambar 2.6). Rongga silindris tersebut diselubungi oleh tabung kaca yang disebut bahan dielektrik bertegangan tinggi. Udara atau oksigen yang melewati bahan dielektrik tersebut akan dipecah menjadi oksigen radikal (O*) dan akan membentuk gas ozon. Reaksi pembentukan gas ozon ditunjukkan pada persamaan 2.18.



O* bersifat radikal dan apabila bertemu dengan air maka akan terbentuk ion hidroksil radikal (OH*) yang memiliki sifat oksidasi lebih kuat daripada ozon sendiri.



Gambar 2.6 Prinsip Kerja Generator Ozon
Sumber : Abdi *et al.*, 2017

2.6 Termisida *Prevail* 100EC

Prevail 100EC adalah salah satu merek dagang termisida (pestisida anti rayap) yang biasa digunakan sebagai bahan kimia pengawet kayu. Termisida ini telah mendapatkan izin edar oleh Pemerintah Indonesia. Termisida *prevail* 100EC digunakan untuk mengendalikan rayap tanah pada bangunan dan bubuk kayu kering pada kayu gergajian, kayu lapis dan rotan. Kandungan bahan aktif *prevail* 100EC adalah sipermetrin 100 g/L (Prasetyo *et al.*, 2005).

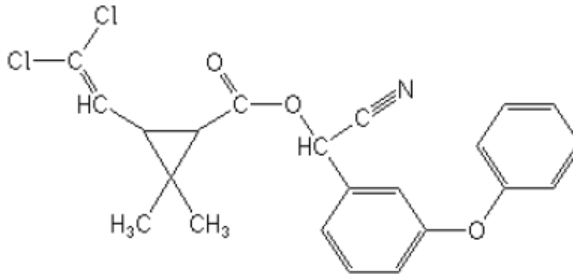
Sipermetrin merupakan golongan insektisida piretroid sintetis dengan spektrum yang luas dan efek neurotoksik yang cepat. Pestisida ini sangat efektif sebagai racun kontak dan racun lambung dalam mengendalikan hama target pada laju aplikasi yang relatif rendah. Pestisida ini beraksi dengan membloking ion natrium yang terdapat pada membran saraf (Narwanti *et al.*, 2012). Sipermetrin bersifat toksik pada lingkungan perairan dengan konsentrasi 10 µg/L (Jabeen *et al.*, 2017). Karakteristik sipermetrin dapat dilihat pada Tabel 2.8. dan gambar struktur molekul sipermetrin dapat dilihat pada Gambar 2.9.

Tabel 2.9 Karakteristik Sipermetrin

Karakteristik	Hasil
Nama IUPAC	(+/-) α -cyano-(3-phenoxyphenyl) methyl (+)-cis, trans-3-(2,2-dichloroethenyl)-2,2-dimethylcyclopropane-1-carboxylate
Rumus molekul	C ₂₂ H ₁₉ Cl ₂ NO ₃
Berat molekul	416,298 g/mol
Titik leleh	41,2°C – 47,3°C
Titik lebur	70°C
Densitas	1,25 g/cu cm pada 20°C
Kelarutan	air 4 x 10 ⁻⁶ g/L pada 20°C aseton >450 g/L pada 20°C kloroform >450 g/L pada 20°C siklo-heksanona >450 g/L pada 20°C xylene >450 g/L pada 20°C etanol 337 g/L pada 20°C

Karakteristik	Hasil
	heksana 103 g/L pada 20°C
Tekanan uap	1,7 x 10 ⁻⁹ mm Hg pada 20°C

Sumber : *Anonymous, 2019*



Gambar 2.7 Struktur Molekul Sipermetrin

Sumber : (*Jabeen et al., 2017*)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sari (2012) sipermetrin dapat didegradasi secara fotolisis, dimana metoda fotolisis yaitu suatu metoda dengan menggunakan cahaya UV. Fotokatalisis merupakan suatu proses degradasi yang dibantu oleh adanya cahaya (UV) dan material katalis. Dengan metoda fotolisis menggunakan TiO₂/zeolit alam sebagai katalis, hasil degradasi mencapai 73,21 % selama waktu iradiasi 75 menit.

Selain dengan metode fotolisis, sipermetrin juga dapat didegradasi menggunakan metode ozonolisis. Ozonolisis adalah suatu metoda degradasi menggunakan ozon (O₃). Ozon ini akan dapat memutuskan ikatan antara C=C dan selanjutnya atom C bisa membentuk ikatan lagi dengan O₂ membentuk C=O. Ozon dapat mendegradasi residu pestisida. Mekanisme degradasi disebabkan karena adanya radikal OH yang dapat merusak senyawa tersebut. Hasil persen degradasi sipermetrin dengan metode ozonolisis dengan penambahan 20 mg TiO₂/Zeolit mencapai 86.45% (*Zilfa et al., 2013*).

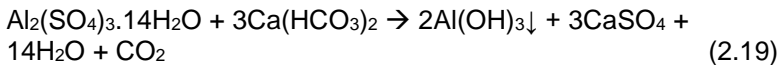
2.7 Jenis-jenis Koagulan

Koagulan yang umum digunakan untuk pengolahan limbah industri adalah Aluminium sulfat (alum/tawas) dan Besi (III)

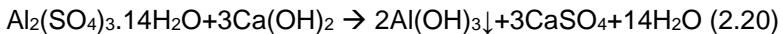
klorida. Sedangkan *Polyaluminium Chloride* (PAC) dapat berfungsi sebagai koagulan maupun flokulan karena apabila mengalami hidrolisis (penguraian karena air), akan terbentuk spesi monomer dan polimer.

a) Aluminium sulfat (alum/tawas)

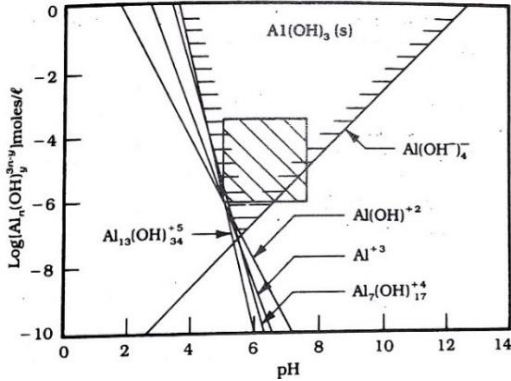
Aluminium sulfat dapat berbentuk batuan, serbuk maupun cairan. Rumus kimia aluminium sulfat adalah $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$. Pada koagulasi menggunakan alum, dibutuhkan alkalinitas yang cukup untuk menghasilkan endapan/flok. Alkalinitas adalah kapasitas penyangga terhadap perubahan pH perairan. Dalam air limbah, alkalinitas dipengaruhi oleh keberadaan ion bikarbonat (HCO_3^-) (Reynold dan Richard, 1996). Persamaan koagulasi menggunakan alum ditunjukkan pada persamaan 2.19.



Beberapa air limbah tidak memiliki alkalinitas yang cukup untuk bereaksi dengan alum, sehingga perlu ditambahkan Kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) atau Natrium karbonat (Na_2CO_3). Reaksi koagulasi dengan penambahan $Ca(OH)_2$ ke dalam larutan ditunjukkan pada persamaan 2.20.



Terjadinya penambahan ion H^+ tentu saja mengakibatkan penurunan nilai pH pada larutan. Semakin tinggi konsentrasi aluminium sulfat semakin banyak ion H^+ yang dilepaskan sehingga pH air akan semakin menurun (Nurlina, 2015). Oleh karena itu diperlukan alkalinitas yang cukup untuk mencegah fluktuasi pH semakin rendah. Dosis optimum koagulan dan pH harus ditentukan dengan tes di laboratorium. Kelarutan koagulan alum di air dipengaruhi oleh pH larutan. *Range* pH optimal alum adalah antara 5.5 – 6.5 dengan proses koagulasi yang memadai *range*-nya dapat antara pH 5.0 – 8.0. Grafik hubungan antara kelarutan koagulan alum terhadap pH dapat dilihat pada Gambar 2.8.

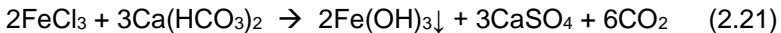


Gambar 2.8 Grafik Kelarutan Koagulan Alum

Sumber : (Reynold dan Richard, 1996)

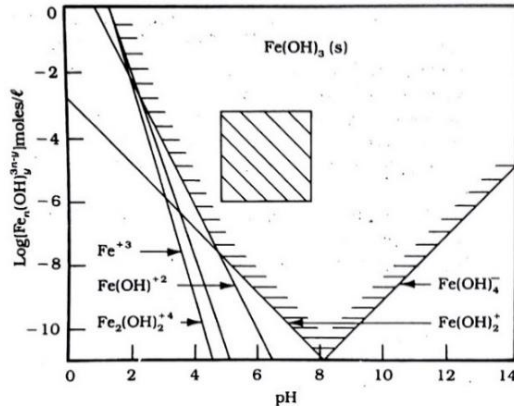
b) Besi (III) klorida

Koagulan Besi (III) klorida memiliki rumus kimia $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Sutapa, 2014). Flok yang terbentuk dari koagulan senyawa besi lebih kuat dibandingkan dengan flok yang dihasilkan dari koagulan alum (Wardani *et al.*, 2009). FeCl_3 merupakan garam yang berasal dari asam kuat dan basa lemah, apabila dilarutkan dalam air akan menghasilkan larutan yang bersifat asam. Koagulan ini biasa dipakai untuk koagulasi air buangan industri atau air limbah dengan tingkat kesadahan rendah dan intensitas warna tinggi. Reaksi koagulasi dengan Besi (III) klorida membutuhkan alkalinitas yang cukup. Rasio alkalinitas dengan dosis penambahan koagulan Besi (III) klorida yaitu 1:1. Dalam air limbah, alkalinitas dipengaruhi oleh keberadaan ion bikarbonat (HCO_3^-) (Reynold dan Richard, 1996). Jika alkalinitas tidak cukup maka dapat ditambahkan Kalsium hidroksida (Ca(OH)_2). Persamaan reaksi Besi (III) klorida dengan ion bikarbonat ditunjukkan pada persamaan 2.21.



Dosis koagulan FeCl_3 yang paling efektif dalam menurunkan kadar TSS air limbah batik adalah dosis 2,5 g/L yaitu mampu menurunkan kadar TSS sebesar 94,51% (Norjannah, 2015). Dosis koagulan Besi (III) klorida (FeCl_3) yang efektif dalam menurunkan kadar COD limbah cair batik pada penelitian ini adalah 4,5 gr/L

dengan penurunan sebesar 70,96% (Sayuti *et al.*, 2015). Kelarutan koagulan alum di air dipengaruhi oleh pH larutan. Koagulan Besi (III) klorida efektif pada rentang pH 4-12. Grafik hubungan antara kelarutan koagulan alum terhadap pH dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Grafik Kelarutan Koagulan FeCl₃

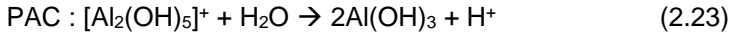
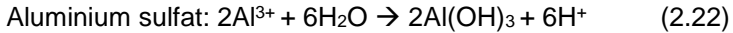
Sumber : (Reynold dan Richard, 1996)

c) *Polyaluminium chloride* (PAC)

Polyaluminium chloride (PAC) adalah polimer koagulan anorganik yang sangat efektif dalam pengolahan air limbah. PAC mempunyai rumus umum kimia: $Al_2(OH)_{6-n}.Cl_n.H_2O$ ($n=1-5$). Karakteristik fisik PAC yaitu memiliki titik beku $-18^\circ C$ dan titik didih $178^\circ C$. PAC optimum bekerja pada rentang pH 6-9 (Rosariawari dan Mirwan, 2013). PAC secara umum mengkonsumsi tingkat alkalinitas yang lebih kecil dibandingkan dengan alum (Nansubuga *et al.*, 2013). Menurut Budiman (2008), keuntungan penggunaan PAC sebagai koagulan dalam penjernihan air adalah sebagai berikut

1. Korosivitasnya rendah karena tidak mengandung ion sulfat.
2. PAC lebih mudah membentuk flok. Hal ini disebabkan oleh koagulan PAC memiliki derajat polimerisasi yang tinggi artinya senyawa dalam PAC memiliki massa molekul yang besar sehingga lebih mudah bereaksi dengan partikel yang terdapat di dalam air.

3. Air limbah tidak mengalami penurunan pH secara signifikan. Berbeda dengan koagulan Aluminium sulfat yang melepas ion hidrogen untuk tiap gugus hidrogen yang dihasilkan. Persamaan reaksinya ditunjukkan pada persamaan 2.22 dan 2.23.



Dari reaksi hidrolisis di atas dapat dilihat bahwa koagulan Aluminium sulfat dalam air melepas ion H^+ sebanyak 6H^+ , sedangkan PAC hanya dilepaskan 1 buah ion H^+ . PAC lebih banyak berikatan dengan partikel yang membentuk flok dibandingkan dengan Aluminium Sulfat. Hal ini dapat dilihat waktu yang diperlukan dalam pembentukan flok yang lebih pendek, yaitu 2,25 kali lebih cepat dibandingkan Aluminium sulfat (Nur *et al.*, 2016).

2.8 Metode Jar Test

Jar test adalah suatu metode untuk menguji kemampuan suatu koagulan dan menentukan dosis optimum pada proses penjernihan air dan air limbah (Husaini *et al.*, 2018). Penggunaan alat *jar test* memberikan data mengenai kondisi optimum untuk parameter-parameter proses antara lain : dosis koagulan, pH, metode pembubuhan bahan kimia, kepekatan larutan kimia, waktu dan intensitas pengadukan cepat dan pengadukan lambat, waktu penjernihan (Margaretha *et al.*, 2012). Gambar alat jar test disajikan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Alat Jar test

2.9 Studi Terdahulu

Untuk memastikan penelitian/perencanaan bersifat orisinal diperlukan suatu kajian terhadap studi terdahulu. Studi terdahulu juga untuk menguatkan dasar atau prinsip perencanaan. Studi terdahulu terkait teknologi pengolahan limbah cair industri pengolahan kayu disajikan pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Studi Terdahulu Terkait Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Pengolahan Kayu

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Hasil
1	Soedarmanto , H	2012	Penanganan Limbah Cair Kilang Pengolahan Kayu Dengan Sistem <i>Recycling</i>	Pengolahan limbah cair industri kayu lapis efektif dilakukan dengan desain proses sedimentasi, koagulasi, flokulasi, aerasi, penyaringan pasir, absorpsi dengan karbon aktif, dan pertukaran resin anion – kation.
2	Oktarini, D., Marsaulina, I dan Chahaya, I.	2012	Sistem Pengolahan Limbah Padat dan Limbah Cair Serta Analisis Efluen Pada Pabrik Perekat Kayu Lapis di Kota Langsa	Sistem pengolahan limbah cair pabrik perekat kayu lapis menggunakan sistem sedimentasi dan aerasi menghasilkan kualitas efluen yang memenuhi baku mutu sesuai Kepmen LH No 51 tahun 1995.
3	Sunny, N., Basheer, A., Johnson, A., Sreedhar, G.A dan Melwin, T.G.	2016	<i>Treatment Of Effluent From Plywood Industry</i>	Pengolahan limbah cair industri kayu lapis menggunakan proses lumpur aktif konvensional mampu menurunkan parameter COD, BOD, TSS, amoniak dan fenol sebesar 89%, 89,13%, 46%, 86%, 49,3%

4	Riskawanti., Honesty, L.B., Irawan, C dan aruna, A	2016	Pengolahan Limbah Perendaman Karet Rakyat dengan Metode Koagulasi dan Flokulasi Menggunakan $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ dan PAC	Pengolahan limbah cair rerendaman karet rakyat menggunakan koagulan PAC lebih baik dalam penurunan konsentrasi COD, BOD ₅ , TSS, TDS dan warna dibandingkan menggunakan $FeCl_3$ dan $Al_2(SO_4)_3$.
---	--	------	--	---

2.11 Gambaran Umum Objek Perencanaan

Objek perencanaan adalah perusahaan swasta nasional yang bergerak dibidang pengolahan kayu. Perusahaan ini menjadi salah satu produsen lantai kayu terbesar di Jawa Timur. Industri tersebut terletak di Jl. Prof. Dr. Nurcholish Madjid No.173, Tunggorono, Kecamatan Jombang, Kabupaten Jombang, Jawa Timur (61416) dengan titik koordinat lokasi 07°32'59,41"S dan 112°12'44,36"E. Batas wilayah lokasi kegiatan adalah sebagai berikut :

- Sebelah utara : Pabrik kacang
- Sebelah selatan : Terminal kargo dan permukiman penduduk Desa Tunggorono
- Sebelah barat : sawah dan Sungai Wangkal
- Sebelah timur : Sungai Gude plosa dan permukiman penduduk Perumahan Puri Dharma Indah

Batas wilayah lokasi industri dapat dilihat pada Gambar 2.11.

Kompleks industri pengolahan kayu didirikan di lahan seluas 9,2 ha dengan total fasilitas seluas 4,8 ha. Fasilitas yang terdapat di perusahaan terdiri atas kantor, unit penggergajian, unit pengering kiln, lahan tumpukan kayu dengan kapasitas 10.000 m³, unit lantai, unit pelapis, pabrik bertingkat dan fasilitas pendukung lainnya untuk pekerja. Perusahaan ini mengolah berbagai jenis kayu antara lain kayu merbau, kempas, bangkirai, meranti, jati, sonokeling, pilang, kruing dan linggua. Produk utamanya berupa cetakan dan komponen perumahan seperti lantai kayu, *fingerjoint*, laminasi *fingerjoint*, *parket* dan *lamarquet*, *decking* dan *skirting*. Kapasitas produksi mesin mencapai 50.000 m³ per tahun.



Gambar 2.11 Batas Wilayah Industri Pengolahan Kayu di Jombang

2.11.1 Sumber Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi berasal dari kolam masak kayu (KMK). KMK adalah kolam yang digunakan untuk merendam kayu sebelum diolah lebih lanjut menjadi produk jadi maupun produk setengah jadi. Perendaman ini bertujuan untuk mengawetkan kayu sehingga tahan lama dan anti serangga. KMK yang dimiliki berjumlah 4 kolam dengan kapasitas masing-masing kolam sebesar 24 m³.

KMK tersebut terbagi menjadi dua jenis, yaitu KMK nonprevail (Gambar 2.12) dan dengan penambahan prevail (sejenis pestisida anti rayap) (Gambar 2.13). Masing-masing sejumlah 2 kolam. Proses perendaman kayu dilakukan dengan mengalirkan uap panas (*steam*) yang berasal dari *boiler* ke dalam kolam sehingga airnya menjadi panas. Air limbah hasil perendaman kayu dengan prevail dan tanpa prevail memiliki karakteristik yang berbeda. Air limbah yang mengandung prevail rata-rata memiliki nilai BOD, COD dan TSS lebih tinggi daripada tanpa prevail (Tabel 2.11). Untuk parameter pH, air limbah yang mengandung prevail memiliki karakteristik lebih asam dibandingkan dengan nonprevail. Untuk parameter warna, air limbah nonprevail berwarna hitam dan encer, sedangkan air limbah yang mengandung prevail berwarna coklat pekat dan kental (Gambar 2.14). Pengukuran kualitas air limbah dari KMK telah dilakukan oleh pihak perusahaan setiap bulan. Pengukuran tersebut dilakukan oleh pihak ketiga, yaitu di Laboratorium Perum Jasa Tirta I.

Tabel 2.11 Hasil Pengukuran Influen Air Limbah dari KMK Bulan November 2018

No	Parameter	Satuan	Jenis air limbah		Baku mutu
			KMK prevail	KMK noprevail	
1	pH	-	535	7,85	6-9
2	BOD	mg/L	3.661	424	75
3	COD	mg/L	28.600	2.330	125
4	TSS	mg/L	1.670	540	50
5	N-NH ₃	mg/L	3,572	0,6804	4
6	fenol	mg/L	0,0011	0,0009	0,25

Sumber : *Laboratorium Perum Jasa Tirta I, Mojokerto*



Gambar 2.12 Kolam Masak Kayu Tanpa Prevail



Gambar 2.13 Kolam Masak Kayu dengan Penambahan Prevail

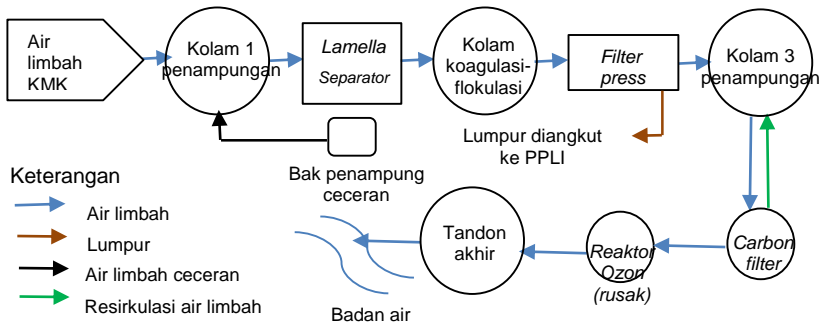


Gambar 2.14 Karakteristik Air Limbah Prevail

2.11.2 Kondisi Eksisting IPAL Objek Perencanaan

Perusahaan kayu di Jombang mulai beroperasi pada tahun 1990, namun pada awal beroperasi industri tersebut masih

belum memiliki IPAL untuk mengolah limbah cair yang dihasilkan. Pada tahun 2012, pihak perusahaan membangun IPAL untuk mengolah limbah cair hasil perendaman kayunya. IPAL tersebut berada di area seluas 50 m² dan berada disebelah anak Sungai Wangkal. IPAL tersebut menggunakan sistem pengolahan fisik-kimiawi. Pengolahan fisik berupa pengendapan pertama oleh unit *lamella separator*. Pengolahan kimiawi menggunakan pencampuran bahan kimia (koagulan) dengan mekanisme koagulasi-flokulasi. Selanjutnya, air limbah dipisahkan fraksi cair dan padatnya menggunakan *filter press*. Lumpur hasil pemisahan oleh filter press dikirim ke pihak ketiga sebagai limbah B3, sedangkan fraksi cair air limbah diolah ke pengolahan lanjutan berupa karbon filter. Diagram alir proses pengolahan air limbah dijelaskan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Diagram Alir Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Pengolahan Kayu di Jombang

Kolam penampungan (kolam 1) berfungsi untuk menampung air limbah dari KMK sebelum diolah dengan proses fisik-kimiawi. Kapasitas kolam penampungan yaitu sebesar 10,2 m³. Kolam ini diperlukan untuk menampung sementara air limbah sebelum diolah dikarenakan debit air limbah tidak kontinyu. Bak penampung ceceran berfungsi untuk menampung tumpahan dan ceceran air limbah pada area IPAL sehingga tidak membahayakan pekerja. Bak penampungan posisinya tepat di bawah *lamella separator* dan di bawah tanah (*underground*). Air limbah dari bak penampung ceceran akan dipompa kembali menuju kolam 1.

Gambar bangunan kolam 1 dapat dilihat pada Gambar 2.16 dan Gambar 2.17.



Gambar 2.16 Bangunan Kolam Penampungan (Kolam 1)



Gambar 2.17 Air Limbah di Kolam 1

b. *Lamella separator*

Lamella separator berfungsi sebagai sedimentasi pertama yaitu untuk memisahkan endapan partikel yang berukuran besar (partikel grit) dari air limbah yang berasal dari kolam 1. *Lamella separator* menggunakan sistem *tube settler* di dalamnya untuk memperluas permukaan pengendapan. Unit ini terbuat dari plat besi sedangkan *tube settler*-nya terbuat dari bahan fiber plastik. Air limbah yang berada di kolam penampungan (kolam 1) akan dipompa melewati *lamella separator*, kemudian dialirkan menuju kolam koagulasi-flokulasi (kolam 2) untuk diolah secara kimiawi. Partikel/lumpur hasil endapan akan ditampung pada *hopper* (bagian penampung lumpur di bawah) dan dibongkar jika telah penuh. Gambar *lamella separator* dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Unit *Lamella Separator*

c. Bak koagulasi-flokulasi (kolam 2)

Kolam koagulasi-flokulasi (kolam 2) berfungsi sebagai bak koagulasi yaitu untuk mencampur air limbah dengan reagen kimia. Tujuan koagulasi adalah untuk destabilisasi partikel air limbah sehingga terbentuk ikatan ion antara air limbah dan koagulan. Ikatan tersebut akan membentuk inti flok. Dalam proses koagulasi ini, perlu ditambahkan 4 jenis reagen kimia yaitu AF_4 , AF_5 , AF_2 dan AF_3 . Proses penambahan dilakukan secara bergantian. AF_4 berguna sebagai stabilisator kondisi pH dan untuk *pretreatment* endapan kimia. AF_5 berguna sebagai pembentuk endapan, *pretreatment sludge* dan stabilisator endapan. AF_2 digunakan sebagai stabilisator kondisi pH dan sebagai *complexant agent*. Terakhir AF_3 digunakan sebagai pembentuk endapan dan stabilisator endapan. Penambahan dosis optimum masing-masing reagen didapatkan dari hasil *jar test*.

Di kolam 2 dilengkapi dengan tuas pengaduk manual dan pengadukan pneumatis berupa injeksi udara (*bubbles*) yang berasal dari kompresor agar reagen kimia dapat tercampur rata dengan air limbah. Selain itu pengadukan juga berfungsi untuk membentuk flok dengan ukuran besar akibat interaksi antar partikel. Namun sayangnya, pada unit eksisting tidak terdapat bak pembubuh reagen kimia secara otomatis. Pencampuran reagen

kimia dilakukan manual oleh operator dengan cara dituang secara bergantian, kemudian dinyalakan kompresornya untuk diaduk secara pneumatis. Gambar kolom 2 dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Unit Kolam Koagulasi-flokulasi (Kolam 2)

d. *Filter press*

Setelah melalui kolam koagulasi-flokulasi, air limbah dipompa menuju *filter press*. *Filter press* berfungsi untuk memisahkan lumpur hasil koagulasi-flokulasi dengan air limbah. *Filter press* yang digunakan terdiri atas 10 plat yang dibungkus dengan *membran choth* yang digunakan untuk menyaring air limbah sehingga menyisakan lumpur. *Filter press* ini bekerja secara bertekanan dengan bantuan pompa hidraulik. Kapasitas *filter press* dalam sekali operasi maksimal 1 m³/*shift*. Lumpur hasil penyaringan dimasukkan wadah dan dikirim ke PPLI sebagai limbah B3, sedangkan air filtratnya di pompa ke kolam 3. Gambar *filter press* dan lumpur hasil pemisahan dapat dilihat pada Gambar 2.20 dan Gambar 2.21.



Gambar 2.20 Unit *Filter Press*



Gambar 2.21 Lumpur Hasil Pemisahan dari *Filter Press*

e. Kolam aerasi (kolam 3)

Kolam 3 berfungsi untuk menampung air limbah hasil penyaringan dari *filter press* untuk dipompakan ke *carbon filter*. Proses yang terjadi di dalam unit kolam 3 adalah aerasi dan resirkulasi. Terdapat pipa untuk injeksi udara (*bubbles*) yang berasal dari kompresor. Resirkulasi dilakukan dengan memompa air limbah ke *carbon filter* namun dikembalikan ke dalam kolam 3. Durasi resirkulasi tidak tentu, adakalanya 2-6 jam, namun terkadang dapat seharian penuh apabila hasil olahan masih berwarna kecoklatan (belum bening). Resirkulasi dilakukan untuk mengurangi bau dan meningkatkan kualitas air limbah hasil olahan sebelum dipompa menuju tandon akhir dan dioksidasi dengan ozon. Gambar kolam 3 dapat dilihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Unit Kolam 3

f. *Carbon filter*

Carbon filter berfungsi untuk menyisihkan rasa, bau, dan warna yang disebabkan oleh kandungan bahan organik, pestisida, dan bahan anorganik yang terkandung di dalam air limbah. Media yang digunakan *granular activated carbon* (GAC). Proses yang terjadi pada unit *carbon filter* adalah adsorpsi/penyerapan polutan yang biasa disebut adsorbat pada permukaan karbon aktif (adsorben). Sejak tahun 2012, media filter baru diganti pada bulan Februari 2019. Pergantian media filter tidak dilakukan secara rutin. Selama ini, jika kinerja *carbon filter* diindikasikan kurang optimal maka dilakukan pencucian (*backwash*). Hal tersebut perlu dilakukan evaluasi terhadap kualitas air limbah yang dihasilkan dari adsorpsi karbon aktif. Apabila hasil efluen *carbon filter* hampir sama dengan kualitas influennya, artinya media karbon aktif telah jenuh dan tidak dapat menyerap polutan/adsorbat lagi. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan penggantian media karbon aktif atau diregenerasi. Gambar unit *carbon filter* dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Unit *Carbon Filter*

g. Reaktor ozon

Reaktor ozon dilengkapi dengan generator ozon (*power supply*) yang berfungsi sebagai oksidator bahan kimia dan membunuh bakteri yang masih terkandung dalam hasil pengolahan air limbah. Kondisi eksistingnya, reaktor ozon beserta

generatornya telah rusak dan tidak dapat beroperasi. Karena rusak, air limbah setelah melewati *carbon filter* yang harusnya masuk ke ozonisasi, diresirkulasi kembali ke kolam 3 selama beberapa jam bahkan bisa seharian penuh. Resirkulasi air limbah dari *carbon filter* bertujuan untuk meningkatkan kualitas air hasil olahan sebelum dipompa dan ditampung di tandon akhir. Namun, sebelum masuk ke tandon akhir, air limbah hasil olahan dilewatkan ke *catridge filter* untuk memastikan tidak ada endapan yang terbawa. Gambar reaktor ozon, *catridge filter* yang digunakan sekarang dapat dilihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24 (a) *Catridge Filter* (b) Reaktor Ozon yang Telah Rusak

h. Tandon akhir

Tandon akhir berfungsi untuk menampung hasil olahan air limbah sementara sebelum dibuang ke badan air terdekat. Pada mulanya tidak ada proses pengolahan di dalam tandon akhir. Namun karena kondisi eksisting reaktor ozon yang telah rusak, menyebabkan dilakukannya proses ozonisasi di dalam tandon akhir. Tandon akhir terbuat dari bahan plastik HDPE dan berkapasitas 5,2 m³. Air olahan yang telah masuk tandon, diozonisasi menggunakan generator ozon dengan dosis 40 mg/jam. Kapasitas generator ozon tersebut masih terlalu kecil untuk mengoksidasi bahan kimia dan mikroorganisme yang masih tersisa di air limbah hasil olahan sehingga kurang efektif. Spesifikasi generator ozon dapat dilihat pada Tabel 2.12. Gambar

tandon akhir dan generator ozon pengganti dapat dilihat pada Gambar 2.25 dan Gambar 2.26.

Tabel 2.12 Spesifikasi Teknis Generator Ozon

Jenis	<i>Ozone Generator Hanaco Multifunction</i>
Voltase	220 V
Daya	± 10% 15 Watt
Ozon out	40 mg/jam
Berat	1900 g
Waktu kerja	30 menit/waktu



Gambar 2.25 Unit Tandon Akhir



Gambar 2.26 Generator Ozon Pengganti

Dimensi dari masing-masing unit IPAL selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Dimensi Unit-unit IPAL Eksisting

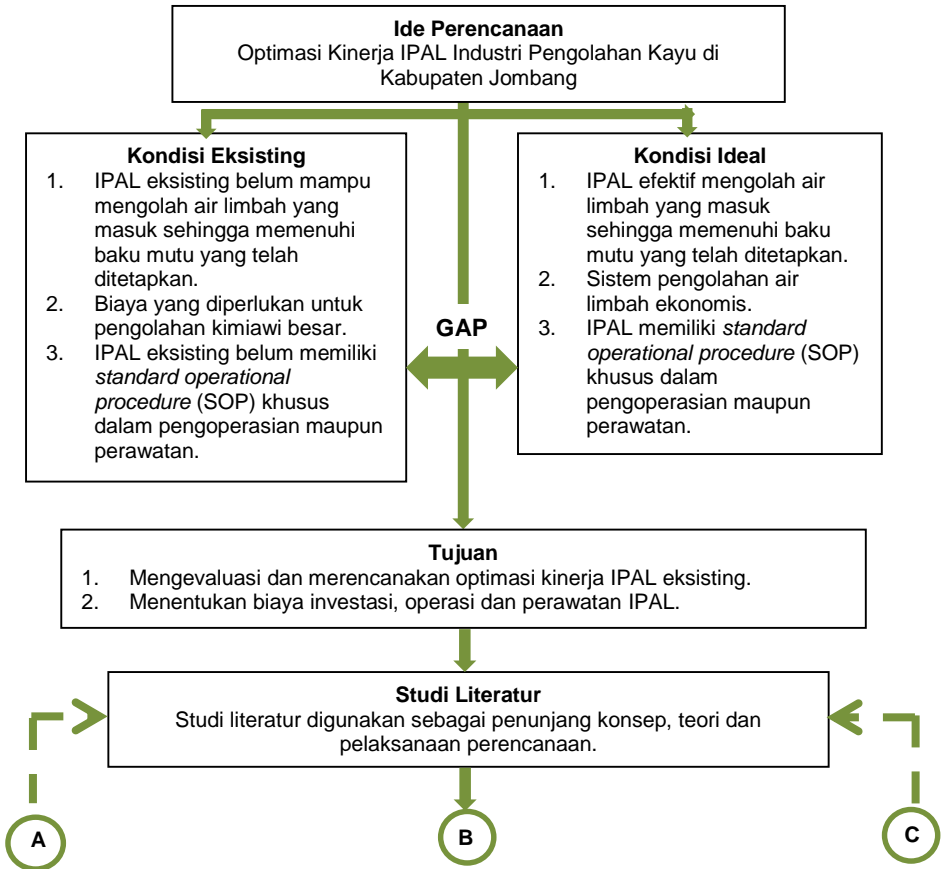
No	Unit	Bentuk	Dimensi				Volume (m ³)	
			Diameter (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman/ tinggi total (m)		Freeboard (m)
1	Kolam penampungan (kolam 1)	<i>circular</i>	2,3			2,65	0,2	10,2
2	<i>Lamella separator</i>			2,5	2,5	4		
3	Bak penampungan ceceran	<i>regtangular</i>		1,8	0,8	1,1	0,1	1,44
4	Kolam koagulasi-flokulasi (kolam 2)	<i>circular</i>	2,25			2,64	0,2	9,7
5	<i>Filter press</i>	plat		2	1	1,5		
6	Kolam aerasi (kolam 3)	<i>circular</i>	2,25			2,64	0,2	9,7
7	<i>Carbon filter</i>	kolom	0,32			2,2		
8	Reaktor ozon (rusak)	kolom	0,25			1,5		
9	Tandon akhir	tabung tertutup	1,85			2,25		5,2

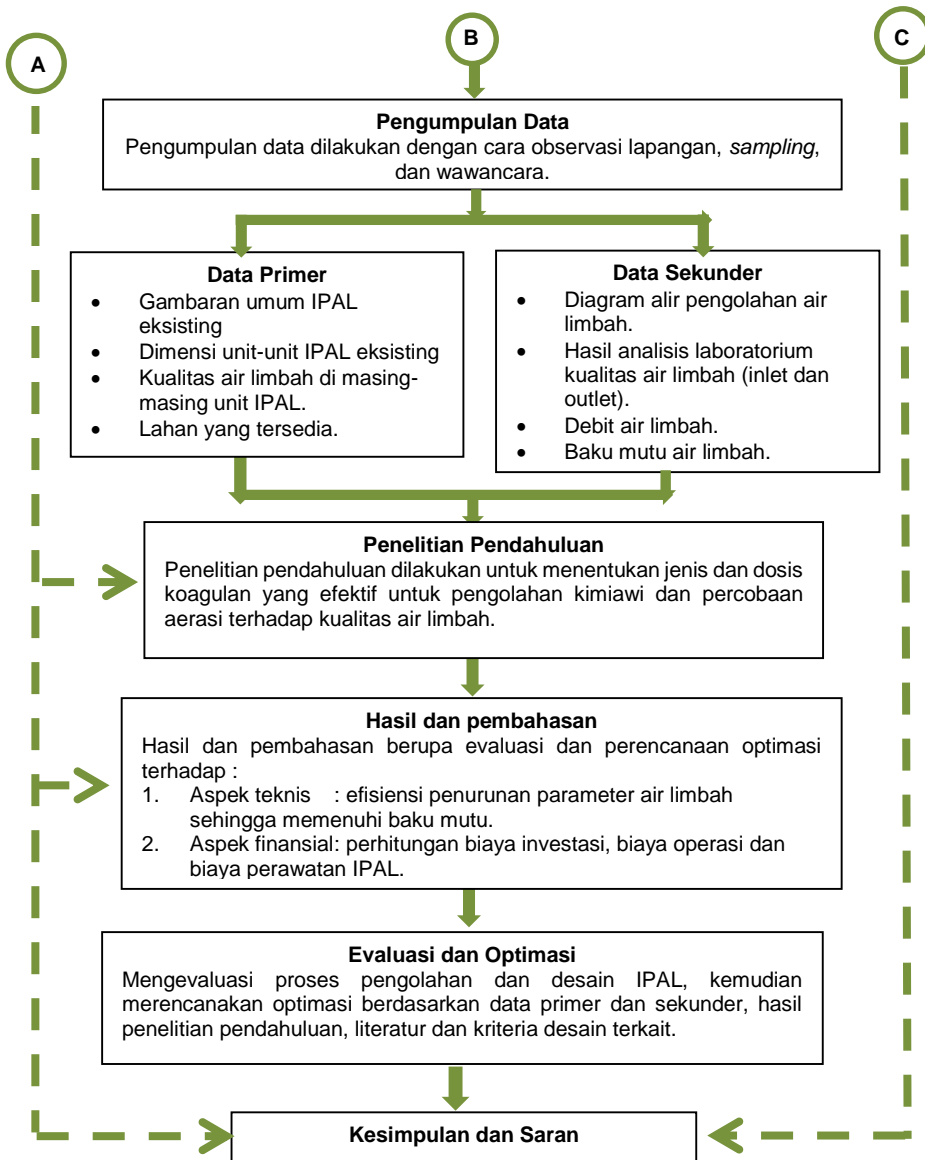
BAB III

METODE PERENCANAAN

3.1 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan disusun sebagai pedoman dalam menjalankan tugas akhir agar tujuan yang diinginkan dapat tercapai. Kerangka tugas akhir yang dilakukan meliputi identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data, penelitian pendahuluan, evaluasi dan optimasi, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran. Kerangka perencanaan yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Kerangka Perencanaan

3.2 Waktu dan Tempat Studi

Sasaran perencanaan adalah IPAL industri pengolahan kayu yang berlokasi di Kabupaten Jombang. Pengambilan data primer maupun sekunder dilaksanakan di perusahaan, namun pengolahan data dilaksanakan di Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS. Analisis sampel air limbah dilakukan oleh pihak ketiga, namun untuk penenitian pendahuluan dilaksanakan di Laboratorium Pemulihan Air Departemen Teknik Lingkungan. Waktu yang diperlukan untuk perencanaan evaluasi dan optimasi kinerja IPAL adalah 3 bulan, yaitu bulan Maret hingga Mei 2019.

3.3 Metode Perencanaan

3.3.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah diperoleh dari pengkajian gap antara kondisi eksisting dengan kondisi ideal pengolahan air limbah. IPAL eksisting industri pengolahan kayu di Jombang masih belum mampu mengolah air limbah sehingga sesuai dengan baku mutu PERGUB JATIM No 72 Tahun 2013. Selain itu pengolahan air limbah menggunakan sistem fisik-kimiawi menyebabkan pembengkakan biaya untuk membeli reagen kimia (koagulan) dari kontraktor yang merencanakan IPAL tersebut. Reagen kimia (koagulan) yang ditambahkan tidak diketahui jenisnya, alhasil setiap akan mengolah air limbah harus membeli reagen dari pihak kontraktor dengan biaya yang cukup besar. Permasalahan lain pada IPAL yakni tidak terdapatnya SOP pengoperasian dan perawatan IPAL. Oleh karena itu, diperlukan kajian IPAL eksisting berdasarkan literatur yang ada kemudian dilakukan perencanaan evaluasi dan optimasi IPAL agar mendekati kondisi ideal.

3.3.2 Studi Literatur

Studi literatur adalah tahap untuk menambah dan mendalami materi yang berkaitan dengan optimasi kinerja IPAL eksisting. Hal ini dilakukan dengan mengumpulkan pengetahuan yang berasal dari buku, jurnal maupun referensi lain yang menunjang perencanaan. Literatur yang dibutuhkan untuk dipelajari meliputi :

1. Pengawetan kayu
2. Karakteristik air limbah industri pengolahan kayu
3. Proses pengolahan air limbah industri pengolahan kayu

4. Baku mutu air limbah industri pengolahan kayu
5. Teknologi pengolahan air limbah
6. Termisida prevail 100EC
7. Jenis-jenis koagulan dan flokulan
8. Metode *jar test*
9. Studi terdahulu mengenai pengolahan air limbah di industri kayu.

3.3.3 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder yang mendukung perencanaan.

A. Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan. Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara observasi lapangan, wawancara dan *sampling*.

1. Observasi lapangan.

Observasi lapangan diperlukan untuk mengetahui kondisi sesungguhnya di lapangan yang menjadi pertimbangan dalam perancangan. Observasi lapangan berkaitan dengan pengolahan limbah cair yang ada meliputi kondisi fisik masing-masing unit IPAL dan ketersediaan lahan.

a) Kondisi IPAL eksisting

Data mengenai kondisi IPAL eksisting yang diperlukan meliputi sistem pengolahan limbah cair yang digunakan, unit-unit IPAL, dimensi masing-masing unit, kondisi fisik masing-masing unit IPAL (apakah baik, kurang baik atau rusak). Data-data tersebut akan digunakan sebagai dasar evaluasi dan perencanaan optimasi.

b) Lahan yang tersedia

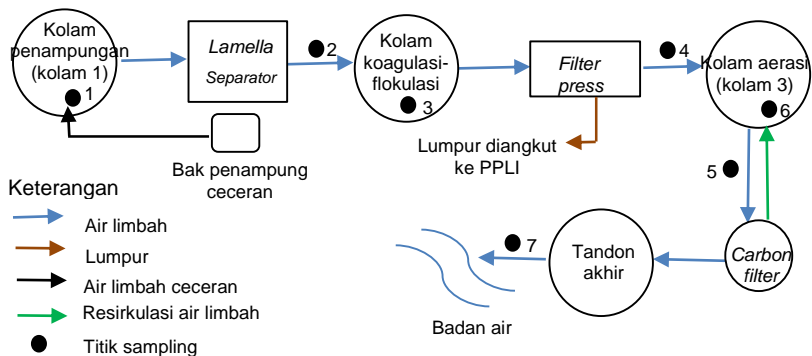
Ketersediaan lahan menjadi salah satu faktor penting dalam merencanakan pengembangan IPAL. Hal ini disebabkan karena setiap unit pengolahan yang direncanakan akan memakai sejumlah luasan lahan. Sehingga perlu diketahui berapa luasan lahan yang tersedia agar unit yang didesain dapat terbangun dengan lahan yang cukup. Selain itu juga menjadi pertimbangan dalam menentukan tata letak (*layout*) unit-unit IPAL.

2. Wawancara

Metode wawancara dilakukan melalui tanya jawab dengan pelaku usaha maupun fungsi terkait yang bertanggung jawab dalam pengolahan limbah cair. Dalam hal ini narasumber yang dipilih adalah staf bagian lingkungan dan *senior supervisor* lingkungan dan K3. Data yang diperoleh melalui metode wawancara berkaitan dengan proses yang digunakan dalam pengolahan air limbah, sistem pengoperasian IPAL, SOP pada IPAL, permasalahan yang pernah terjadi berkaitan dengan pengolahan limbah cair, serta informasi lain yang diperlukan.

3. Sampling.

Sampling dilakukan untuk mengetahui data kualitas air limbah. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sampling* yang mengacu pada pedoman SNI 6989.59-2008. *Sampling* dilakukan saat IPAL beroperasi mengolah air limbah prevail. Air limbah prevail adalah jenis air limbah yang lebih susah diolah dan seringkali tidak memenuhi baku mutu. Pengujian sampel bertujuan untuk mengetahui efisiensi penurunan parameter air limbah di masing-masing unit IPAL. Sampel air limbah diambil pada 7 titik *sampling* antara lain di kolam 1 (penampungan), outlet *lamella separator*, kolam koagulasi-flokulasi (kolam 2), outlet *filter press*, outlet *carbon filter*, kolam 3 (resirkulasi dari *carbon filter*) dan outlet tandon akhir. Lokasi titik *sampling* selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Lokasi Titik Sampling Air Limbah

Sampel air limbah yang telah diperoleh selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dianalisis kualitasnya. Parameter yang dianalisis antara lain BOD, COD, TSS, fenol, total amoniak dan pH sesuai PerGub Jatim No 72 tahun 2013 tentang baku air limbah untuk industri kayu lapis/*plywood*. Khusus untuk parameter fenol dan total amoniak, pengukuran tidak dilakukan pada semua titik sampling. Pengukuran hanya dilakukan pada kolam penampungan (kolam 1), outlet *carbon filter*, kolam aerasi (kolam 3) dan outlet tandon akhir. Hal ini disebabkan pada unit *lamella separator*, kolam koagulasi-flokulasi, dan *filter press* kemungkinan penurunan fenol dan amoniak sangat kecil. Parameter uji air limbah dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter Uji Air Limbah

No	Lokasi sampling	Parameter					
		BOD	COD	TSS	Fenol	Amonia	pH
1	Kolam penampungan	v	v	v	v	v	v
2	Outlet <i>lamella separator</i>	v	v	v	-	-	v
3	Kolam koagulasi-flokulasi	v	v	v	-	-	v
4	Outlet <i>filter press</i>	v	v	v	-	-	v
5	Outlet <i>carbon filter</i>	v	v	v	v	v	v
6	Kolam aerasi (kolam 3)	v	v	v	v	v	v
7	Outlet tandon akhir	v	v	v	v	v	v

Analisis kualitas air limbah dilaksanakan oleh pihak ketiga, yaitu Laboratorium Lingkungan Perum Jasa Tirta I Mojokerto. Metode analisis parameter air limbah dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Metode Analisis Parameter Air Limbah

No	Parameter	Satuan	Metode Uji
1	BOD	mg/L	Titimetri ; SNI 6989.72-2009
2	COD	mg/L	Spektrofotometri; SNI 6989.2-2009
3	TSS	mg/L	Gravimetri; SNI 06-6989.3-2004

No	Parameter	Satuan	Metode Uji
4	Fenol	mg/L	Spektrofotometri
5	Total amoniak (NH ₃ -N)	mg/L	SNI 06-6989.30-2005
6	pH	–	SNI 6989. 11-2004

Sumber : *Laboratorium Lingkungan Perum Jasa Tirta I*

B. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari statistik maupun instansi terkait, yang merupakan data pendukung dari data primer. Data sekunder disesuaikan dengan kebutuhan perencanaan, yang terdiri atas :

- Diagram alir beserta proses pengolahan air limbah.
- Spesifikasi unit-unit IPAL eksisting (*filter press, lamella separator, kompresor, pompa, carbon filter, dan ozonizer*).
- Hasil analisis laboratorium kualitas air limbah (influen dan efluen IPAL) per bulan.
- Debit rata-rata air limbah per bulan.
- Kebutuhan bahan kimia (reagen) eksisting untuk pengolahan kimiawi.
- Baku mutu air limbah yang berlaku, yaitu sesuai dengan PERGUB JATIM No 72 tahun 2013.

3.3.4 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan yang akan dilaksanakan terdiri atas 2 percobaan antara lain :

- Menentukan jenis koagulan dan dosis optimum yang efektif untuk menurunkan parameter kekeruhan, COD dan TSS dengan metode *jar test*.
- Melakukan percobaan aerasi terhadap kualitas air limbah.

Penelitian pendahuluan dilakukan pada air limbah baik yang mengandung prevail maupun tidak kemudian dibandingkan hasil analisis keduanya. Sampel air limbah diambil dari Kolam Masak Kayu (KMK). Hasil dari penelitian pendahuluan tersebut akan dijadikan sebagai acuan dalam perencanaan optimasi IPAL eksisting.

3.3.4.1 Penentuan Jenis Koagulan dan Dosis Optimum

Penelitian pendahuluan ini bertujuan untuk memilih alternatif koagulan beserta dosis optimum yang ditambahkan agar dapat mengolah air limbah secara efektif. Jenis koagulan yang dipilih adalah koagulan yang memiliki efektivitas penurunan parameter air limbah tertinggi dan biaya yang paling ekonomis. Penentuan jenis koagulan beserta dosis optimumnya dilakukan untuk menggantikan reagen kimia (koagulan) IPAL eksisting yang mahal namun kurang efektif dalam mengolah air limbah. Sehingga pada penelitian ini digunakan jenis koagulan yang umum di pasaran sebagai pengganti reagen kimia eksisting dengan harapan dapat mengurangi biaya sehingga lebih ekonomis. Penelitian ini menggunakan metode *jar test* dan koagulan yang digunakan yaitu Aluminium sulfat dan Besi (III) klorida dan *Polyaluminium Chloride* (PAC). Alasan pemilihan jenis koagulan tersebut adalah sebagai berikut :

- a) Jenis koagulan tersebut memiliki kemampuan untuk menurunkan parameter COD dan TSS air limbah industri secara efektif.
- b) Mudah diperoleh di pasaran.
- c) Harganya ekonomis.
- d) Ramah lingkungan.

Parameter yang dianalisis dari penelitian pendahuluan adalah pH, kekeruhan, COD dan TSS. Prosedur analisis COD, TSS, pH, dan kekeruhan dapat dilihat di Lampiran A

A. Alat penelitian

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian pendahuluan yaitu :

- *Jar test*
- *Beaker glass* 1 L sebanyak 5 buah
- Peralatan yang umum digunakan dalam praktikum yang terdiri atas pipet ukur, gelas ukur, propipet, pipet tetes, botol penyemprot aquades, spatula besi, gelas erlenmeyer, labu pengenceran dan *beaker glass*.
- Alat untuk analisis parameter :
 - COD : alat *reflux*, tabung COD

- TSS : *furnace*, oven, cawan porselin, neraca analitik, desikator, pinset, kertas saring.
- pH : pH meter
- Kekeruhan : turbidimeter

B. Bahan penelitian

Bahan yang diperlukan dalam penelitian pendahuluan ini yaitu :

- Air limbah dari kolam masak kayu, baik yang mengandung prevail maupun tidak
- Koagulan Aluminium sulfat (tawas) $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$
- Koagulan Besi (III) klorida $[FeCl_3 \cdot 6 \cdot H_2O]$
- Koagulan *Polyaluminium chloride* (PAC) $[Al_2(OH)_5 \cdot Cl]$
- Aquades
- Analisis COD: larutan Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$); campuran larutan Ag_2SO_4 dan H_2SO_4 ; larutan standar ferro amoniak sulfat.

C. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini adalah dosis koagulan. Dosis mula-mula yang ditambahkan adalah rentang 50 mg/L – 5.000 mg/L. Selanjutnya dicari dosis optimum pada masing-masing koagulan untuk air limbah prevail maupun nonprevail. Kecepatan pengadukan *jar test* ditentukan berdasarkan perhitungan kriteria gradien kecepatan dan waktu pengadukan. Pada penelitian ini diperoleh kecepatan pengadukan cepat yaitu 250 rpm dan kecepatan pengadukan lambat 50 rpm. Perhitungan mengenai kecepatan pengadukan dapat dilihat pada Lampiran B.

D. Pelaksanaan Penelitian

Prosedur penelitian penentuan jenis dan dosis optimum koagulan dengan metode *jar test* adalah sebagai berikut :

1. Mengambil sampel air limbah (yang mengandung prevail dan tidak) sebanyak 3 L
2. Menganalisis nilai pH, kekeruhan, COD dan TSS awal sebelum dikoagulasi-flokulasi.
3. Memasukkan air limbah sebanyak 500 ml ke dalam *beaker glass* sejumlah 5 gelas.
4. Menambahkan koagulan (Aluminium sulfat / Besi (III) klorida / PAC). Dosis penambahan koagulan ditentukan dari percobaan (*range* 50 mg/L – 5.000 mg/L).

5. Mengaduk larutan sampel menggunakan *jar test* dengan kecepatan 250 rpm selama 1 menit untuk pengadukan cepat.
6. Menurunkan kecepatan pengadukan *jar test* hingga 50 rpm selama 30 menit untuk pengadukan lambat.
7. Mendinginkan larutan selama 60 menit untuk pengendapan.
8. Mengambil masing-masing sampel larutan sebanyak 50 ml (secukupnya) untuk dilakukan analisis pH, kekeruhan, TSS dan COD setelah proses koagulasi-flokulasi.
9. Menganalisis efisiensi kekeruhan, TSS dan COD awal dan akhir dengan persamaan :

$$E = \frac{Si - So}{Si} \times 100 \%$$

Dimana :

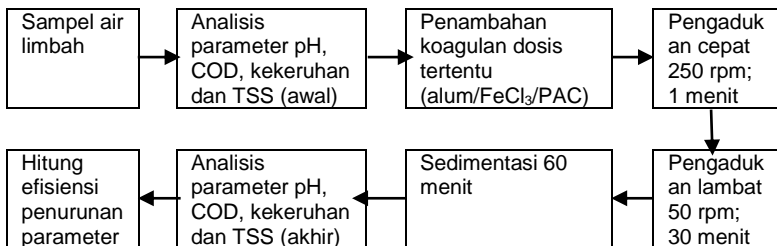
E = Efisiensi penyisihan parameter air limbah (%)

Si = nilai awal (kekeruhan/TSS/COD)

So = nilai akhir (kekeruhan/TSS/COD)

10. Menentukan dosis optimum masing-masing koagulan yang memiliki efisiensi penurunan kekeruhan, COD dan TSS terbesar pada air limbah prevail dan nonprevail.
11. Menghitung jumlah lumpur yang dihasilkan (*total solid*) pada masing-masing dosis optimum koagulan alum, FeCl₃ dan PAC.
12. Memilih jenis koagulan beserta dosis optimumnya yang paling efektif untuk mengolah air limbah (prevail dan nonprevail).

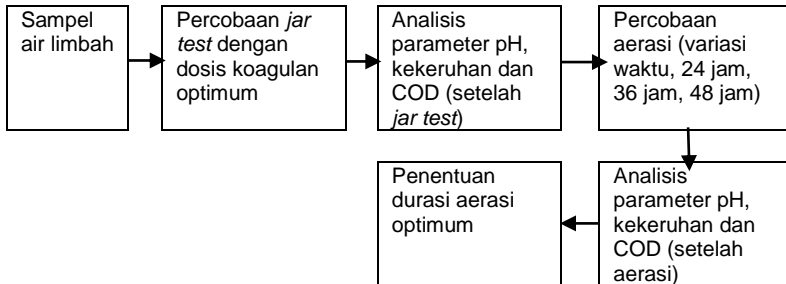
Bagan dari penelitian penentuan jenis koagulan beserta dosis optimumnya dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Bagan Percobaan *Jar test* Koagulan

3.3.4.2 Percobaan Aerasi Terhadap Kualitas Air Limbah

Percobaan aerasi dilakukan untuk membuktikan apakah air limbah prevail dan nonprevail dapat diolah secara biologis. Seperti pada kondisi eksisting, air limbah dilakukan aerasi di unit kolam aerasi (kolam 3). Namun pada unit tersebut juga dilakukan resirkulasi dengan memompa air limbah ke *carbon filter* dan dikembalikan lagi ke kolam 3. Apabila proses aerasi mampu menurunkan parameter air limbah berupa COD, maka akan dilakukan perencanaan ulang unit kolam aerasi yang sesuai dengan kriteria desain. Pada percobaan ini, aerasi dilakukan dengan variasi waktu yaitu selama 24 jam, 36 jam dan 48 jam. Bagan dari percobaan aerasi disajikan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Bagan Percobaan Aerasi

3.3.5 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan setelah data-data yang dibutuhkan telah terkumpul. Adapun metode pengolahan data antara lain :

1. Kuantitas dan kualitas air limbah.

Kuantitas air limbah diambil dari data sekunder yang berasal dari perusahaan, sedangkan kualitas air limbah diperoleh dari hasil uji sampel di laboratorium. Data kualitas air limbah berupa parameter kimia BOD, COD, TSS, total amoniak, fenol dan pH diperlukan untuk mengetahui proses pengolahan yang sesuai untuk mengolah limbah cair industri pengolahan kayu di Jombang. Selain itu dapat dievaluasi apakah perlu *re-design* unit eksisting atau perlu unit

pengolahan tambahan untuk mengolah air limbah agar memenuhi baku mutu.

2. Perbandingan kualitas efluen IPAL dengan PERGUB JATIM No 72 Tahun 2013 tentang Baku Air Limbah Untuk Industri Kayu Lapis/*Plywood*.

Hasil laboratorium mengenai kualitas limbah cair selanjutnya dibandingkan dengan baku mutu. Nilai baku mutu yang digunakan dalam perencanaan ini adalah PERGUB JATIM No 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Untuk Industri Kayu Lapis/*Plywood*. Baku mutu digunakan sebagai nilai pembanding untuk mengetahui apakah limbah yang telah diolah di IPAL sudah memenuhi syarat untuk dibuang ke badan air. Selain itu, baku mutu juga dapat menjadi acuan dalam perancangan ini untuk mengetahui berapa nilai polutan yang perlu disisihkan agar dapat memenuhi baku mutu.

3. Evaluasi unit-unit IPAL eksisting

Evaluasi unit-unit IPAL eksisting dilakukan dengan menghitung efisiensi penyisihan parameter air limbah berdasarkan hasil uji laboratorium. Efisiensi penyisihan parameter air limbah dapat dihitung dengan persamaan 3.1.

$$E = \frac{Si - So}{Si} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dimana :

E = Efisiensi penyisihan parameter air limbah (%)

Si = Konsentrasi parameter *inlet* (mg/l)

So = Konsentrasi parameter *outlet* (mg/l)

Setelah diperoleh efisiensi penyisihan parameter air limbah, maka dilakukan evaluasi desain berdasarkan kriteria perancangan yang digunakan diambil dari *textbook* seperti Metcalf dan Eddy (2014) maupun kriteria lain yang berasal dari jurnal-jurnal terkait unit pengolahan tersebut.

4. Perencanaan optimasi kinerja IPAL eksisting dan penentuan unit pengolahan tambahan (jika diperlukan).

Perencanaan optimasi kinerja IPAL ditetapkan setelah menganalisis data kualitas dan kuantitas air limbah, hasil analisis penelitian pendahuluan dan hasil evaluasi unit-unit IPAL eksisting. Optimasi kinerja IPAL dan penentuan alternatif

pengolahan tambahan (jika diperlukan) mengacu pada penyisihan parameter air limbah sehingga memenuhi baku mutu PERGUB JATIM No 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Untuk Industri Kayu Lapis/*Plywood*. Optimasi kinerja IPAL eksisting mempertimbangkan aspek keterjangkauan baik secara teknis, biaya, lahan, maupun sumber daya yang tersedia.

5. Penggambaran *Detail Engineering Desain* (DED) unit IPAL Optimasi.

Gambar detail merupakan tahap selanjutnya setelah dilakukan perhitungan dimensi unit pengolahan. Gambar detail berupa layout IPAL, denah unit IPAL, potongan melintang dan memanjang beberapa unit IPAL (unit IPAL fabrikasi tidak dilakukan penggambaran).

6. Perhitungan biaya investasi, biaya operasi dan biaya perawatan IPAL.

Perhitungan biaya investasi, biaya operasi dan perawatan IPAL mengacu pada harga pasar dan HSPK Kabupaten Jombang. Setelah itu dilakukan perbandingan antara biaya IPAL eksisting dengan biaya IPAL hasil rancangan optimasi.

3.3.6 Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan mencakup evaluasi IPAL eksisting dan rencana optimasi agar IPAL efektif digunakan. Evaluasi meliputi proses pengolahan dan desain IPAL. Pada perencanaan ini ditinjau dari aspek teknis dan aspek finansial. Aspek teknis meliputi efisiensi penurunan parameter air limbah sesuai baku mutu, operasional dan desain unit IPAL sesuai kriteria desain. Aspek finansial meliputi biaya investasi, biaya operasi dan biaya perawatan.

3.3.7 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, dilakukan penarikan kesimpulan yang menjawab tujuan awal perencanaan. Kesimpulan tersebut meliputi :

1. Hasil evaluasi dan optimasi kinerja IPAL eksisting.
2. Hasil perhitungan biaya investasi, operasi dan perawatan IPAL.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Debit Air Limbah

Perhitungan debit air limbah didasarkan pada jumlah limbah yang diolah di IPAL pada tahun 2018. Air limbah tidak dihasilkan setiap hari, melainkan setiap bulan sehingga pengolahan limbahnya dilakukan secara *batch*. Data debit limbah industri pengolahan kayu di Jombang diperoleh dari data internal perusahaan yang disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Debit Air Limbah pada Tahun 2018

Bulan	Debit limbah yang diolah (m ³)	Jenis air limbah
Januari	11	prevail
Februari	7	prevail
Maret	14	prevail
April	3	nonprevail
Mei	11	nonprevail
Juni	14,4	nonprevail
Juli	11,1	prevail
Agustus	12	prevail
September	10,8	nonprevail
Oktober	5,6	prevail
November	12	prevail
Desember	5	prevail

Air limbah yang diolah terdiri atas 2 jenis, yaitu air limbah mengandung pengawet prevail dan tidak. Kedua jenis air limbah tersebut berasal dari proses pengawetan kayu yang direndam dalam kolam masak kayu (KMK). Debit air limbah yang diolah fluktuatif tiap bulannya. Hal itu dipengaruhi oleh jumlah produksi kayu yang memerlukan proses pengawetan. Pada tahun 2018, rata-rata air limbah yang diolah berjenis prevail. Pengolahan air limbah nonprevail terjadi pada bulan April, Mei, Juni dan September 2018. Pada bulan April 2018, debit limbah yang diolah hanya 3 m³ dikarenakan terjadi kerusakan pada pompa. Pada bulan Oktober 2018, terjadi penggumpalan reagen sehingga tidak dapat tercampur baik dengan air limbah. Alhasil IPAL tidak

dioperasikan sementara karena menunggu konfirmasi reagen dari pihak kontraktor. Pada Desember 2018, IPAL hanya mengolah 5 m³ dikarenakan terjadi kerusakan pompa. Rata-rata dalam 1 bulan, IPAL mengolah air limbah 5-14 m³. Namun jika permintaan produksi kayu sedang tinggi, maka air limbah yang dihasilkan dari KMK semakin besar pula. Secara eksisting, jenis dan jumlah air limbah yang dihasilkan oleh KMK dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Jenis dan Jumlah KMK

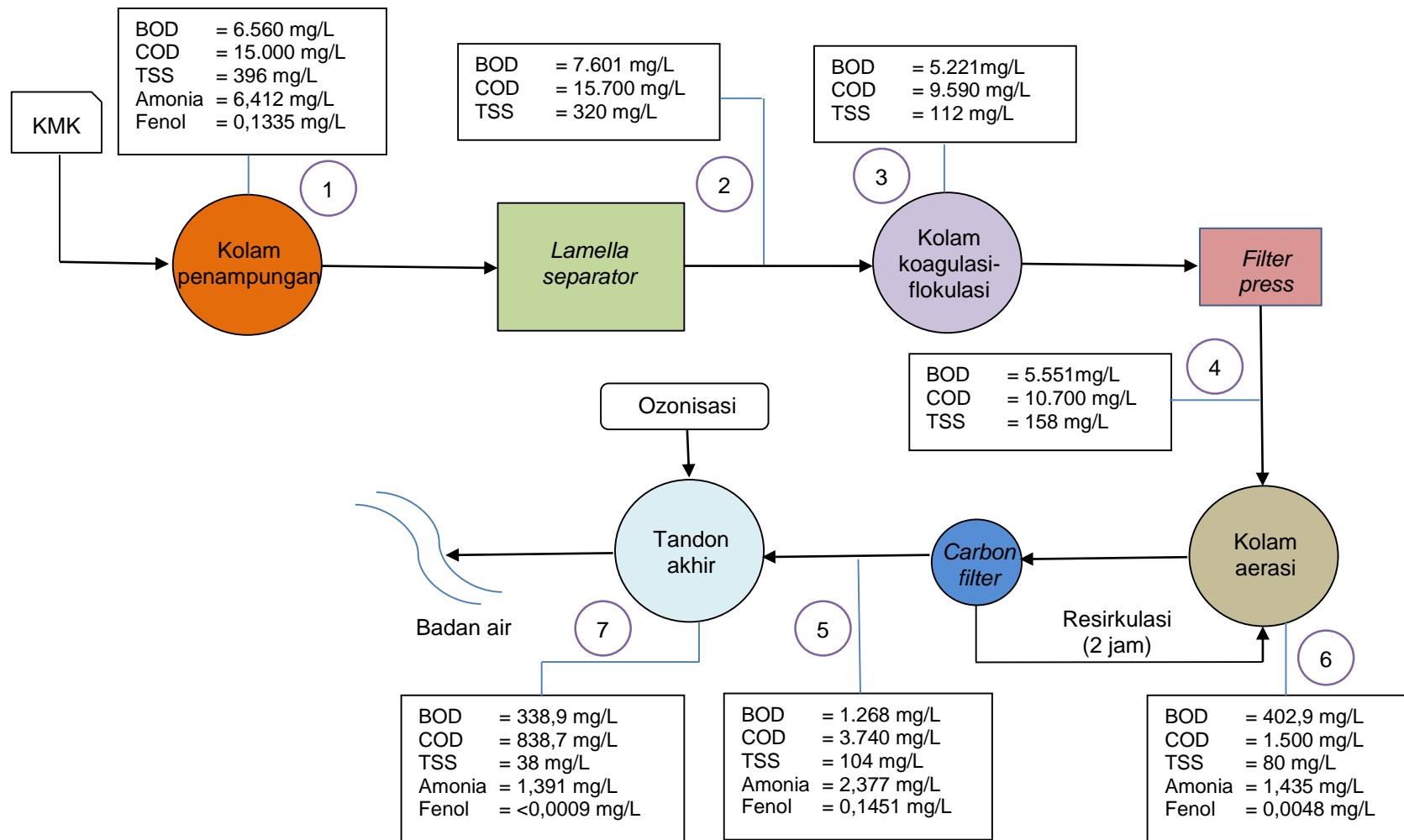
Jenis KMK	Jumlah (unit)	Kapasitas (m ³)	Durasi pengurasan (bulan)
Prevail	2	24	3
Nonprevail	2	24	1

Secara eksisting, dalam sekali pengolahan dengan reagen kimia di kolam koagulasi (kolam 2), air limbah yang diolah yaitu sebanyak 4-6 m³. Kapasitas *filter press* hanya 1 m³/*shift* dan memerlukan waktu 4 jam/*shift*. Sehingga dalam sehari air limbah di kolam 2 yang dipompa ke *filter press* hanya 1-2 m³ untuk dipisahkan air dan padatnya. Fraksi cair limbah kemudian masuk ke kolam 3, sedangkan lumpur yang tersaring akan dikumpulkan untuk dikirim ke pihak ketiga.

4.2 Karakteristik Air Limbah

Data karakteristik air limbah diperoleh dari data primer maupun data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil sampling dan analisis laboratorium oleh Perum Jasa Tirta I, Mojokerto (Lampiran C). Air limbah yang diolah pada saat sampling adalah air limbah berjenis prevail. Sampling dilakukan pada hari Jum'at, 5 April 2019. Lokasi sampling dilakukan pada 7 titik sampling di masing-masing unit IPAL (Gambar 4.1).

Data sekunder diperoleh dari data pemantauan kualitas efluen air limbah yang dilakukan perusahaan setiap bulannya. Data sekunder ini digunakan untuk melihat *trend* kualitas efluen air limbah yang tidak memenuhi baku mutu PerGub Jatim No 72 Tahun 2013 tentang baku mutu air limbah untuk industri kayu lapis/*plywood* sehingga menjadi fokus utama dalam perencanaan. Kualitas air limbah prevail dimasing-masing unit IPAL disajikan pada Tabel 4.3. Hasil pemantauan efluen air limbah setiap bulan pada tahun 2018 disajikan pada Tabel 4.4.



Gambar 4.1 Diagram Alir Kualitas Air Limbah

Tabel 4.3 Kualitas Air Limbah di Masing-masing Unit IPAL

No	Parameter	Satuan	Baku mutu	Konsentrasi Air Limbah di Unit Bangunan IPAL						
				1	2	3	4	5	6	7
1	pH	-	6-9	6,06	6,01	2,39	2,26	3,03	7,29	7,24
2	BOD ₅	mg/L	75	6.560	7.601	5.221	5.551	1.268	402,9	338,9
3	COD	mg/L	125	15.000	15.700	9.590	10.700	3.740	1.500	838,7
4	TSS	mg/L	50	396	320	112	158	104	80	38
5	Amonia (N-NH ₃)	mg/L	4	6,412	-	-	-	2,377	1,435	1,391
6	Total fenol	mg/L	0,25	0,1335	-	-	-	0,1451	0,0048	<0,0009

Sumber : Hasil Uji Laboratorium Perum Jasa Tirta I Mojokerto

Keterangan :

1. Konsentrasi di dalam kolam penampungan (kolam 1)
2. Konsentrasi outlet *lamella separator*
3. Konsentrasi di dalam kolam koagulasi-flokulasi (kolam 2)
4. Konsentrasi outlet *filter press*
5. Konsentrasi outlet filter karbon
6. Konsentrasi di dalam kolam aerasi (kolam 3)
7. Konsentrasi outlet tandon akhir (ozonisasi)

Tabel 4.4 Hasil Uji Laboratorium Kualitas Efluen IPAL Januari 2018 - Desember 2018

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Jan	Feb	Mar	Apr (*)	Mei (*)	Jun (*)	Jul	Agu	Sep (*)	Okt	Nov	Des
1	pH	-	6-9	7,4	6,48	7,2	6,93	7,32	6,97	6,86	6,85	7,58	6,77	6,98	7,13
2	TSS	mg/L	50	32	17	23	11	7	15	40	4	10	11	90	13
3	BOD	mg/L	75	131	13,74	42,67	9,07	6,23	5	37,06	4	6,07	24,92	101	8,6
4	COD	mg/L	125	200,2	99,56	147,4	54,04	28,38	30,05	142,5	127,2	46,06	148,5	577,1	80,55
6	Amonia Total	mg/L	4	0,319	0,031	0,265	0,30	0,230	0,561	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,18
5	Fenol	mg/L	0,25	0,141	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,237	0,640	0,632	0,665	0,134	0,001

Keterangan (*) = Air limbah nonprevail

Berdasarkan Tabel 4.3, kualitas air limbah prevail memiliki nilai pH, BOD, COD, TSS, total amoniak dan fenol berturut turut 6,06 ; 6.560 mg/L; 15.000 mg/L; 396 mg/L; 6,412 mg/L; dan 0,134 mg/L. Setelah melalui seluruh unit IPAL, kualitas air limbah yang dihasilkan masih diatas baku mutu yaitu parameter BOD dan COD yaitu sebesar 338,9 mg/L dan 838,7 mg/L sedangkan baku mutu BOD dan COD sesuai PerGub Jatim No 72 Tahun 2013 adalah 75 mg/L dan 125 mg/L. Parameter lain seperti pH, TSS, amoniak dan fenol masih berada dibawah baku mutu. Namun karena ada 2 parameter yang belum memenuhi baku mutu, maka air limbah yang diolah oleh IPAL masih belum layak untuk dibuang dibadan air dan memerlukan pengolahan kembali.

Berdasarkan Tabel 4.4, terlihat *trend* parameter air limbah yang seringkali tidak memenuhi baku mutu di tahun 2018 adalah COD, BOD dan TSS. Parameter COD melebihi baku mutu pada bulan Januari, Maret, Juli, Agustus, Oktober dan November 2018. Parameter BOD pada bulan Januari dan November 2018, sedangkan parameter TSS pada bulan November 2018. Jika dilihat dari jenis limbahnya, rata-rata air limbah yang tidak memenuhi baku mutu adalah berjenis prevail seperti yang dijelaskan pada sub bab 4.1. Air limbah berjenis prevail lebih sukar diolah dibandingkan air limbah nonprevail dikarenakan adanya kandungan bahan pengawet kayu berupa sipermetrin. Selain itu, kondisi IPAL yang kurang baik menyebabkan pengolahan air limbah tidak berjalan maksimal.

4.3 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan digunakan sebagai data primer untuk mengevaluasi proses pengolahan air limbah. Pada IPAL eksisting, sistem pengolahannya menggunakan fisik-kimiawi serta pengolahan lanjutan berupa adsorpsi *carbon filter* dan ozonisasi. Pengolahan kimiawi dilakukan dengan menambah beberapa reagen kimia pada proses koagulasi-flokulasi air limbah. Reagen kimia eksisting tidak diketahui jenisnya namun harganya tinggi sehingga menyebabkan pembengkakan biaya. Penelitian pendahuluan terdiri atas dua percobaan yaitu penentuan jenis dan dosis optimum koagulan yang efektif mengolah air limbah serta percobaan aerasi terhadap kualitas air limbah.

4.3.1 Penentuan Jenis Koagulan dan Dosis Optimum

Tujuan penelitian pendahuluan ini yaitu untuk mencari jenis koagulan beserta dosis optimumnya sebagai pengganti bahan kimia eksisting yang lebih ekonomis. Parameter yang dianalisis adalah COD, TSS, kekeruhan dan pH. Proses koagulasi-flokulasi yang berlangsung dengan baik mampu menurunkan kekeruhan pada air limbah sehingga BOD, COD dan TSS pada limbah menjadi berkurang. Menurut Nurmalita (2013), parameter kekeruhan disebabkan oleh adanya material berupa bahan organik dan anorganik baik tersuspensi maupun terlarut seperti lumpur, pasir halus, atau bahan organik seperti plankton dan mikroorganisme lainnya di dalam air. Parameter COD dan TSS menjadi fokus utama dalam penelitian ini karena parameter tersebut seringkali melebihi baku mutu air limbah. Koagulan yang digunakan dalam penelitian pendahuluan adalah Aluminium sulfat (alum), Besi (III) klorida (FeCl_3) dan *Polyaluminium chloride* (PAC) yang dijual bebas dipasaran. Spesifikasi koagulan yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Spesifikasi Koagulan yang digunakan Dalam Penelitian

Jenis Koagulan	Bentuk	Kemurnian (%)	Harga per kg
Aluminium Sulfat	Serbuk halus	17%	Rp 6.000
FeCl_3	Serbuk halus	96%	Rp 25.000
<i>Polyaluminium chloride</i> (PAC)	Serbuk halus	30%	Rp 20.000

Langkah pertama yang dilakukan yaitu membuat larutan stock koagulan dengan konsentrasi 10% atau 100.000 mg/L. Larutan stock koagulan dibuat dengan menimbang koagulan dengan berat sesuai perhitungan tertentu kemudian dilarutkan kedalam 1 L aquades dan diaduk hingga homogen.

$$100 \text{ g alum murni} = \frac{\text{massa}}{\% \text{ kadar}}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa alum murni} &= \frac{100 \text{ g}}{17 \%} \\ &= 588,24 \text{ g dilarutkan ke 1 L aquades} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan kebutuhan koagulan untuk membuat larutan stock koagulan dengan konsentrasi 10% atau 100.000 mg/L disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Kebutuhan Koagulan sebagai Larutan Stock

No	Koagulan	Kadar (%)	Konsentrasi stock (mg/L)	Berat yang diperlukan (gram)
1	Aluminium sulfat	17	100.000	588,24
2	FeCl ₃	96	100.000	104,17
3	PAC	30	100.000	333,33

Pada Tabel 4.6, koagulan Aluminium sulfat memerlukan jumlah paling banyak yaitu 588,24 g dikarenakan kemurnian alum dalam serbuknya hanya 17%. FeCl₃ memerlukan jumlah paling sedikit yaitu 104,17 g dikarenakan memiliki kemurnian yang paling tinggi sebesar 96%. Kebutuhan koagulan tergantung pada % kadar koagulan itu sendiri dalam bentuknya (serbuk).

Langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan *jar test* dengan menentukan rentang dosis pada masing-masing koagulan. Perhitungan jumlah volume larutan stock yang ditambahkan agar sesuai konsentrasi yang diinginkan menggunakan rumus pengenceran seperti pada persamaan 4.1.

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad (4.1)$$

Dimana :

C_1 = Konsentrasi yang diinginkan (misalkan 1.000 mg/L)

V_1 = Volume sampel (500 ml)

C_2 = Konsentrasi larutan koagulan *stock* (100.000 mg/L)

V_2 = Volume larutan koagulan *stock* yang ditambahkan (ml)

Contoh perhitungan :

$C_1 = 1.000$ mg/L

$C_2 = 10.000$ mg/L

$V_1 = 500$ ml

$$V_2 = \frac{C_1 V_1}{C_2} = \frac{1.000 \times 500}{100.000} = 5 \text{ ml}$$

Artinya untuk membuat larutan sampel dengan konsentrasi 1.000 mg/L, perlu ditambahkan 5 ml larutan koagulan kedalam 500 ml sampel.

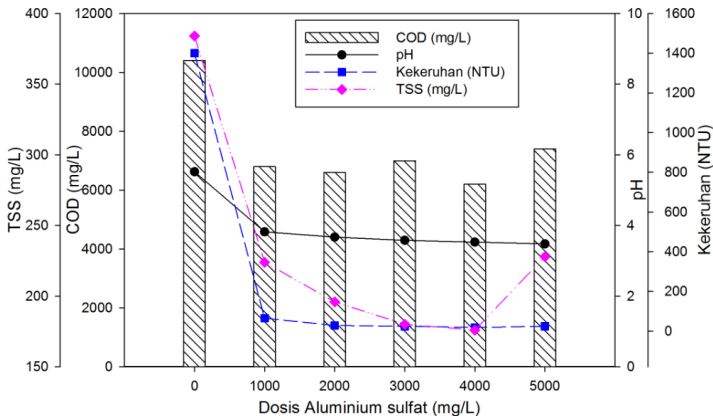
Pada percobaan *jar test*, pengadukan cepat dilakukan dengan kecepatan 250 rpm selama 1 menit, pengadukan lambat

dengan kecepatan 50 rpm selama 30 menit dan sedimentasi selama 60 menit. Penentuan dosis optimum koagulan untuk mengolah air limbah (prevail maupun nonprevail) dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama untuk mengetahui rentang dosis optimum dengan membubuhkan koagulan pada air limbah pada rentang konsentrasi 1000 mg/L hingga 5000 mg/L. Setelah diperoleh rentang dosis optimum, maka dilakukan percobaan *jar test* yang kedua untuk menentukan dosis optimum pembubuhan koagulan. Berikut ini adalah hasil percobaan *jar test* untuk mengolah air limbah prevail maupun nonprevail menggunakan koagulan Aluminium sulfat, Besi (III) klorida (FeCl_3) dan *Polyaluminium chloride* (PAC) :

1. Aluminium sulfat (alum)

a) Air limbah prevail + alum

Percobaan *jar test* untuk menentukan rentang dosis optimum air limbah prevail dilakukan pada 27 Maret 2019. Hasil percobaan *jar test* pertama koagulan alum untuk air limbah prevail disajikan pada Gambar 4.2.

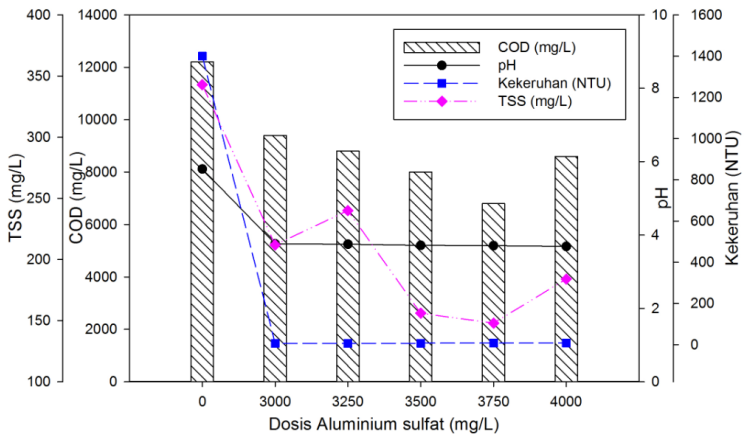


Gambar 4.2 Hasil Percobaan *Jar Test* Pertama Koagulan Alum untuk Air Limbah Prevail

Pada Gambar 4.2, karakteristik awal air limbah prevail memiliki nilai kekeruhan, TSS, COD dan pH berturut-turut 1458 NTU, 384 mg/L, 10.400 mg/L dan 5,52. Pada pH 5,52 koagulan alum masih

dapat bekerja optimum karena masih memenuhi rentang pH optimumnya yaitu 5,0-8,0. Parameter kekeruhan terendah terdapat pada pembubuhan alum dengan konsentrasi 3000 mg/L dengan nilai 4,07 NTU. Parameter TSS dan COD terendah terdapat pada pembubuhan alum dengan konsentrasi 4000 mg/L dengan nilai 176 mg/L dan 6.200 mg/L. Oleh karena itu, dipilih rentang dosis optimum pembubuhan alum untuk limbah prevail yaitu antara 3000 mg/L - 4000 mg/L.

Percobaan *jar test* yang kedua dilakukan pada 08 April 2019. Hasil percobaan *jar test* kedua koagulan alum untuk air limbah prevail disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Percobaan *Jar Test* Kedua Koagulan Alum untuk Air Limbah Prevail

Pada Gambar 4.3, karakteristik awal air limbah prevail memiliki nilai kekeruhan, TSS, COD dan pH berturut-turut 14.00 NTU, 342,86 mg/L, 12.200 mg/L dan 5,80. Karakteristik awal air limbah prevail untuk percobaan kedua ini berbeda dengan yang pertama. Hal ini dikarenakan air limbah yang digunakan berbeda waktu samplingnya. Perbedaan waktu sampling ini memungkinkan terjadinya perubahan karakteristik air limbah prevail. Hal ini dikarenakan kolam masak kayu (KMK) yang merupakan sumber air limbah prevail terletak di lokasi yang terbuka, sehingga memungkinkan untuk terkena air hujan, terpapar sinar matahari

secara langsung (evaporasi) atau kemasukan zat pengotor lain yang dapat merubah karakteristik air limbah tersebut. Namun perubahannya tidak terlalu signifikan.

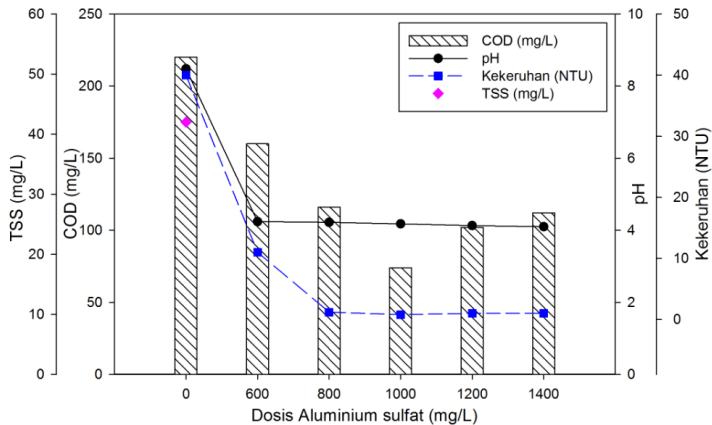
Berdasarkan Gambar 4.3, parameter TSS dan COD terendah terdapat pada pembubuhan alum dengan konsentrasi 3.750 mg/L dengan nilai 148 mg/L dan 6.800 mg/L. Parameter kekeruhan terendah terdapat pada pembubuhan alum dengan dosis 3.250 mg/L yaitu sebesar 6,3 NTU, sedangkan dosis 3.750 mg/L sebesar 7,6 NTU. Parameter yang menjadi fokus utama pengolahan adalah COD dan TSS sehingga dapat disimpulkan bahwa dosis optimum koagulan alum untuk air limbah prevail adalah 3750 mg/L. Pembubuhan alum dengan dosis 3750 mg/L pada limbah prevail, mampu menurunkan parameter kekeruhan, COD, TSS masing-masing 99,46%; 44, 26% dan 56,83%. Sedangkan pH mengalami penurunan dari awalnya 5,80 menjadi 3,71.

b) Air limbah nonprevail + alum

Percobaan *jar test* untuk menentukan rentang dosis optimum air limbah nonprevail dilakukan pada 20 Maret 2019. Percobaan *jar test* pertama air limbah nonprevail dengan koagulan alum dilakukan dengan menambahkan alum sebanyak 1.000 mg/L, 2.000 mg/L, 3.000 mg/L, 4.000 mg/L dan 5.000 mg/L pada masing-masing *beaker glass* yang berisi 500 ml sampel air limbah nonprevail. Namun, setelah dilakukan percobaan *jar test*, hanya konsentrasi 1.000 mg/L yang dapat membentuk flok/endapan. Selain konsentrasi tersebut tidak dapat membentuk flok, justru air limbahnya semakin berwarna coklat dan semakin pekat. Menurut Budiman (2008), konsentrasi koagulan berlebih menyebabkan penyerapan kation yang berlebih oleh partikel koloid dalam air limbah. Sehingga partikel koloid akan bermuatan positif dan terjadi gaya tolak-menolak antar partikel, dan menyebabkan deflokasi flok. Deflokasi flok akan menyebabkan larutan menjadi semakin keruh dan nilai turbiditas air menjadi semakin meningkat. Oleh karena itu, dipilih konsentrasi 1.000 mg/L sebagai rentang dosis optimum. Penentuan rentang dosis optimum dilakukan hanya dengan pengamatan fisik, yaitu dengan melihat ada tidaknya flok/endapan yang terbentuk. Pada konsentrasi 2000 mg/L - 5000

mg/L, tidak terbentuk flok/endapan sama sekali sehingga tidak dilakukan analisis parameter pH, TSS, COD dan kekeruhan.

Percobaan *jar test* kedua dilakukan pada tanggal 03 April 2019. Rentang konsentrasi alum yang ditambahkan yaitu 600 mg/L - 1.400 mg/L. Hasil percobaan *jar test* kedua untuk menentukan dosis optimum koagulan alum dengan air limbah nonprevail disajikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil Percobaan *Jar Test* Kedua Koagulan Alum untuk Air Limbah Nonprevail

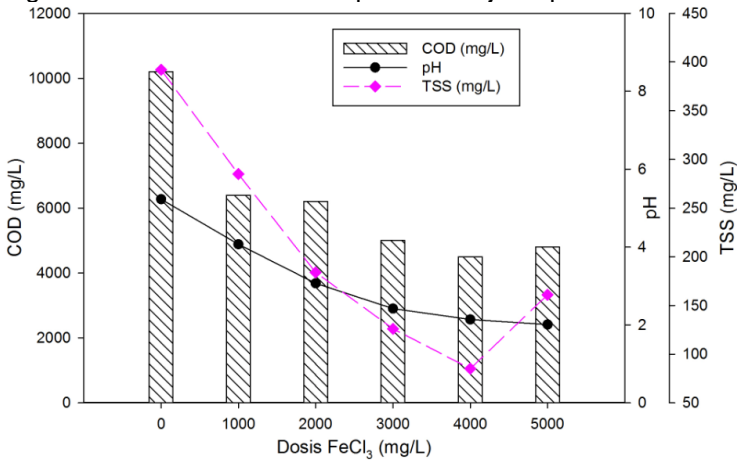
Pada Gambar 4.4, karakteristik awal air limbah nonprevail memiliki nilai kekeruhan, TSS, COD dan pH berturut-turut 40 NTU, 42 mg/L, 220 mg/L dan 8,48. Pada percobaan ini, parameter TSS hanya diukur diawal. Setelah proses koagulasi-flokulasi dengan *jar test*, parameter TSS tidak diukur karena sifat fisik air limbah berubah menjadi bening dan jernih sehingga hanya diukur nilai kekeruhannya saja. Pada penambahan 1.000 mg/L alum, menghasilkan nilai kekeruhan dan COD terendah yaitu sebesar 0,8 NTU dan 74 mg/L. Penurunan kekeruhan dan COD mencapai 98,00% dan 44,26%. PH mengalami penurunan dari awalnya 8,48 menjadi 4,18. Air limbah nonprevail memiliki pH 8,48 yang mana pH tersebut sebenarnya melebihi rentang pH optimum alum yaitu 5,0-8,0. Namun, meskipun tanpa dilakukan pengaturan pH sehingga masuk pada rentang pH optimum, alum masih dapat bekerja optimum yang dibuktikan dengan penurunan parameter

kekeruhan dan COD yang cukup signifikan. Dapat disimpulkan bahwa dosis optimum pembubuhan alum untuk proses koagulasi-flokulasi air limbah nonprevail adalah 1.000 mg/L.

2. Besi (III) klorida (FeCl_3)

a) Air limbah nonprevail + FeCl_3

Percobaan *jar test* pertama dilakukan pada 25 Maret 2019. Namun, pada percobaan ini parameter yang diukur hanyalah pH, TSS dan COD. Parameter kekeruhan tidak diukur. Hasil percobaan *jar test* pertama untuk menentukan rentang dosis optimum koagulan FeCl_3 untuk air limbah prevail disajikan pada Gambar 4.5.

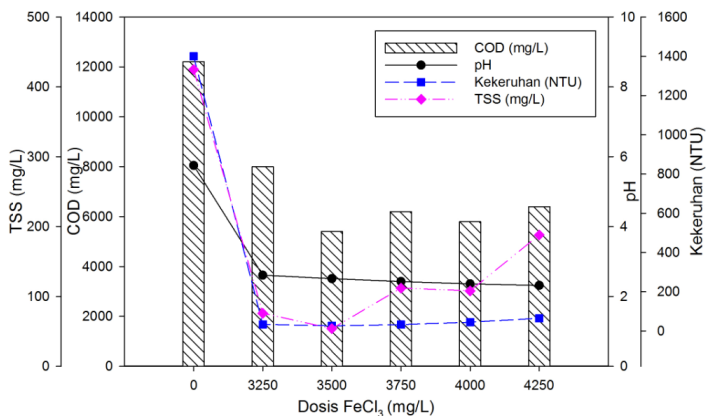


Gambar 4.5 Hasil Percobaan *Jar Test* Pertama Koagulan FeCl_3 untuk Air Limbah Prevail

Pada Gambar 4.5, karakteristik awal air limbah prevail memiliki nilai TSS, COD dan pH berturut-turut 392 mg/L, 10.200 mg/L dan 5,23. PH air limbah prevail sebesar 5,23 masih masuk dalam rentang pH optimum koagulan FeCl_3 yakni antara 4-12. Pada Gambar 4.5, parameter TSS dan COD terendah terjadi pada penambahan 4.000 mg/L FeCl_3 yaitu sebesar 85 mg/L dan 4.500 mg/L. Penambahan FeCl_3 sebanyak 4000 mg/L dapat menjatuhkan pH dari awalnya 5,23 menjadi 2,14. Menurut Norjannah (2015), perubahan pH yang drastis ini dikarenakan penambahan koagulan FeCl_3 yang bersifat asam. FeCl_3

merupakan garam yang berasal dari asam kuat dan basa lemah, apabila dilarutkan dalam air akan menghasilkan larutan yang bersifat asam karena senyawa Cl^- berikatan dengan air membentuk HCl . Pada percobaan *jar test* pertama, disimpulkan bahwa rentang dosis optimum koagulan FeCl_3 dengan air limbah prevail ada pada rentang 3.000 mg/L hingga 4.000 mg/L.

Percobaan *jar test* kedua dilakukan pada 08 April 2019. Air limbah prevail yang digunakan untuk percobaan *jar test* kedua adalah hasil sampling kedua sehingga sedikit berbeda dengan sampling pertama. Rentang konsentrasi FeCl_3 yang ditambahkan pada percobaan *jar test* kedua yaitu 3.250 mg/L – 4.250 mg/L. Hasil percobaan *jar test* kedua untuk menentukan dosis optimum koagulan FeCl_3 dengan air limbah prevail disajikan pada Gambar 4.6.



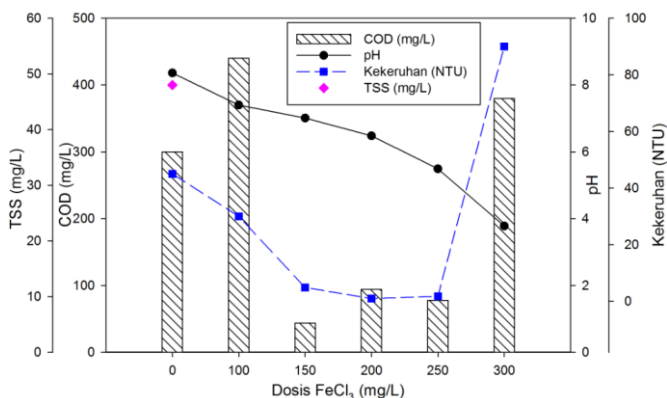
Gambar 4.6 Hasil Percobaan *Jar Test* Kedua Koagulan FeCl_3 untuk Air Limbah Prevail

Pada Gambar 4.6, karakteristik awal air limbah prevail memiliki nilai kekeruhan, TSS, COD dan pH berturut-turut 1.400 NTU, 425 mg/L, 12.200 mg/L dan 5,75. Parameter kekeruhan, TSS dan COD terendah terjadi pada penambahan 3.500 mg/L FeCl_3 dengan masing-masing nilai sebesar 26 NTU, 54 mg/L dan 5.400 mg/L. Artinya, dengan penambahan koagulan FeCl_3 sebanyak 3.500 mg/L mampu menurunkan parameter kekeruhan, COD dan TSS sebesar 98,14%; 55,74% dan 87,29%. Selain itu terjadi penurunan

pH secara signifikan dan berbanding lurus dengan jumlah penambahan FeCl_3 . Semakin banyak FeCl_3 yang ditambahkan, maka pH sampel air semakin asam. Penambahan 3.500 mg/L FeCl_3 mampu menjatuhkan pH dari awalnya 5,75 menjadi 2,51. Berdasarkan hasil percobaan *jar test* kedua, dapat disimpulkan bahwa dosis optimum koagulan FeCl_3 untuk air limbah prevail adalah 3.500 mg/L.

a) Air limbah nonprevail + FeCl_3

Percobaan *jar test* pertama dilakukan pada tanggal 02 April 2019. Percobaan tersebut dilakukan dengan menambahkan koagulan FeCl_3 sebanyak 1.000 mg/L, 2.000 mg/L, 3.000 mg/L, 4.000 mg/L dan 5.000 mg/L pada 5 *beaker glass* yang berisi 500 mL sampel air limbah nonprevail. Namun, tidak ada satupun konsentrasi yang dapat membentuk flok/endapan. Air sampel justru semakin keruh dan pekat karena terlalu banyak FeCl_3 yang ditambahkan. Oleh karena itu, dilakukan percobaan ulang dengan menurunkan dosis/konsentrasi FeCl_3 ke dalam sampel air limbah nonprevail. Konsentrasi yang dicoba adalah 100 mg/L – 300 mg/L. Hasil percobaan ulang disajikan pada Gambar 4.7.

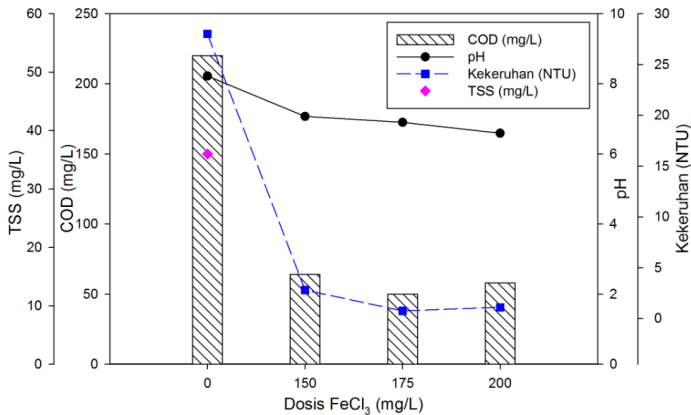


Gambar 4.7 Hasil Percobaan *Jar Test* Pertama Koagulan FeCl_3 untuk Air Limbah Nonprevail

Pada Gambar 4.7, karakteristik awal air limbah nonprevail memiliki nilai kekeruhan, TSS, COD dan pH berturut-turut 45 NTU, 48 mg/L, 300 mg/L dan 8,36. Nilai kekeruhan terendah diperoleh dari

pembubuhan koagulan FeCl_3 sebanyak 200 mg/L yaitu sebesar 1 NTU. Sedangkan parameter COD terendah diperoleh dari pembubuhan koagulan FeCl_3 sebanyak 150 mg/L yaitu sebesar 44 mg/L. Berdasarkan hasil percobaan *jar test* pertama, diperoleh rentang dosis optimum pembubuhan FeCl_3 untuk proses koagulasi-flokulasi air limbah nonprevail adalah 150 mg/L – 200 mg/L.

Percobaan *jar test* kedua dilakukan pada 08 April 2019. Hasil percobaan *jar test* kedua untuk menentukan dosis optimum koagulan FeCl_3 dengan air limbah prevail disajikan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil Percobaan *Jar Test* Kedua Koagulan FeCl_3 untuk Air Limbah Nonprevail

Pada Gambar 4.8, karakteristik awal air limbah nonprevail memiliki nilai kekeruhan, TSS, COD dan pH berturut-turut 28 NTU, 36 mg/L, 220 mg/L dan 8,22. Pada percobaan *jar test* yang kedua terjadi perbedaan karakteristik air limbah nonprevail dibandingkan dengan percobaan pertama, namun tidak terlalu signifikan. Pada Gambar 4.8, nilai parameter kekeruhan dan COD terendah diperoleh dari pembubuhan koagulan FeCl_3 sebanyak 175 mg/L. Parameter kekeruhan menurun dari awalnya 28 NTU menjadi 0,75 NTU (menurun 97,32%). Parameter COD menurun dari awalnya 220 mg/L menjadi 50 mg/L (menurun 77,27%). Pada dosis tersebut, terjadi penurunan pH yang mulanya 8,22 menjadi 6,90.

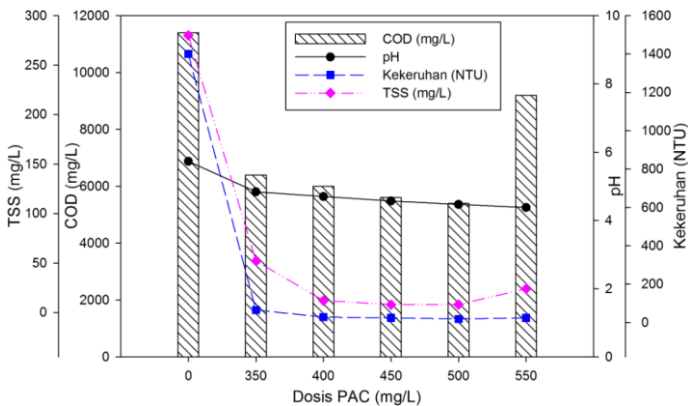
Sifat fisik air limbah setelah proses koagulasi-flokulasi dengan 175 mg/L FeCl_3 yaitu sangat jernih seperti air bersih. Berdasarkan hasil percobaan *jar test* kedua, dapat disimpulkan bahwa dosis optimum koagulan FeCl_3 untuk air limbah nonprevail adalah 175 mg/L.

3. *Polyaluminium chloride* (PAC)

a) Air limbah prevail + PAC

Percobaan *jar test* pertama dilakukan pada tanggal 10 April 2019 dengan menambahkan koagulan PAC dengan konsentrasi 1.000 mg/L, 2.000 mg/L, 3.000 mg/L pada 3 *beaker glass* yang berisi 500 ml sampel air limbah prevail. Setelah dilakukan *jar test* dan diukur nilai kekeruhannya, menghasilkan nilai kekeruhan berturut-turut 150 NTU, 400 NTU, dan 700 NTU. Nilai kekeruhan ketiga sampel air tersebut masih terlalu tinggi. Hal ini disebabkan oleh penambahan dosis yang terlalu banyak sehingga menyebabkan larutan menjadi semakin keruh dan nilai turbiditas air menjadi semakin meningkat. Pada percobaan berikutnya, rentang dosis PAC yang ditambahkan yaitu <1.000 mg/L.

Percobaan *jar test* kedua dilakukan pada 14 April 2019. Konsentrasi yang dicoba yaitu pada rentang 350 mg/L - 550 mg/L. Hasil percobaan *jar test* untuk menentukan dosis optimum koagulan PAC terhadap air limbah prevail disajikan pada Gambar 4.9.

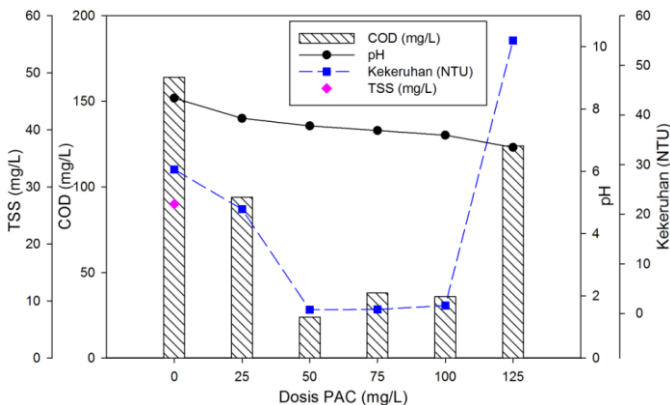


Gambar 4.9 Hasil Percobaan *Jar Test* Kedua Koagulan PAC untuk Air Limbah Prevail

Pada Gambar 4.9, karakteristik awal air limbah prevail memiliki nilai kekeruhan, TSS, COD dan pH berturut-turut 1.400 NTU, 280 mg/L, 11.400 mg/L dan 5,73. Pada konsentrasi 500 mg/L, menghasilkan nilai kekeruhan, COD dan TSS terendah yaitu masing-masing nilai 18 NTU, 5.400 mg/L dan 8 mg/L. Artinya, mampu menurunkan parameter kekeruhan, COD dan TSS sebesar 98,71%, 52,63% dan 97,14%. Air limbah prevail memiliki pH 5,73 yang mana pH tersebut tidak masuk dalam rentang pH optimum PAC yaitu 6,0-9,0. Berdasarkan hasil percobaan, PAC masih dapat menurunkan parameter kekeruhan dan COD namun kurang optimal. Perlu dilakukan pengaturan sehingga pH air limbah masuk kedalam rentang pH optimum PAC. Penambahan 500 mg/L PAC menurunkan pH dari mulanya 5,73 menjadi 4,47. Berdasarkan percobaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa dosis optimum pembubuhan PAC untuk proses koagulasi-flokulasi air limbah prevail adalah 500 mg/L.

b) Air limbah nonprevail + PAC

Percobaan *jar test* air limbah nonprevail dengan PAC dilakukan dengan dosis penambahan PAC sebanyak 25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L dan 125 mg/L. Percobaan ini dilakukan pada tanggal 22 April 2019. Hasil percobaan *jar test* disajikan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hasil Percobaan *Jar Test* Koagulan PAC untuk Air Limbah Nonprevail

Pada Gambar 4.10, karakteristik awal air limbah nonprevail memiliki nilai kekeruhan, TSS, COD dan pH berturut-turut 29 NTU, 27 mg/L, 164 mg/L dan 8,35. Pada konsentrasi 50 mg/L, menghasilkan nilai kekeruhan dan COD terendah yaitu 0,75 NTU dan 24 mg/L. Pembubuhan 50 mg/L PAC mampu menurunkan parameter kekeruhan dan COD sebesar 97,41% dan 85,37%. Berdasarkan hasil percobaan *jar test* kedua, disimpulkan bahwa dosis optimum koagulan PAC untuk air limbah nonprevail adalah 50 mg/L.

Rangkuman hasil penentuan dosis optimum koagulan beserta % penurunan parameter air limbah prevail dan nonprevail disajikan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Rangkuman Hasil Penentuan Dosis Optimum Koagulan untuk Air Limbah Prevail

No	Koagulan	Dosis (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)
1	Aluminium sulfat	3.750	99,46%	44,26%	56,83%
2	FeCl ₃	3.500	98,14%	55,74%	87,29%
3	PAC	500	98,71%	52,63%	97,14%

Berdasarkan Tabel 4.7, koagulan yang paling efektif untuk mengolah air limbah prevail adalah koagulan PAC dengan dosis pembubuhan 500 mg/L. Koagulan PAC dengan dosis 500 mg/L mampu menurunkan parameter kekeruhan, COD dan TSS sebesar 98,71%; 52,63% dan 97,14%.

Tabel 4.8 Rangkuman Hasil Penentuan Dosis Optimum Koagulan untuk Air Limbah Nonprevail

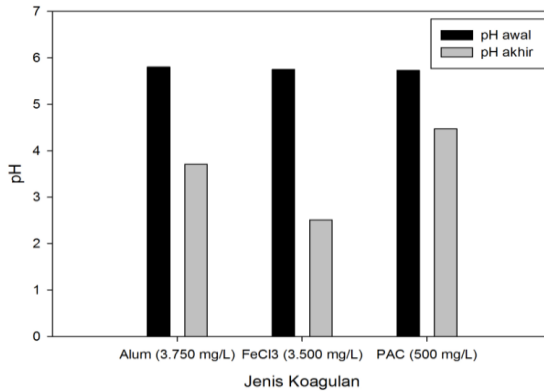
No	Koagulan	Dosis (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	COD (mg/L)
1	Aluminium sulfat	1.000	98,00%	66,36%
2	FeCl ₃	175	97,32%	77,27%
3	PAC	50	97,41%	85,37%

Berdasarkan Tabel 4.8, air limbah nonprevail cocok diolah menggunakan koagulan PAC dengan dosis pembubuhan 50 mg/L. Penurunan parameter kekeruhan dan COD hingga mencapai 97,41% dan 85,37%.

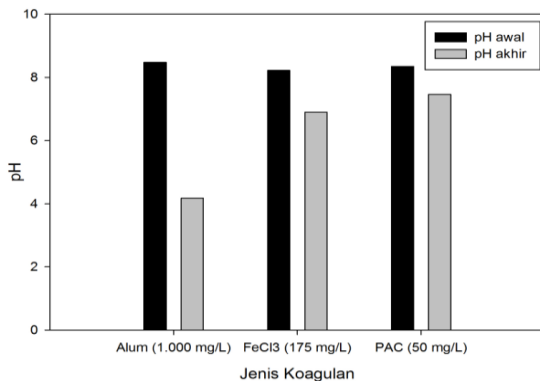
Berdasarkan hasil percobaan *jar test*, koagulan terbaik untuk mengolah air limbah prevail dan nonprevail adalah PAC. Keunggulan PAC dibandingkan koagulan lain adalah sebagai berikut :

1. PAC lebih mudah membentuk flok. PAC adalah suatu senyawa kompleks berinti banyak dari ion-ion aquo aluminium yang terpolimerisasi (polimer senyawa anorganik). Oleh sebab itu, PAC memiliki banyak partikel-partikel muatan positif $[Al_2(OH)]^+$ dan muatan negatif Cl^- yang akan berikatan dengan partikel-partikel limbah yang tidak stabil atau bermuatan membentuk flok-flok yang kemudian menghasilkan endapan (Rizkawanti *et al.*, 2016).
2. Dosis yang diperlukan lebih sedikit. PAC memiliki derajat polimerisasi yang tinggi yang artinya senyawa dalam PAC memiliki massa molekul besar sehingga mudah berikatan dengan partikel koloid dalam air limbah (Nur *et al.*, 2016)
3. Koagulan PAC mampu menghasilkan lumpur lebih sedikit, dan juga meninggalkan lebih sedikit residu aluminium pada air yang diolah (Kristijarti, 2013).
4. Tingkat korosivitas rendah, karena tidak mengandung ion sulfat pada senyawa PAC. Hal ini menjadikan PAC aman digunakan baik pada pengolahan air minum ataupun air limbah karena tidak merusak bangunan/unit pengadukan mekanis (Budiman, 2008).

Selain dapat menurunkan parameter pencemar air limbah yang terukur dalam COD, TSS dan kekeruhan, penambahan koagulan juga mengakibatkan penurunan pH. Penurunan pH dipengaruhi oleh jenis koagulan. Koagulan akan bereaksi dengan air limbah menyebabkan lepasnya ion H^+ yang menyebabkan suasana asam. Koagulan memiliki rentang pH tertentu agar bekerja secara optimum. Oleh karena itu, pengaturan pH larutan perlu dilakukan dalam pengolahan limbah dengan metode koagulasi dan flokulasi (Rizkawanti *et al.*, 2016). Grafik penurunan pH awal dan setelah proses koagulasi-flokulasi disajikan pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



Gambar 4.11 Penurunan pH Air Limbah Prevail Setelah Proses Koagulasi-flokulasi



Gambar 4.12 Penurunan pH Air Limbah Nonprevail Setelah Proses Koagulasi-flokulasi

Berdasarkan Gambar 4.11, penambahan koagulan FeCl₃ dengan konsentrasi 3.500 mg/L untuk air limbah prevail menyebabkan penurunan pH secara drastis yaitu dari 5,75 menjadi 2,51. Sedangkan penambahan 500 mg/L PAC menurunkan pH dari awalnya 5,73 menjadi 4,47. Berdasarkan data diatas, penurunan pH berbanding lurus dengan dosis koagulan yang ditambahkan. Artinya, semakin banyak koagulan yang ditambahkan, maka semakin banyak pula ion H⁺ yang dihasilkan akibat reaksi hidrolisis koagulan dengan air limbah. Pada Gambar

4.12, penambahan PAC dengan konsentrasi 50 mg/L menurunkan pH 8,35 menjadi 7,46. Berdasarkan percobaan di atas, koagulan PAC yang tidak menurunkan pH secara signifikan. Hal tersebut menjadi salah satu keunggulan dari koagulan PAC.

Menurut Budiman (2008), PAC hanya melepaskan 1 gugus ion H^+ dari reaksi hidrolisisnya dengan air limbah, sedangkan alum melepaskan 6 gugus ion H^+ (persamaan 2.22 dan 2.23). Keberadaan ion H^+ di dalam air limbah menyebabkan penurunan pH menjadi lebih asam.

Selain itu, penurunan pH akibat koagulasi-flokulasi dipengaruhi oleh tingkat basisitas koagulan. Menurut Budiman (2008), basisitas adalah perbandingan jumlah muatan ion OH^- terhadap jumlah muatan ion Cl^- . Koagulan PAC memiliki basisitas yang cukup tinggi, yaitu 30-75% (tergantung perbandingan molar antara ion $[Al_2(OH)_{6-n}]^+$ dan ion Cl_n^-). Semakin tinggi nilai basisitas suatu koagulan, maka penurunan pH air limbah setelah koagulasi-flokulasi tidak terlalu signifikan. Penambahan koagulan alum dengan konsentrasi 1.000 mg/L ke dalam air limbah nonprevail menyebabkan penurunan pH dari mulanya 8,48 menjadi 4,18 (terjadi penurunan pH yang sangat drastis). Hal tersebut dikarenakan koagulan Aluminium sulfat memiliki basisitas 0%, sehingga larutannya bersifat asam dan dapat menurunkan nilai pH secara drastis (Margaretha *et al.*, 2012).

Berdasarkan percobaan di atas, nilai pH setelah proses koagulasi-flokulasi belum memenuhi baku mutu pH yaitu 6-9. Bila pH lebih kecil dari 6,5 dan lebih besar dari 9,2 dapat menyebabkan beberapa senyawa kimia berubah menjadi racun (Margaretha *et al.*, 2012). Oleh karena itu, diperlukan pengaturan pH dengan menambahkan larutan basa seperti NaOH, $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$, atau $Mg(OH)_2$, agar pH yang optimum dapat tercapai. Diperlukan kontrol pH yang ketat agar hasil koagulasi-flokulasi dapat maksimal. Hasil perhitungan kebutuhan koagulan dan biaya yang diperlukan untuk mengolah air limbah prevail dan nonprevail disajikan pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.

Tabel 4.9 Perhitungan Kebutuhan Koagulan dan Biaya Pengolahan Air Limbah Prevail

Jenis Koagulan	Kemurnian (%)	Harga per kg	Dosis optimum (mg/L)	Kebutuhan koagulan per 1 m³ limbah (kg)	Biaya mengolah 1 m³ limbah prevail	Biaya mengolah air limbah 1 bulan (24 m³)
Aluminium Sulfat	17%	Rp 6.000	3.750	22,1	Rp 132.600	Rp 3.182.400
FeCl₃	96%	Rp 25.000	3.500	3,7	Rp 92.500	Rp 2.220.000
Polyaluminium chloride (PAC)	30%	Rp 20.000	500	1,7	Rp 34.000	Rp 816.000

Tabel 4.10 Perhitungan Kebutuhan Koagulan dan Biaya Pengolahan Air Limbah Nonprevail

Jenis Koagulan	Kemurnian (%)	Harga per kg	Dosis optimum (mg/L)	Kebutuhan koagulan per 1 m³ limbah (kg)	Biaya mengolah 1 m³ limbah prevail	Biaya mengolah air limbah 1 bulan (24 m³)
Aluminium Sulfat	17%	Rp 6.000	1.000	5,9	Rp 35.400	Rp 849.600
FeCl₃	96%	Rp 25.000	175	0,2	Rp 5.000	Rp 120.000
Polyaluminium chloride (PAC)	30%	Rp 20.000	50	0,2	Rp 4.000	Rp 96.000

Berdasarkan Tabel 4.9 dan Tabel 4.10, jenis koagulan dengan biaya yang paling ekonomis untuk mengolah air limbah prevail dan nonprevail adalah PAC. Hal tersebut dikarenakan PAC memiliki dosis optimum paling rendah dibandingkan dengan alum dan FeCl_3 . Berikut ini contoh perhitungan kebutuhan koagulan PAC untuk mengolah air limbah prevail :

Diketahui :

- Kadar PAC = 30%
- Dosis PAC = 500 mg/L
- Air limbah yang diolah = $1 \text{ m}^3 = 1.000 \text{ L}$
- Kebutuhan koagulan PAC = $\frac{\text{Dosis PAC} \times \text{Vol air limbah yang diolah}}{\text{Kadar PAC}}$

$$= \frac{500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1000 \text{ L}}{30\%}$$

$$= 1.666.667 \text{ mg} = 1,7 \text{ kg}$$
- Harga PAC = Rp 6.000/kg
- Biaya pengolahan 1 m^3 air limbah prevail dengan koagulan PAC = Rp 6.000/kg x 1,7 kg = Rp 34.000.

Jika dalam 1 bulan air limbah prevail yang diolah sebanyak 24 m^3 (per minggu 6 m^3), maka biaya yang harus dikeluarkan untuk membeli koagulan PAC yaitu Rp 816.000.

Proses koagulasi-flokulasi menghasilkan produk sampingan berupa lumpur. Lumpur tersebut merupakan hasil ikatan kimia antara partikel koloid air limbah dengan kation koagulan. Banyak sedikitnya lumpur yang terbentuk dipengaruhi oleh jenis kation dan dosis koagulan yang ditambahkan. Pengukuran volume lumpur yang dihasilkan dari proses koagulasi-flokulasi dilakukan dengan *imhoff cone*. Setelah dilakukan proses koagulasi-flokulasi, air limbah dipindahkan ke *imhoff cone* dan diendapkan selama 60 menit. Setelah itu dicatat berapa volume lumpur yang terbentuk kemudian dianalisis padatan total (TS) beserta kadar air lumpur. Hasil percobaan jumlah, padatan total dan kadar air pada lumpur hasil koagulasi-flokulasi disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Jumlah Lumpur yang dihasilkan Masing-masing Koagulan.

Jenis Limbah	Koagulan	Volume (ml)		TS (mg/L)
		Total	Lumpur (diendapkan 60 menit)	
Prevail	Alum	518,5	180	24.940
	FeCl ₃	517,5	385	12.208
	PAC	502,5	435	8.200
Non-prevail	Alum	505	29	6.525
	FeCl ₃	500,9	36	3.392
	PAC	500,25	42	2.812

Pada Tabel 4.11, koagulan alum menghasilkan *total solid* (TS) terbesar dibandingkan koagulan FeCl₃ dan PAC yaitu sebesar 24.940 mg/L pada air limbah prevail dan 6.525 mg/L pada air limbah nonprevail. Nilai TS terkecil dihasilkan oleh koagulan PAC. Selanjutnya dihitung massa lumpur yang dihasilkan masing-masing koagulan dengan persamaan 4.2.

Massa solid = volume lumpur (L) x TS (mg/L).....4.2

Hasil perhitungan massa lumpur disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Massa Solid yang dihasilkan Masing-masing Koagulan.

Jenis Limbah	Koagulan	Produksi lumpur per 500 ml air limbah (mg)	Solid yang dihasilkan per 1 m ³ air limbah (kg)
Prevail	Alum	4.489,20	8,978
	FeCl ₃	4.700,08	9,400
	PAC	3.567,00	7,134
Nonprevail	Alum	189,23	0,378
	FeCl ₃	122,11	0,244
	PAC	118,10	0,236

Berdasarkan Tabel 4.12, koagulan yang menghasilkan paling sedikit lumpur adalah PAC, baik untuk air limbah prevail maupun nonprevail. Menurut Kristijarti (2013), Koagulan PAC hanya menghasilkan sedikit lumpur lebih sedikit dan juga meninggalkan lebih sedikit residu aluminium pada air yang diolah. Pada air limbah prevail, massa lumpur yang dihasilkan dari proses koagulasi-flokulasi dengan koagulan PAC yaitu sebanyak 7,134 kg /1 m³ air limbah sedangkan nonprevail 0,236 kg/1 m³ air limbah. Jumlah

lumpur yang dihasilkan dari proses koagulasi-flokulasi mempengaruhi kebutuhan biaya pengolahan lumpur. Lumpur yang dihasilkan oleh IPAL tercatat sebagai limbah B3 yang memerlukan pengolahan khusus. Biasanya, perusahaan lebih memilih untuk menyerahkan limbah tersebut ke pihak ketiga (Perusahaan pengolah limbah B3 yang berizin) dengan membayar daripada mengolah sendiri.

4.3.2 Percobaan Aerasi Terhadap Kualitas Air Limbah

Sebelum dilakukan percobaan aerasi, air limbah baik prevail maupun nonprevail dilakukan proses koagulasi-flokulasi terlebih dahulu menggunakan jenis koagulan dan dosis optimum hasil penelitian sebelumnya. Hasil analisis parameter air limbah awal dan setelah proses koagulasi-flokulasi disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.13 Karakteristik Awal Air Limbah Sebelum dan Sesudah Koagulasi-flokulasi

Parameter	Satuan	Prevail		Nonprevail	
		Awal	Setelah koa-flo	Awal	Setelah koa-flo
BOD	mg/L	1.629	240,7	30,1	6,2
COD	mg/L	10.900	2.350	256	59
Kekeruhan	NTU	1.203	24,2	14,9	1,03
pH	-	7,8	6,3	8,46	7,77

Berdasarkan Tabel 4.13, pada mulanya air limbah prevail dan nonprevail memiliki rasio BOD/COD sebesar 0,149 dan 0,117. Setelah dikoagulasi-flokulasi dengan metode *jar test*, rasio BOD/COD kedua limbah tersebut turun menjadi 0,102 dan 0,105. Turunnya rasio BOD/COD setelah proses koagulasi-flokulasi dapat diartikan bahwa air limbah semakin toksik. Hal itu disebabkan oleh senyawa organik *biodegradable* dapat mudah berikatan dengan koagulan sehingga dapat tersisihkan dengan proses koagulasi-flokulasi. Sedangkan senyawa organik *nonbiodegradable* jumlahnya masih tersisa banyak dan perlu diolah lebih lanjut.

Nilai rasio BOD/COD setelah proses koagulasi-flokulasi masih relatif rendah untuk pengolahan biologis. Menurut Mangkoediharjo (2010), proses biologis dapat dilakukan pada rentang rasio BOD/COD 0,2-0,5. Nilai rasio BOD/COD yang

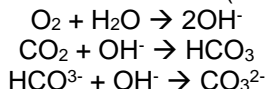
rendah menunjukkan air limbah sukar didegradasi oleh mikroba dan bersifat toksik. Setelah dilakukan percobaan aerasi, parameter air limbah cenderung mengalami kenaikan. Hasil percobaan aerasi disajikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil Percobaan Aerasi

Para meter	Prevail				Nonprevail			
	setelah koa-flo	24 jam	36 jam	48 jam	setelah koa-flo	24 jam	36 jam	48 jam
COD	2.350	2.200	2.620	2.640	59	64	60	68
Keke ruhan	24,2	25,4	32	46,6	1,03	1,1	1,27	1,3
pH	6,3	6,94	6,67	6,99	7,77	8,65	8,7	8,71

Berdasarkan Tabel 4.14, nilai COD untuk air limbah prevail dan nonprevail relatif mengalami kenaikan. Kenaikan nilai COD dapat dipengaruhi oleh proses degradasi senyawa organik yang terdapat didalam air limbah. Menurut Hermanus (2015), degradasi bahan organik (dalam percobaannya adalah minyak) akan berjalan terus menerus hingga rantai hidrokarbon jenuh pada minyak habis teroksidasi. Proses tersebut yang menyebabkan kenaikan nilai COD akibat banyaknya oksigen yang diperlukan dalam reaksi oksidasi tersebut. Dalam percobaan aerasi air limbah prevail dan nonprevail yang merupakan air limbah hasil perendaman kayu, senyawa organik yang terdapat didalamnya mungkin saja ada yang teroksidasi sehingga meningkatkan kebutuhan oksigen yang terukur dalam parameter COD.

Parameter pH cenderung mengalami kenaikan. Kenaikan pH disebabkan oleh suplai udara yang semakin besar berkaitan dengan perubahan senyawa yang bersifat asam yang ada dalam limbah cair yang diproses menjadi senyawa yang lebih basa seperti yang digambarkan oleh Achmad (2004) sebagai berikut :



Tingkat kekeruhan relatif mengalami peningkatan. Hal tersebut disebabkan oleh teroksidasinya senyawa organik akibat aerasi sehingga dapat meningkatkan kekeruhan. Beberapa logam seperti besi dan mangan mudah teroksidasi dengan proses aerasi

sehingga membentuk presipitat yang dapat meningkatkan nilai kekeruhan.

Berdasarkan percobaan diatas, air limbah tidak cocok diolah dengan metode aerasi. Hal tersebut disebabkan oleh karakteristik air limbah yang memiliki rasio BOD/COD < 0,2 dan bersifat toksik terhadap mikroorganisme. Pengolahan yang cocok untuk karakteristik air limbah tersebut yaitu secara fisik-kimiawi.

4.4 Evaluasi IPAL Eksisting

Evaluasi IPAL eksisting dilakukan terhadap aspek teknis dan operasional. Sebelumnya, dilakukan perbandingan efisiensi penurunan parameter air limbah pada IPAL eksisting dengan kriteria desain dari tiap unit. Jika perbandingan efisiensi penurunan parameter air limbah terjadi kesenjangan yang terlampau jauh, maka diberikan beberapa rekomendasi untuk tiap unit IPAL agar dapat meningkatkan kualitas air limbah yang diolah. Kriteria efisiensi penurunan parameter air limbah unit eksisting disajikan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Kriteria Efisiensi Penurunan Parameter Air Limbah Unit IPAL Eksisting

No	Parameter	% Penurunan Parameter Air Limbah			
		<i>Lamella separator</i> (a)	Kolam koagulasi-flokulasi (b)	<i>Carbon filter</i>	Ozon
1	BOD	20	80	92,30 ^c	97 ^g
2	COD	25	76	98,74 ^c	90,5 ^h
3	TSS	50	90	97,86 ^d	97,2 ^h
4	Amonia (N-NH ₃)	-	-	60,82 ^e	97 ^g
5	Fenol	-	-	97,55 ^f	96 ^g

Sumber :

- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| a. McKean, 2011 | e. Syafalni <i>et al.</i> , 2012 |
| b. Irfan <i>et al.</i> , 2017 | f. Angraini <i>et al.</i> , 2015 |
| c. Rochma dan Titah, 2017 | g. Estikarini <i>et al.</i> , 2016 |
| d. Chundari <i>et al.</i> , 2016 | h. Prayitno <i>et al.</i> , 2017 |

Berdasarkan rentang kriteria desain, dihitung efisiensi maksimal jika IPAL dioperasikan dengan benar. Perhitungan efisiensi penurunan air limbah eksisting dan berdasarkan kriteria desain disajikan pada Tabel 4.16. dan Tabel 2.17.

Berdasarkan Tabel 4.17, efisiensi penurunan parameter air limbah unit bangunan IPAL sesuai teori mampu mengolah air limbah sehingga memenuhi baku mutu. Namun pada kondisi eksisting, efisiensi penurunan parameter air limbah di beberapa unit bangunan masih jauh dari teori. Alhasil, kualitas air limbah yang dihasilkan tidak memenuhi baku mutu. Parameter yang tidak memenuhi baku mutu yaitu BOD dan COD.

4.4.1 Operasional IPAL Eksisting

Operasi IPAL eksisting dilakukan oleh 2 operator IPAL dan 1 staf bagian Lingkungan dan K3 (LK3). Operator IPAL bertanggung jawab terhadap operasi IPAL secara teknis, seperti pencampuran reagen kimia, membongkar lumpur pada *filter press* secara manual, menyalakan dan mematikan pompa maupun kompressor, serta bertanggung jawab terhadap kebersihan IPAL. Staf bagian LK3 bertanggung jawab dalam monitoring kualitas effluen IPAL dan turut serta membantu operator dalam pencampuran reagen kimia, seperti pengecekan pH dan penentuan berapa reagen kimia yang perlu ditambahkan dalam pengolahan. Sistem pencampuran reagen kimia dalam kolam koagulasi-flokulasi dilakukan secara manual, yaitu dengan menuang reagen kimia dari jurigen ke kolam. Hal tersebut dikarenakan IPAL tidak memiliki bak pembubuh koagulan. Sistem IPAL industri pengolahan kayu di Jombang menggunakan beberapa peralatan seperti pompa dan kompressor (untuk suplai udara). Berdasarkan hasil wawancara dengan supervisor bagian LK3, terdapat perbedaan operasi IPAL saat awal dibangun (pada tahun 2012) dengan sekarang.

a. IPAL eksisting awal

IPAL eksisting saat desain awal, memiliki generator ozon yang berfungsi sebagai oksidator bahan kimia dan desinfeksi. Namun, alat tersebut telah rusak beberapa tahun setelah IPAL beroperasi. Posisi generator ozon terletak setelah *carbon filter*. Sehingga setelah disaring oleh filter karbon, air limbah diozonisasi agar bahan kimia yang masih tersisa dapat dioksidasi dan mikroba patogen yang terdapat didalam air limbah mati.

Tabel 4.16 Kualitas Air Limbah Per-unit Bangunan Sesuai Kondisi Eksisting

Parameter	Konsentrasi awal (mg/L)	Baku mutu (mg/L)	Konsentrasi Air Limbah di Unit-unit Pengolahan (mg/L)												Keterangan
			Lamella separator		Koagulasi-flokulasi		Filter press		Carbon filter		Kolam penampungan (resirkulasi)		Tandon akhir (ozon)		
			%R	Outlet	%R	Outlet	%R	Outlet	%R	Outlet	%R	Outlet	%R	Outlet	
BOD	6.560	75	-16	7.601	31	5.221	-6	5.551	77	1.268	68	403	16	339	Tidak memenuhi
COD	15.000	125	-5	15.700	39	9.590	-12	10.700	65	3.740	60	1.500	44	839	Tidak memenuhi
TSS	396	50	19	320	65	112	-41	158	34	104	23	80	53	38	Memenuhi
Amonia (N-NH₃)	6,41	4	0	6,412	0	6,412	0	6,412	63	2,377	40	1,435	3	1,391	Memenuhi
Fenol	0,13	0	0	0,1335	0	0,1335	0	0,1335	-9	0,1451	97	0,0048	100	0	Memenuhi

Tabel 4.17 Kualitas Air Limbah Perunit Bangunan Sesuai Kriteria Desain

Parameter	Konsentrasi awal (g/L)	Baku mutu (mg/L)	Unit Pengolahan										Keterangan
			Lamella separator		Koagulasi-flokulasi		Filter press		Carbon filter		Ozon		
			%R	Outlet	%R	Outlet	%R	Outlet	%R	Outlet	%R	Outlet	
BOD	6560	75	20	5248	80,0	1049,60	0	1049,60	92,3	80,82	97,0	2,42	Memenuhi
COD	15000	125	25	11250	76,0	2700	0	2700	98,7	34,02	90,5	3,23	Memenuhi
TSS	396	50	50	198	90,0	19,80	0	19,80	97,9	0,42	97,2	0,01	Memenuhi
Amonia (N-NH₃)	6,412	4	0	6,41	0,0	6,41	0	6,41	60,8	2,51	97,0	0,08	Memenuhi
Fenol	0,134	0	0	0,13	0,0	0,13	0	0,13	97,6	0,00	96,0	0,00	Memenuhi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

b. IPAL eksisting saat ini

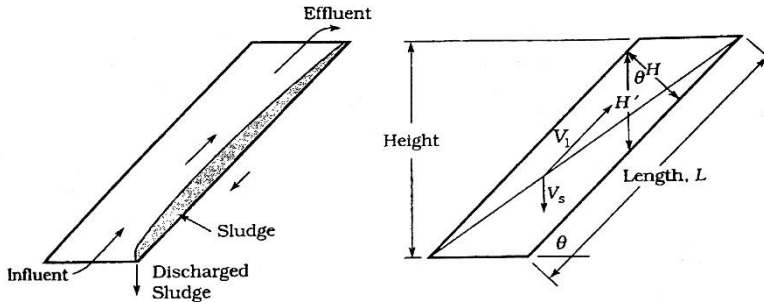
Selama operasi IPAL hingga saat ini, terjadi beberapa perubahan dikarenakan menyesuaikan kondisi lapangan. Saat ini, air limbah yang telah melewati filter karbon diresirkulasi kembali menuju kolam aerasi (kolam 3) selama minimum 2 jam. Namun, resirkulasi dapat dilakukan seharian penuh jika hasil olahan masih berbau menyengat dan berwarna pekat. Setelah hasil olahan air limbah dirasa cukup baik, maka resirkulasi dihentikan dan air limbah dipompa ke tandon akhir. Pengoalahan di dalam tandon akhir adalah ozonisasi sebelum nantinya dibuang ke badan air.

4.4.2 Kolam Penampungan (Kolam 1)

Kolam penampungan (kolam 1) adalah unit IPAL yang pertama yang berfungsi menampung air limbah Kolam Masak Kayu (KMK) sebelum diolah. Air limbah yang berasal dari KMK dipompa ke bak kontrol, selanjutnya dari bak kontrol dipompa ke kolam 1. Kolam 1 berbentuk *circular* dengan diameter 2,25 m dan kedalaman total 2,65 m (*freeboard* 0,2 m). Bangunan kolam 1 berbentuk seperti sumur yang mana bagian paling atas berada 0,5 m diatas permukaan tanah. Kapasitas kolam 1 mampu menampung air limbah sebanyak 10,17 m³. Kolam 1 ini memiliki fungsi hampir sama dengan bak ekualisasi, namun karena pengolahan air limbah dilakukan secara *batch*, maka kolam ini hanya berfungsi sebagai penampung sementara. Dalam satu kali pengolahan, biasanya air limbah yang diolah sebanyak 4-6 m³. Sehingga kolam 1 mampu menampung air limbah untuk 2 kali operasi IPAL. Secara desain bangunan, kolam 1 masih sesuai dengan kapasitas yang dibutuhkan.

4.4.3 Lamella Separator

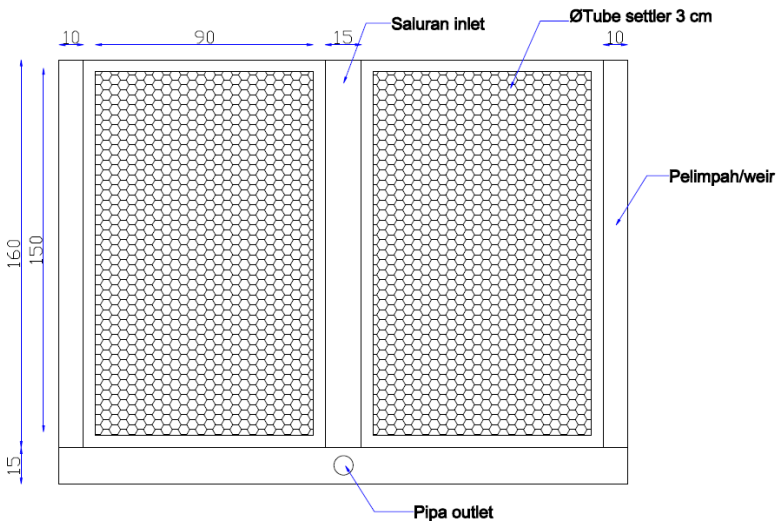
Lamella separator merupakan salah satu teknologi pengolahan air limbah secara fisik yaitu dengan cara pengendapan. *Lamella separator* berfungsi untuk memisahkan padatan dan partikel diskrit yang terdapat dalam air limbah. Pada *lamella separator*, terdapat dua aliran air limbah yaitu berlawanan arah (*counter current*) dan searah (*co current*). Gambar ilustrasi pengendapan lumpur pada *plate/tube settler* dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Skema Aliran Air Limbah Pada Lamella/Tube Settler
 Sumber : Renold dan Richard (1996)

Keterangan gambar :

- V_s = kecepatan pengendapan partikel (m/det)
- V_1 = kecepatan pada *tube settler* (m/det)
- L = panjang *tube settler* (m)
- H' = kedalaman tegak lurus pada *tube settler* (m)
- θH = jarak/diameter *tube settler* (m)
- θ = sudut kemiringan tube settler ($^\circ$)



Gambar 4.14 Tampak Atas Unit Lamella Separator

Kriteria unit *lamella separator* eksisting dan kriteria desainnya disajikan pada Tabel 4.18. dan Tabel 4.19.

Tabel 4.18 Kriteria Unit Eksisting *Lamella Separator*

Parameter	Satuan	Unit
Sistem	-	<i>Counter-current</i>
Sudut kemiringan (θ)	°	70
Dimensi unit (p x l x h)	m	(2 x 2 x 4)
Panjang <i>tube settler lamella</i> (P)	m	1,5
Lebar permukaan <i>tube settler</i>	m	0,9
Kedalaman <i>tube settler</i> (h)	m	0,75
Jumlah <i>tube settler</i>	-	2
Diameter <i>tube settler</i> (w)	m	0,03

Persyaratan desain yang harus dipenuhi agar *lamella separator* dapat bekerja dengan baik adalah sebagai berikut :

1. Kondisi aliran laminar. Partikel atau flok hanya dapat mengendap pada aliran laminar, oleh karena itu perlu dilakukan pengaturan kecepatan aliran agar tidak menyebabkan turbulensi.
2. Waktu tinggal (HRT) harus cukup untuk partikel agar dapat melewati jarak vertikal diantara plat/*tube settler lamella*.
3. Debit dan kecepatan aliran diantara plat/*tube settler lamella* tidak melebihi batas maksimum karena dapat menyebabkan *scouring* pada lumpur.

Setelah diketahui desain eksisting dan kriteria desainnya, langkah selanjutnya yaitu melakukan evaluasi dengan membandingkan antara keduanya. Berikut ini adalah perhitungan evaluasi unit *lamella separator*.

Diketahui :

- Volume air limbah yang diolah = 4 m³
- Debit pompa = 145 L/menit
- Efisiensi pompa = 80%
- Debit pompa keluar = 145 L/menit x 80%
= 116 L/menit
= 1,93 x 10⁻³ m³/det
- Diameter partikel terkecil = 0,2 mm (0,2 x 10⁻³ m)

- Suhu (T) = 30°C
- Viskositas absolut (μ) = 0,8004 x 10⁻³ N.det/m²
- Viskositas kinematis (ν) = 0,8038 x 10⁻⁶ m²/det
- ρ = 995,68 kg/m³
- Specific gravity = 2,5

Langkah selanjutnya yaitu menghitung bilangan reynold (NRe) dan kecepatan pengendapan partikel terkecil. Diasumsikan aliran laminar.

- $V_s = \frac{g}{18 \nu} (Sg - 1) d^2$ (laminar)

$$V_s = \frac{9,81 \text{ m/det}^2}{18 (0,8038 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det})} (2,5 - 1) 0,0002^2$$

$$= 0,0041 \text{ m/detik}$$

$$= 0,248 \text{ m/menit}$$

- Cek NRe

$$NRe = \frac{\rho \cdot d \cdot v_s}{\mu}$$

$$= \frac{995,68 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,0002 \text{ m} \times 0,0041 \text{ m/det}}{0,8004 \times 10^{-3} \text{ N.det/m}^2}$$

$$= 1 \text{ (laminar)}$$

Karena aliran sudah laminar, maka tidak perlu iterasi. Diperoleh nilai $v_s = 0,0041 \text{ m/detik}$ dan NRe 1.

Selanjutnya menghitung kecepatan pada *tube settler*.

$$V_1 = \frac{L}{H'} \times v_s$$

Dimana:

V_1 = kecepatan pada *tube settler* (m/menit)

L = panjang *tube settler* (m)

H' = kedalaman tegak lurus pada *tube settler* (m)

v_s = kecepatan pengendapan (m/det)

L = panjang *tube settler* (m)

Menghitung panjang *tube settler* :

$$L = \frac{H}{\cos \theta}$$

$$= \frac{0,75 \text{ m}}{\cos 70}$$

$$= 2,19 \text{ m}$$

Menghitung kedalaman tegak lurus pada *tube settler* :

$$\begin{aligned} H' &= \frac{w}{\sin \theta} \\ &= \frac{0,03 \text{ m}}{\sin 70} \\ &= 0,032 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{L}{H'} \times v_s \\ &= \frac{2,19 \text{ m}}{0,032 \text{ m}} \times 0,0041 \text{ m/detik} \\ &= 0,281 \text{ m/det} \\ &= 16,86 \text{ m/menit} \end{aligned}$$

(tidak memenuhi kriteria, $V_1 > 0,15 \text{ m/menit}$)

Selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan pengendapan flok.

$$S_o = \frac{Q}{A} \times \frac{w}{h \cos \alpha + w \cos^2 \alpha}$$

Dimana :

S_o = kecepatan pengendapan flok (m³/m².hari)

Q = debit air limbah (m³/det)

A = luas permukaan bak yang dicover oleh *tube settler* (m²)

w = diameter *tube settler* (m)

h = kedalaman *tube settler* (m)

Maka :

$$\begin{aligned} S_o &= \frac{1,93 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}}{2,7 \text{ m}^2} \times \frac{0,03 \text{ m}}{0,75 \text{ m} \cos(70) + 0,03 \text{ m} \cos^2(70)} \\ &= 8,25 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{det} \\ &= 7,128 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{hari} \end{aligned}$$

(tidak memenuhi kriteria, $S_o < 60-150 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{hari}$)

Jika kecepatan pengendapan flok terlalu kecil, maka flok sukar mengendap dan cenderung terbawa oleh aliran air. Selanjutnya menghitung waktu tinggal hidrolik (HRT).

$$\text{HRT} = \frac{A \times h}{Q}$$

$$= \frac{2,7 \text{ m}^2 \times 0,75 \text{ m}}{0,226 \text{ m}^3/\text{menit}}$$

$$= 8,96 \text{ menit}$$

(tidak memenuhi kriteria, HRT < 15-25 menit)

Tabel perbandingan antara desain eksisting *lamella separator* dengan kriteria desain disajikan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Tabel Perbandingan Antara Desain Eksisting *Lamella Separator* Dengan Kriteria Desain

Parameter	Satuan	Kondisi eksisting	Kriteria desain	Keterangan
V tube settler (V_i)	m/menit	16,86	<0,15	tidak memenuhi
Sudut kemiringan tube settler (θ)	°	70	45-60	tidak memenuhi
Kecepatan pengendapan flok (So)	m ³ /m ² .hari	7,128	60-150	tidak memenuhi
HRT	menit	8,96	15-25	tidak memenuhi

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa unit eksisting *lamella separator*, secara desain tidak sesuai karena tidak memenuhi kriteria desain. Namun, karena fungsi unit *lamella separator* ini digunakan sebagai pengendapan pertama (partikel diskrit), sehingga tidak menjadi masalah apabila tidak sesuai dengan kriteria. Hal tersebut dikarenakan partikel diskrit akan mengendap dengan sendirinya secara gravitasi. Partikel diskrit yang terdapat dalam air limbah berupa serbuk potongan kayu, pasir, dan batuan kecil yang mungkin saja ikut terbawa saat pemompaan.

Kondisi eksisting *lamella separator* kurang terawat dan lumpur tidak dikuras secara rutin. Perawatan *lamella separator* sangat penting dilakukan untuk menjaga keefektifan *tube settler* dalam mengendapkan partikel diskrit. Perawatan unit *lamella separator* dilakukan dengan pengurasan lumpur secara rutin untuk mencegah terbawanya lumpur ke air limbah saat operasi.

4.4.4 Kolam Koagulasi-flokulasi (kolam 2)

Kolam koagulasi-flokulasi pada IPAL eksisting berbentuk *circular* dengan diameter kolam 2,25 m dan kedalaman 2,64 m (termasuk *freeboard* 0,2 m). Kapasitas kolam ini mampu menampung 9,7 m³ air limbah. Kolam ini digunakan sebagai pengolahan kimiawi air limbah dengan menambahkan 4 jenis reagen kimia. Koagulasi adalah proses pencampuran antara air yang akan diolah dengan penambahan zat kimia atau koagulan untuk mengikat polutan menggunakan bantuan pengadukan. Reagen kimia yang ditambahkan adalah reagen khusus yang berasal dari kontraktor pemborong IPAL. Sehingga tidak diketahui jenisnya dan hanya dapat dibeli di kontraktor tersebut. Reagen kimia yang ditambahkan ada 4 jenis, antara lain :

1. Probin reagen AF₄

Probin reagen AF₄ adalah bahan kimia yang diformulasikan sebagai larutan penyangga dan stabilator air limbah. Kegunaan AF₄ ini adalah sebagai stabilisator pH dan *pretreatment* endapan kimia. Karakteristik fisik probin reagen AF₄ adalah berwarna bening, sedikit pekat dan tidak berbau. AF₄ ini ditambahkan hingga pH air limbah mencapai ≤ 2 .

2. Probin reagen AF₅

Probin reagen AF₅ adalah bahan kimia polimer yang diformulasikan untuk memisahkan muatan ionik pada air limbah supaya terbentuk endapan. Kegunaan probin reagen AF₅ ini sebagai pembentuk endapan dan stabilator endapan. Karakteristik fisik AF₅ adalah berwarna putih susu, sangat pekat (berbentuk seperti lumpur), dan tidak berbau. Reagen AF₅ ini ditambahkan hingga air limbah mulai terbentuk flok/endapan. Jumlah yang ditambahkan disesuaikan dengan hasil percobaan *jar test*.

3. Probin reagen AF₂

Probin reagen AF₂ adalah bahan kimia yang bersifat alkali yang diformulasikan untuk menetralkan air limbah. Karakteristik fisik Probin reagen AF₂ adalah berwarna bening kehijauan, pekat, dan tidak berbau. Reagen AF₂ ini ditambahkan hingga pH air limbah mencapai ± 7 .

4. Probin reagen AF₃

Probin reagen AF₃ adalah bahan kimia yang mengandung flokulan yang diformulasikan untuk mengelompokkan logam-

logam berat yang terdapat pada air limbah. Fungsi reagen AF₃ ini hampir sama dengan reagen AF₅, yaitu untuk membentuk dan menstabilkan endapan. Namun, apabila ditambahkan Probin reagen AF₃ ini, lumpur yang terbentuk dalam air limbah semakin besar. Karakteristik fisik probin reagen AF₃ adalah keruh, sangat pekat, dan tidak berbau.

Berdasarkan hasil percobaan *jar test* oleh pihak perusahaan menggunakan limbah prevail, diperoleh kebutuhan reagen serta biaya yang dikeluarkan untuk pembelian reagen kimia disajikan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Biaya Koagulan Eksisting

Jenis Reagen	Kebutuhan reagen (jurigen)		Biaya/jurigen (Rp)	Total biaya
	mengolah 3 m ³	mengolah 24 m ³		
AF ₄	2,2	17,6	Rp 750.000	Rp 13.200.000
AF ₅	5,5	44	Rp 600.000	Rp 26.400.000
AF ₂	2,2	17,6	Rp 600.000	Rp 10.560.000
AF ₃	1	8	Rp 600.000	Rp 4.800.000
Total biaya per 24 m3 air limbah prevail				Rp 54.960.000

Biaya yang diperlukan untuk pembelian koagulan eksisting sangat tinggi yaitu Rp 54.960.000 / 24 m³ air limbah prevail. Pengeluaran biaya tersebut tidak sebanding dengan hasil kualitas air limbah hasil koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan eksisting. Secara eksisting, efisiensi penurunan parameter air limbah dengan koagulan eksisting hanya mampu menurunkan parameter BOD, COD dan TSS sebanyak 31%, 39% dan 65%. Berdasarkan data internal perusahaan, kebutuhan reagen kimia yang digunakan untuk mengolah air limbah selama tahun 2018 disajikan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Kebutuhan Reagen Kimia Untuk Mengolah Air Limbah Tahun 2018

Bulan	Volume limbah (m ³)	Kebutuhan Reagen (L)			
		AF ₄	AF ₅	AF ₂	AF ₃
Januari	11	105	412,5	60	85
Februari	7	135	345	120	70
Maret	14	120	450	150	45
April*	3	60	112,5	60	30

Bulan	Volume limbah (m ³)	Kebutuhan Reagen (L)			
		AF ₄	AF ₅	AF ₂	AF ₃
Mei*	11	150	260	150	75
Juni*	14,4	112,5	322,5	135	75
Juli	11,1	165	390	150	90
Agustus	12	150	367,5	195	90
September*	10,8	112,5	240	97,5	60
Oktober	5,6	150	375	142,5	60
November	12	170	435	180	60
Desember	5	75	187,5	90	30

Keterangan (*) = Air limbah nonprevail

Berdasarkan Tabel 4.22, rasio penambahan antara AF₄, AF₅, AF₂ dan AF₃ tidak semuanya sesuai dengan percobaan *jar test* yang telah dilakukan sebelumnya. Hal tersebut dipengaruhi oleh karakteristik air limbah yang diolah dan kondisi di lapangan.

Berdasarkan penelitian pendahuluan, diperoleh jenis koagulan yang paling baik untuk mengolah air limbah industri pengolahan kayu di Jombang adalah koagulan *polyaluminium chloride* (PAC). Untuk air limbah prevail, dosis PAC yang dibutuhkan adalah 500 mg/L dan mampu menurunkan parameter kekeruhan, COD, dan TSS berturut-turut 98,71%, 52,63% dan 97,14%. Sedangkan untuk air limbah nonprevail dengan dosis 50 mg/L mampu menurunkan parameter kekeruhan dan COD sebesar 97,41% dan 85,37%. Koagulan PAC memiliki efisiensi penurunan parameter air limbah lebih tinggi dibandingkan koagulan eksisting. Selain itu, biaya yang diperlukan untuk pembelian PAC jauh lebih murah yaitu sebesar Rp 816.000/ 24 m³ air limbah prevail.

Proses koagulasi-flokulasi pasti akan menghasilkan produk sampingan berupa lumpur. Lumpur hasil proses koagulasi-flokulasi termasuk dalam jenis limbah B3 dan memerlukan biaya untuk diserahkan ke pihak ketiga. Lumpur yang dihasilkan dari proses koagulasi-flokulasi dan telah disaring di *filter press* disajikan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Jumlah Lumpur Yang Dihasilkan IPAL Pada Tahun 2018

No	Bulan	Debit yang diolah (m ³)	Lumpur (Kg)
1	Januari	11	2.484
2	Februari	7	6.026,5
3	Maret	14	2.300
4	April*	3	1.012
5	Mei*	11	2.324
6	Juni*	14,4	1.590,5
7	Juli	11,1	1.735,5
8	Agustus	12	1.520
9	September*	10,8	975
10	Oktober	5,6	1.720
11	November	12	1.802,5
12	Desember	5	847,5

Keterangan (*) = Air limbah nonprevail

Jumlah lumpur yang dihasilkan masih mengandung kadar air 70-85%. Jumlah lumpur yang dihasilkan berbanding lurus dengan volume limbah yang diolah dan kebutuhan reagen kimia yang ditambahkan.

Sistem pengadukan di kolam koagulasi-flokulasi eksisting menggunakan pengadukan pneumatis yaitu dengan suplai udara yang berasal dari kompresor. Pengadukan dilakukan selama 1-2 jam. Spesifikasi kompresor yang digunakan disajikan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Spesifikasi Kompresor

Merk	Lakoni Fresco 130
HP	1,0 HP - 750 W
Voltase/Hz	180 - 220 V / 50 Hz
Tekanan maks	3 bar (115 Psi)
Tangki	30 L

Rumus pengadukan pneumatis :

$$P = 3.904.Ga.log\left(\frac{h+10,4}{10,4}\right)$$

Dimana:

P = daya (N.m/detik ; Watt)

Ga = debit udara yang terinjeksi (m³/menit)

H = kedalaman diffuser (m)

Rumus daya :

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Dimana:

G = gradien kecepatan pengadukan (per detik)

μ = viskositas absolut (N.det/m²)

V = volume air limbah (m³)

Diketahui :

Suhu = 30°C

Viskositas kinematis (ν) = 0,8039 x 10⁻⁶ m²/detik

Viskositas absolut (μ) = 0,8004 x 10⁻³ N.det/m²

ρ air limbah = 995,68 kg/m³

Kedalaman bak eksisting (h) = 2,44 m + 0,2 m (freeboard)

= 2,64 m

Diameter bak eksisting (D) = 2,25 m

Kedalaman *diffuser* = 0,10 m dari dasar bak

P kompresor = 750 watt

Efisiensi kompresor = 80%

P kompresor di lapangan = 750 watt x 80%

= 600 watt

Volume air limbah yang diolah = 4 m³

Perhitungan:

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

$$= \sqrt{\frac{600 \text{ N.m/detik}}{0,8004 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \frac{\text{det}}{\text{m}^2} \times 4 \text{ m}^3}}$$

$$= 432,9 / \text{detik}$$

Mencari kedalaman diffuser terhadap permukaan air :

$$V = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \times h$$

$$h \text{ air} = \frac{4 \text{ m}^3}{0,25 \times 3,14 \times (2,25\text{m})^2}$$

$$h \text{ air} = 1,006 \text{ m}$$

$$h \text{ diffuser} = h \text{ air} - h \text{ diffuser dari dasar bak}$$

$$= 1,006 \text{ m} - 0,1 \text{ m}$$

$$= 0,906 \text{ m}$$

$$P = 3.904 \cdot G_a \cdot \log \left(\frac{h+10,4}{10,4} \right)$$

$$600 = 3.904 \cdot G_a \cdot \log \left(\frac{0,906 m + 10,4}{10,4} \right)$$

$$G_a = \frac{600}{141,62}$$

$$= 4,236 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$= 423,6 \text{ L}/\text{menit}$$

Durasi pengadukan cepat direncanakan 5 menit, maka :

$$G_{td} = G \times t_d$$

$$= 423,9 / \text{detik} \times 5 \times 60 \text{ detik}$$

$$= 129.870$$

Berdasarkan pengamatan lapangan, waktu detensi di kolam koagulasi-flokulasi adalah 1-2 jam. Hal yang membuat lama adalah pencampuran reagen kimia dilakukan secara manual oleh petugas/operator. Oleh karena itu, diperlukan bak pembubuh koagulan agar memudahkan operasi dan durasi pengadukan dapat dikontrol.

Sesuai dengan perhitungan gradien kecepatan pengadukan pneumatis, pengadukan di kolam koagulasi-flokulasi eksisting telah memenuhi kriteria desain. Kriteria desain pengadukan pneumatic 200/detik - 8.200/det (Metcalf dan Eddy, 2014).

4.4.5 Filter Press

Air limbah setelah melewati proses koagulasi-flokulasi langsung dipompa ke *filter press*. Fungsi dari *filter press* ini adalah untuk memisahkan antara lumpur/endapan hasil koagulasi-flokulasi dengan cairan air limbah. Dalam *filter press* maka pelepasan air akan dicapai dengan memaksa air keluar dari lumpur dalam kondisi tekanan tinggi. Keuntungannya adalah padatan *cake* yang berkonsentrasi tinggi, menghasilkan filtrat yang baik, dan penangkapan *solid* tinggi. Kerugiannya adalah kompleksitas mekanis dan keterbatasan umur selimut filter (Devia, 2009). Spesifikasi *filter press* pada IPAL eksisting disajikan pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Spesifikasi *Filter Press* IPAL Eksisting

Parameter	Kondisi eksisting
Jumlah plate	10
Kapasitas	1 m ³ /shift
Sistem	Tekanan horizontal hidraulik manual

Parameter	Kondisi eksisting
Dimensi	(200 x 100 x 100) cm
Material rangka	<i>Mild steel</i>
Bahan plat	Nylon 48 x 48 cm
Tekanan	7-15 bar
Kadar air pada <i>cake</i>	70-80%
Waktu sekali operasi	4 jam/ <i>shift</i>

Setelah diperoleh data spesifikasi *filter press* eksisting, selanjutnya dibandingkan dengan kriteria desain yang mengacu pada Metcalf dan Eddy (2014). Tabel perbandingan spesifikasi *filter press* eksisting dengan kriteria desain disajikan pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Perbandingan Kondisi Eksisting *Filter Press* Dengan Kriteria Desain.

Parameter	Kondisi eksisting	Kriteria desain	Keterangan
Tekanan (KPa)	7-15 bar (700-1.500 KPa)	700 - 2.100	memenuhi
Kadar air pada <i>cake</i> (%)	70-85	45-70	sebagian memenuhi
Waktu sekali operasi (jam)	4	2-5	memenuhi

Berdasarkan Tabel 4.26, parameter tekanan dan waktu operasi sudah sesuai dengan kriteria desain. Namun, parameter kadar air pada *cake* terkadang masih diatas kriteria (>70%). Kondisi eksisting kadar air *cake* dapat mencapai 85%. Kadar air yang tinggi disebabkan oleh pemisahan *sludge* dengan cairan tidak berjalan maksimal. Salah satu cara untuk dapat meningkatkan kadar *solid* pada *cake* yaitu dengan meningkatkan tekanan namun harus dalam rentang kapasitas *filter press*.

Filter press eksisting memerlukan waktu operasi 4 jam/*shift* dengan kapasitas air limbah yang disaring sebanyak 1 m³. Otomatis, dalam 1 hari (8 jam kerja), maksimal hanya 2 m³ air limbah yang dapat difilter. Sedangkan kondisi eksisting, air limbah yang diolah dalam kolam koagulasi-flokulasi sebanyak 4 m³/operasi. Hal ini menyebabkan ada 2 m³ air limbah yang menetap di kolam koagulasi-flokulasi. Apabila setelah koagulasi-flokulasi air limbah diamankan dengan durasi waktu yang lama, maka akan berpengaruh pada karakteristik lumpur dan ikatan kimia

antara koagulan dan partikel limbah. Oleh karena itu, untuk mencegah tidak terolahnya air limbah setelah proses koagulasi-flokulasi, maka volume air limbah yang diolah setiap hari menyesuaikan dengan kapasitas *filter press*. Air limbah yang diolah untuk 1 kali operasi cukup $2 \text{ m}^3/\text{hari}$ sehingga tidak ada air limbah yang tersisa di kolam koagulasi-flokulasi.

Perawatan *filter press* harus dilakukan dengan penggantian *filter cloth* secara rutin tiap 6 bulan sekali. Hal ini dilakukan agar kualitas air limbah hasil filtrasi tetap baik karena tidak ada kebocoran *filter cloth*.

4.4.6 Kolam Aerasi (kolam 3)

Kolam aerasi (kolam 3) pada IPAL eksisting berbentuk *circular* dengan diameter kolam 2,25 m dan kedalaman 2,64 m (termasuk *freeboard* 0,2 m). Dimensi kolam 3 sama seperti dimensi kolam 2. Kapasitas kolam ini mampu menampung $9,7 \text{ m}^3$ air limbah. Secara desain awal, kolam 3 ini memiliki fungsi menampung air limbah yang telah disaring dengan *filter press* sebelum dipompa ke filter karbon. Terdapat *diffused aerator* dibagian bawah kolam untuk proses aerasi. Proses aerasi dilakukan untuk meningkatkan nilai *dissolved oxygen* (DO) supaya tidak terjadi proses anaerobik yang dapat menimbulkan bau. Menurut Rosiawari (2018), semakin banyak jumlah DO maka kualitas air semakin baik. Kadar DO terlalu rendah akan menimbulkan bau yang tidak sedap akibat degradasi anaerobik yang mungkin saja terjadi. Selain itu, aerasi juga dapat melepaskan kandungan gas-gas dalam air dan membantu pengadukan (Wiyono *et al.*, 2017).

Suplai udara dari *diffused aerator* berasal dari kompressor yang memiliki sambungan pipa ke kolam penampungan (kolam 1), kolam koagulasi-flokulasi (kolam 2) dan kolam aerasi (kolam 3). Dalam implementasinya, kolam aerasi ini dijadikan kolam penampung hasil resirkulasi dari *carbon filter*. Biasanya, resirkulasi dilakukan bersamaan dengan aerasi sehingga dapat mengurangi bau dan memperbaiki kualitas air limbah. Kolam 3 ini memang tidak difungsikan sebagai pengolahan biologis, mengingat air limbah yang diolah memiliki rentang rasio BOD/COD 0,1-0,3.

Air limbah hasil resirkulasi dari *carbon filter* dengan durasi 2-4 jam, dapat menurunkan parameter BOD, COD, amoniak dan fenol sebesar 68%, 60%, 40% dan 97%. Karena hanya berfungsi sebagai kolam penampung hasil resirkulasi, maka tidak ada kriteria desain khusus untuk bangunan ini.

4.4.7 Carbon Filter

Carbon filter yang digunakan pada IPAL eksisting termasuk jenis dual-media. Filter tersebut berisi campuran antara pasir silika dengan *granular activated carbon* (GAC). Rasio kedua media tersebut 1:1. Pasir silika berfungsi untuk menyaring polutan air limbah penyebab kekeruhan. Media GAC dalam *carbon filter* berfungsi untuk menghilangkan senyawa-senyawa organik dengan cara adsorpsi. Kombinasi kedua media tersebut dimaksudkan agar air limbah dapat terolah dengan baik. Berdasarkan hasil survey lapangan, unit *carbon filter* IPAL eksisting disajikan pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Unit *Carbon Filter* IPAL Eksisting

Kriteria	Nilai	Satuan
Kedalaman media total	2,2	m
Kedalaman pasir silika	1,1	m
Kedalaman media GAC (H)	1,1	m
Diameter (D)	0,32	m
Debit (Q)	4	m ³ /hari

Unit *carbon filter* eksisting tersebut akan evaluasi sesuai dengan kriteria desain. Kriteria desain GAC disajikan pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Kriteria Desain GAC

Parameter	Interval	Satuan
Void fraction (α)	0,38-0,42	m ³ /m ³
Densitas GAC (ρ)	350-550	kg/m ³
Kecepatan aliran bed (vf)	5-15	m/jam
Waktu kontak bed kosong (EBCT)	5-30	menit
Waktu kontak efektif (t)	2-10	menit
Waktu operasi (t)	100-600	hari

Sumber : Metcalf dan Eddy, 2014

Berdasarkan kriteria desain pada Tabel 4.28, maka desain unit *carbon filter* dapat dihitung sebagai berikut :

$$Q \text{ in} = 4 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Waktu operasi} = 2 \text{ jam/hari}$$

$$= 2 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Diameter bed (D)} = 0,32 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman bed (H)} = 1,1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bed (Vb)} &= \frac{\pi D^2 H}{4} \\ &= \frac{\pi (0,32)^2 1,1}{4} \\ &= 0,0884 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Empty-Bed Contact Time (EBCT)} &= \frac{Vb}{Q} \\ &= \frac{0,0884 \text{ m}^3}{2 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ &= 0,0442 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$= 2,65 \text{ menit (tidak memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan aliran bed (vf)} &= \frac{Q \times D}{Vb} \\ &= \frac{2 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 0,32 \text{ m}}{0,0884 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

$$= 7,24 \text{ m/jam (tidak memenuhi)}$$

$$\text{Void fraction } (\alpha) = 0,4 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu kontak efektif (t)} &= \frac{Vb \times \alpha}{Q} \\ &= \frac{0,0884 \text{ m}^3 \times 0,4 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}}{2 \text{ m}^3/\text{jam}} \end{aligned}$$

$$= 0,0177 \text{ jam}$$

$$= 1 \text{ menit (tidak memenuhi)}$$

Perhitungan hasil evaluasi unit *carbon filter* dapat disederhanakan dalam Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Hasil Evaluasi Unit *Carbon Filter*

Parameter	Satuan	Kondisi eksisting	Kriteria desain	Keterangan
Waktu kontak bed kosong (EBCT)	menit	2,65	5-30	Tidak memenuhi
Kecepatan aliran (vf)	m/jam	7,24	5-15	Memenuhi
Waktu kontak efektif (t)	menit	1	2-10	Tidak memenuhi

Berdasarkan Tabel 2.29, unit *carbon filter* eksisting untuk parameter EBCT dan waktu kontak efektif tidak memenuhi kriteria desain, namun angkanya mendekati rentang kriteria desain. Artinya, unit *carbon filter* eksisting masih dapat berfungsi dengan baik. Hanya saja, diperlukan sistem operasi yang baik dan pemeliharaan yang rutin.

Berdasarkan hasil sampling air limbah di masing-masing unit IPAL (Tabel 4.16), *carbon filter* mampu menurunkan parameter BOD, COD, dan amoniak sebesar 77%, 65%, dan 63%. Efisiensi removal ini masih relatif rendah jika dibandingkan dengan penelitian dari Rochma dan Titah (2017) dimana *carbon filter* dapat menurunkan parameter BOD dan COD sebesar 92,3 % dan 98,74%. Sedangkan penelitian Syalfani (2012), filter karbon aktif mampu menurunkan amoniak sebesar 60,82%. Efisiensi penurunan parameter air limbah dipengaruhi oleh kapasitas adsorpsi media GAC. Apabila media GAC telah jenuh, maka perlu diregenerasi untuk menghilangkan senyawa polutan/adsorbat yang menempel pada pori media. Salah satu cara untuk memperpanjang umur karbon aktif adalah dengan menurunkan beban polutan sebelum masuk ke *carbon filter*. Oleh karena itu, perlu ditambahkan unit filter pasir untuk menurunkan kekeruhan dan senyawa organik /anorganik pada air limbah sebelum di adsorp oleh karbon aktif. Perencanaan unit filter pasir dibahas di sub bab optimasi IPAL eksisting.

4.4.8 Tandon Akhir (Ozonisasi)

Ozon berfungsi sebagai oksidator kuat senyawa organik dalam air limbah. Selain itu, ozon juga berfungsi sebagai desinfektan mikroba yang terdapat dalam air limbah. Ozon yang digunakan di tandon akhir adalah ozon pengganti yang memiliki

kapasitas 40 mg/jam. Ozon tersebut dimasukkan ke tandon akhir yang telah berisi air limbah hasil pengolahan dari *carbon filter*. Sebenarnya pada unit IPAL eksisting telah terdapat reaktor ozon setelah unit karbon filter, namun telah rusak sejak lama sehingga tidak berfungsi kembali. Ozon yang saat ini digunakan tidak dapat berfungsi secara maksimal, mengingat air limbah hasil pengolahan dari *carbon filter* juga masih sangat tinggi kadar BOD dan COD-nya (lihat Tabel 4.16).

4.4.9 Rekomendasi Evaluasi

Berdasarkan hasil evaluasi unit IPAL eksisting, upaya optimasi yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengganti koagulan eksisting dengan koagulan hasil penelitian pendahuluan.
2. Volume air limbah yang diolah menyesuaikan kapasitas *filter press*, yaitu cukup 2 m³/hari.
3. Merencanakan unit *pressure sand filter*.
4. Menghitung kebutuhan ozon untuk proses oksidasi air limbah sebagai pengolahan akhir.

4.5 Optimasi IPAL Eksisting

4.5.1 Kolam Koagulasi-flokulasi

Berdasarkan hasil evaluasi unit kolam koagulasi-flokulasi, diperlukan bak pembubuh koagulan (PAC) agar proses pembubuhan koagulan dapat berlangsung cepat dan efisien. Selain itu, diperlukan bak pembubuh NaOH untuk menaikkan pH air limbah apabila pH terlalu dan tidak memenuhi rentang pH optimum koagulan (6-9).

Berdasarkan hasil evaluasi, pengadukan pneumatis dengan kapasitas kompresor (P=750 Watt) dan volume limbah 4 m³ telah memenuhi kriteria gradien kecepatan (G) pengadukan cepat dengan debit udara yang diinjeksikan sebanyak 423,6 L/menit. Namun, karena menyesuaikan kapasitas *filter press*, air limbah yang diolah di kolam koagulasi-flokulasi setiap operasi adalah 2 m³. Maka dilakukan perhitungan gradien kecepatan sesuai dengan debit air limbah yang diolah.

Pengadukan cepat

Diketahui :

$$P \text{ kompresor} = 750 \text{ watt}$$

$$\text{Efisiensi kompresor} = 80\%$$

$$P \text{ kompresor di lapangan} = 750 \text{ watt} \times 80\% \\ = 600 \text{ watt}$$

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \\ = \sqrt{\frac{600 \text{ N.m/det}}{0,8004 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \frac{\text{det}}{\text{m}^2} \times 2 \text{ m}^3}} \\ = 612,2/\text{detik} \text{ (memenuhi kriteria)}$$

Mencari kedalaman diffuser terhadap permukaan air :

$$V = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \times h \\ = \frac{2 \text{ m}^3}{0,25 \times 3,14 \times (2,25 \text{ m})^2}$$

$$h \text{ air} = 0,503 \text{ m}$$

$$h \text{ air} = 0,503 \text{ m}$$

$$h \text{ diffuser} = h \text{ air} - h \text{ diffuser dari dasar bak}$$

$$= 0,503 \text{ m} - 0,1 \text{ m}$$

$$= 0,403 \text{ m}$$

$$G_a = \frac{P}{3,904 \log \left(\frac{h+10,4}{10,4} \right)} \\ = \frac{600}{3,904 \log \left(\frac{0,403+10,4}{10,4} \right)}$$

$$= 9,3 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$= 9.300 \text{ L/menit}$$

$$G_{td} = G \times T_d$$

$$= 612,2/\text{detik} \times 1 \text{ menit} \times 60 \text{ detik/menit}$$

$$= 36.732 \gg 10.000 \text{ (memenuhi)}$$

Pengadukan lambat

Direncanakan:

$$G = 50/\text{detik} \quad (\text{kriteria } 20\text{-}100/\text{detik})$$

$$T_d = 20 \text{ menit}$$

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

$$= (50/\text{det})^2 \times 0,8004 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \frac{\text{det}}{\text{m}^2} \times 2 \text{ m}^3$$

$$= 4,002 \text{ N.m/det}$$

$$G_a = \frac{P}{3,904 \log \left(\frac{h+10,4}{10,4} \right)}$$

$$= \frac{8,004}{3.904 \log \left(\frac{0,403+10,4}{10,4} \right)}$$

$$= 0,062 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$= 62 \text{ L/menit}$$

Gtd

$$= G \times Td$$

$$= 50/\text{detik} \times 20 \text{ menit} \times 60 \text{ detik/menit}$$

$$= 60.000$$

Memenuhi kriteria 48.000 - 210.000 /detik (Reynold dan Richard, 1996)

Berdasarkan perhitungan diatas, diperoleh kriteria pengadukan pada bak koagulasi-flokulasi sebagai berikut :

- Volume air limbah yang diolah = 2 m³
- Pengadukan cepat :
 - Gradien kecepatan (G) = 612,2/detik
 - Waktu detensi (Td) = 60 detik
 - G x Td = 36.732
 - Debit injeksi udara = 9.300 L/menit
- Pengadukan lambat:
 - Gradien kecepatan (G) = 50/detik
 - Waktu detensi (Td) = 20 menit
 - G x Td = 60.000
 - Debit injeksi udara = 62 L/menit

Debit injeksi udara oleh kompresor perlu diatur untuk menyesuaikan kebutuhan pengadukan. Oleh karena itu, perlu ditambahkan *flow meter* udara sehingga kapasitas injeksi udara dapat disesuaikan. Setelah dilakukan pengadukan, air limbah dipompa ke *filter press* untuk dipisahkan fraksi cair dan lumpur.

Selanjutnya menghitung kebutuhan bak pembubuh koagulan *Poly aluminium chloride* (PAC) dan larutan NaOH. Larutan NaOH berfungsi sebagai pengatur pH agar koagulan PAC dapat bekerja pada rentang pH optimum (6-9).

1. Bak pembubuh koagulan

Air limbah yang diolah ada 2, yaitu air limbah prevail dan nonprevail. Keduanya jenis air limbah ini memiliki dosis optimum pembubuhan koagulan yang berbeda. Air limbah jenis prevail membutuhkan 500 mg/L dan nonprevail membutuhkan 50 mg/L koagulan PAC untuk mengolah air limbah secara efektif. Jumlah

bak pembubuh koagulan direncanakan 1 buah.. Perhitungan bak pembubuh koagulan adalah sebagai berikut :

Air limbah prevail

Direncanakan:

- Jenis koagulan = *Poly aluminium chloride* (PAC)
- Dosis PAC optimum = 500 mg/L (berdasarkan penelitian pendahuluan)
- Kemurnian PAC (serbuk) = 30%
- Konsentrasi PAC = 10% (dalam larutan)
- ρ air = 995,68 kg/m³
- ρ PAC = 1.200 kg/m³
- Jumlah bak pembubuh = 1 bak

Perhitungan:

- Menghitung kebutuhan PAC
 Kebutuhan PAC =
$$\frac{\text{Volume air limbah} \times \text{dosis}}{\text{kemurnian}}$$

$$= \frac{2.000 \text{ L} \times \frac{500 \text{ mg}}{\text{L}} \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mg}}}{30\%}$$

$$= 3,33 \text{ kg} / 2 \text{ m}^3 \text{ air limbah prevail}$$
- Untuk membuat larutan PAC dengan konsentrasi 10% maka,

$$0,1 = \frac{\text{berat PAC}}{\text{berat PAC} + \text{berat air}}$$

$$0,1 = \frac{3,33}{3,33 + \text{berat air}}$$
- Berat air = 30 kg
- Volume pelarutnya =
$$\frac{\text{massa air}}{\rho \text{ air}}$$

$$= \frac{30 \text{ kg}}{995,68 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 0,0301 \text{ m}^3$$

Bak pembubuh koagulan

Direncanakan:

- Bentuk bak = Lingkaran
- Kedalaman bak rencana(h) = 0,5 m
- Freeboard = 0,2 m

Perhitungan:

- Menghitung dimensi bak pembubuh
 Volume bak pembubuh = volume air + volume PAC

$$\begin{aligned}
&= 0,0301 \text{ m}^3 + \frac{\text{massa PAC}}{\rho \text{ PAC}} \\
&= 0,0301 \text{ m}^3 + \frac{3,33 \text{ kg}}{1200 \text{ kg/m}^3} \\
&= 0,033 \text{ m}^3 \\
\bullet \text{ Luas permukaan (As)} &= V / h \\
&= 0,033 \text{ m}^3 / 0,5 \text{ m} \\
&= 0,066 \text{ m}^2 \\
\text{As} &= 0,25\pi D^2 \\
0,066 \text{ m}^2 &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \\
\text{Diameter bak} &= \sqrt{\frac{0,066}{0,25 \times 3,14}} \\
&= 0,29 \text{ m} \\
\text{Diameter pakai} &= 0,3 \text{ m}
\end{aligned}$$

Pipa pembubuh koagulan

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
\bullet \text{ v injeksi rencana} &= 1 \text{ m/det} \\
\bullet \text{ Lama injeksi} &= 10 \text{ menit} \\
\bullet \text{ Pipa yang digunakan} &= \text{PVC} \\
\bullet \text{ Panjang pipa} &= 1 \text{ m} \\
\bullet \text{ Q koagulan} &= \frac{\text{Volume larutan}}{\text{waktu injeksi}} \\
&= \frac{0,033 \text{ m}^3}{10 \text{ menit}} \\
&= 0,0033 \text{ m}^3/\text{menit} \\
&= 0,000055 \text{ m}^3/\text{det}
\end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
\bullet \text{ Luas (A)} &= \frac{Q \text{ injeksi}}{v \text{ rencana}} \\
&= \frac{0,000055 \text{ m}^3/\text{det}}{1 \text{ m/det}} \\
&= 0,000055 \text{ m}^2 \\
\bullet \text{ Diameter pipa (D)} &= \sqrt{\frac{As}{0,25 \times 3,14}} \\
&= \sqrt{\frac{0,000055}{0,25 \times 3,14}} \\
&= 0,0084 \text{ m} \\
&= 8,4 \text{ mm} \\
\text{Diameter pakai} &= 10 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- v cek
$$= \frac{Q \text{ injeksi}}{As}$$
$$= \frac{0,000055 \text{ m}^3/\text{det}}{0,25 \times 3,14 \times (0,01 \text{ m})^2}$$
$$= 0,7 \text{ m/det}$$
- Perhitungan *headloss*
Headloss friksi (H_f)
$$= \left(\frac{Q}{0,2785 \times D^{2,63} \times C} \right)^{1,85} \times L$$
$$= \left(\frac{0,000055 \text{ m}^3/\text{det}}{0,2785 \times 0,01^{2,63} \times 140} \right)^{1,85} \times 1$$
$$= 0,08 \text{ m}$$

$$H_f \text{ total} = H \text{ statis} + H_f + \text{sisa tekan}$$
$$= 1 \text{ m} + 0,08 \text{ m} + 0,5 \text{ m}$$
$$= 1,58 \text{ m}$$

Air limbah nonprevail

Direncanakan:

- Jenis koagulan = *Poly aluminium chloride* (PAC)
- Dosis PAC optimum = 50 mg/L (berdasarkan penelitian pendahuluan)
- Kemurnian PAC (serbuk) = 30%
- Konsentrasi PAC = 10% (dalam larutan)
- ρ air = 995,68 kg/m³
- ρ PAC = 1.200 kg/m³

Perhitungan:

- Perhitungan volume larutan
 Kebutuhan PAC
$$= \frac{\text{Volume air limbah} \times \text{dosis}}{\text{kemurnian}}$$
$$= \frac{2.000 \text{ L} \times \frac{50 \text{ mg}}{\text{L}} \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mg}}}{30\%}$$
$$= 0,333 \text{ kg/ } 2 \text{ m}^3 \text{ air limbah}$$

nonprevail

Untuk membuat larutan PAC dengan konsentrasi 10% maka,

$$0,1 = \frac{\text{berat PAC}}{\text{berat PAC} + \text{berat air}}$$

$$0,1 = \frac{0,333}{0,333 + \text{berat air}}$$

$$\text{Berat air} = 3 \text{ kg}$$

$$\text{Volume pelarutnya} = \frac{\text{massa air}}{\rho \text{ air}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3 \text{ kg}}{995,68 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 0,003 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume larutan} &= V \text{ pelarut} + V \text{ koagulan} \\
 &= 0,003 \text{ m}^3 + \frac{0,3 \text{ kg}}{1.200 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 0,00325 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- Perhitungan kecepatan injeksi
 - Diameter pakai = 10 mm
 - Waktu injeksi (t) = 1 menit
 - Q injeksi = $\frac{\text{Vol larutan}}{t}$

$$= \frac{0,00325 \text{ m}^3}{1 \text{ menit}}$$

$$= 0,00325 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$= 3,25 \text{ L/menit}$$

$$= 5,4 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{det}$$
 - v injeksi = $\frac{Q \text{ injeksi}}{A_s}$

$$= \frac{5,4 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{det}}{0,25 \times 3,14 \times (0,01 \text{ m})^2}$$

$$= 0,69 \text{ m/det}$$

Pemilihan pompa

Pompa yang digunakan pada bak pembubuh koagulan menggunakan jenis *dosing pump*. *Dosing pump* berfungsi untuk mengalirkan bahan liquid masuk ke dalam aliran air di pipa dengan kadar tertentu. Tipe dosing pump yang digunakan yaitu GM 300/0,5 dengan kapasitas maksimal 300 *liter per hour* (LPH) atau 5 liter per menit. Spesifikasi dosing pump lebih lengkapnya dapat dilihat di lampiran D.

2. Bak pembubuh NaOH

Bak pembubuh NaOH berfungsi untuk menaikkan pH air limbah sehingga mencapai rentang pH optimum koagulan PAC (6-9). Air limbah prevail memiliki kecenderungan pH asam yaitu <6, sehingga perlu ditambahkan NaOH sebelum dikoagulasi dengan PAC. Direncanakan dimensi bak pembubuh NaOH sama dengan bak pembubuh koagulan, maka :

- Bentuk = lingkaran
- Kedalaman (h) = 0,5 m
- Diameter = 0,3 m

NaOH yang digunakan berbentuk cair dengan kadar 48% (spesifikasi ada di Lampiran E). Pembubuhan NaOH menggunakan *dosing pump* dengan kapasitas pompa 1 liter per menit . Untuk mengetahui dosis pembubuhan NaOH terhadap kenaikan pH air limbah prevail harus dilakukan percobaan skala laboratorium terlebih dahulu. Namun dalam penelitian ini belum dilakukan percobaan kebutuhan NaOH terhadap kenaikan pH air limbah prevail, sehingga perlu pengukuran manual dengan pH meter di lapangan.

4.5.2 Perencanaan *Pressure Sand Filter*

Penambahan unit *pressure sand filter* bertujuan untuk menyaring padatan yang mungkin saja masih terbawa di air limbah setelah disaring dengan *filter press*. *Pressure sand filter* dipilih karena lahan yang diperlukan hanya sedikit namun kecepatan filtrasi tinggi. *Pressure sand filter* direncanakan menggunakan *single* media dengan media pasir silika. Pemilihan media pasir silika didasarkan pada kemudahan dalam mencari bahan media pasir silika dan murah. Kriteria desain *pressure filter* dengan media pasir silika disajikan pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Kriteria Desain *Pressure Filter* Dengan Media Pasir:

Parameter	Kriteria	Satuan
Kecepatan filtrasi	12-22	m/jam
Ekspansi	30-50	%
Kecepatan pencucian	72-198	m/jam
Tebal media	600-700	mm
Berat jenis	2,5-2,65	-
Porositas	0,4	-
Lebar slot nozel	<0,5	mm
Persentase luas slot nozel terhadap luas filter	>4	%

Sumber : SNI 6774-2008

Diketahui :

Temperatur	= 30°C
Viskositas kinematis (ν)	= 0,8039 x 10 ⁻⁶ m ² /detik
Viskositas absolut (μ)	= 0,8004 x 10 ⁻³ N.det/m ²
ρ air limbah	= 995,68 kg/m ³
Volume air limbah (Q)	= 2 m ³

Volume untuk desain filter = 3 m³
 Waktu operasi filter = 1 jam
 Debit filter = 3 m³/jam
 = 0,00083 m³/det
 V filtrasi = 12 m³/m².jam
 = 0,0033 m/det

- Media filter dengan media pasir silika
 - Tebal media (L) = 70 cm
 - Porositas (ε) = 0,4
 - Faktor bentuk (Ψ) = 0,75
 - pecific grafity (Se) = 2,65 kg/m³
 - Distribusi media pasir dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Disribusi Media Pasir Silika

Diameter (cm) (d)	Fraksi berat (x)
0,069	30%
0,098	50%
0,13	20%

- Media penyangga:
 - Tebal media (L) = 20 cm
 - Porositas (ε) = 0,53
 - Faktor bentuk (Ψ) = 0,8
 - *Specific grafity* (Se) = 2,65 kg/m³
 - Diameter = 0,7 cm
- Sistem underdrain menggunakan nozel
 - Slot nozel = 0,5 mm
 - Jumlah nozel = 26
 - Tinggi slot = 30 mm
 - Luas nozel = 390 mm²

A. Perhitungan Dimensi Unit Filter

- Jumlah *pressure filter* = 1 unit
- Luas kolom filter (A) = Q/V filtrasi
 = $\frac{3 \text{ m}^3/\text{jam}}{12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}}$
 = 0,25 m²
- Diameter = $\sqrt{\frac{A}{0,25 \pi}}$

$$= \sqrt{\frac{0,25 \text{ m}^2}{0,25 \pi}}$$

$$= 0,56 \text{ m} \approx 0,6 \text{ m}$$

Perhitungan headloss media :

Media pasir silika

- Nre 0,05 cm

$$= \frac{\Psi \cdot d \cdot Vf}{v}$$

$$= \frac{0,75 \times (0,069 \times 10^{-2} \text{ m}) \times 0,0033 \text{ m/det}}{0,8039 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}}$$

$$= 2,15 \text{ (transisi)}$$
- Cd 0,075 cm

$$= \frac{24}{Nre} + \frac{3}{\sqrt{Nre}} + 0,34$$

$$= \frac{24}{2,15} + \frac{3}{\sqrt{2,15}} + 0,34$$

$$= 13,57$$
- Cd.x/d

$$= 13,57 \times \frac{30\%}{0,00069 \text{ m}}$$

$$= 5901/\text{m}$$

Dari perhitungan didapatkan nilai Nre dan Cd tiap diameter media yang dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Nilai Nre dan Cd Media Pasir Silika

Diameter (d) (m)	Fraksi berat (x)	Nre	Cd	Cd.x/d
0,00069	30%	2,15	13,57	5.901
0,00098	50%	3,05	9,93	5.068
0,0013	20%	4,04	7,77	1.195
Total				12.164/m

- *Headloss*

$$= 1,067 \frac{L \cdot Vf^2}{\Psi \cdot \epsilon^4 \cdot g} \sum \frac{CD \cdot x}{d}$$

$$= 1,067 \frac{0,7 \text{ m} \cdot (0,0033 \text{ m/det})^2}{0,75 \cdot 0,4^4 \cdot 9,81 \text{ m/det}^2} \times 12.164$$

$$= 0,525 \text{ m}$$

$$= 52,5 \text{ cm}$$

Media penyangga :

- Nre 0,7 cm

$$= \frac{\Psi \cdot d \cdot Vf}{v}$$

$$= \frac{0,8 \times (0,7 \times 10^{-2} \text{ m}) \times 0,0033 \text{ m/det}}{0,8039 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}}$$

$$= 23$$
- Cd 0,7 cm

$$= \frac{24}{Nre} + \frac{3}{\sqrt{Nre}} + 0,34$$

$$= \frac{24}{23} + \frac{3}{\sqrt{23}} + 0,34$$

$$= 2$$

- $Cd \cdot x/d = 2 \times \frac{100\%}{0,007 \text{ m}} = 285,7/\text{m}$
- $Headloss = 1,067 \frac{L \cdot V_f^2}{\Psi \cdot \epsilon^4 \cdot g} \sum \frac{CD \cdot x}{d}$
 $= 1,067 \frac{0,2 \cdot (0,0033 \text{ m/det})^2}{0,8 \cdot 0,53^4 \cdot 9,81 \text{ m/det}^2} \times 285,7/\text{m}$
 $= 1,07 \times 10^{-3} \text{ m}$
 $= 0,11 \text{ cm}$

Headloss media total yang terjadi adalah $52,5 \text{ cm} + 0,11 \text{ cm} = 52,6 \text{ cm}$.

B. Perhitungan Ekspansi Media

Ekspansi media dipengaruhi oleh porositas awal media kecepatan *backwash*. Kecepatan *backwash* tergantung pada diameter media penyangga sehingga pada saat *backwash* media penyangga tidak ikut terekspansi. Berikut perhitungan ekspansi media :

- $V_s \text{ media penyangga} = \sqrt{\frac{4g(S_g - 1)d}{3CD}}$
 $= \sqrt{\frac{4 \times 9,81 (2,65 - 1) \times 0,7 \times 10^{-2}}{3 \times 2}}$
 $= 0,275 \text{ m/detik}$
- Kecepatan *backwash* (V_b) $= V_s \cdot \epsilon^{4,5}$
 $= 0,275 \text{ m/detik} \times 0,4^{4,5}$
 $= 0,00445 \text{ m/detik}$
- $\epsilon_e \text{ penyangga} = \left(\frac{V_b}{V_s}\right)^{0,22}$
 $= \left(\frac{0,00445}{0,275}\right)^{0,22}$
 $= 0,403$
- $X/(1-\epsilon_e) = \frac{100\%}{1-0,403} = 1,675$
- Tinggi ekspansi penyangga $= (1-\epsilon) \cdot L \cdot \sum \frac{x}{1-\epsilon_e}$
 $= (1-0,403) \times 0,2 \times 1,675$
 $= 0,2 \text{ m (tidak terjadi ekspansi)}$

Ekspansi Media Pasir Silika:

- $V_s 0,069 \text{ cm} = \sqrt{\frac{4 \times 9,81 (2,65 - 1) 0,069 \times 10^{-2}}{3 \times 13,57}}$
 $= 0,033 \text{ m/detik}$

- ϵ_e 0,069 cm

$$= \left(\frac{V_b}{V_s} \right)^{0,22}$$

$$= \left(\frac{0,00445 \text{ m/det}}{0,033 \text{ m/det}} \right)^{0,22}$$

$$= 0,643$$
- $X/(1-\epsilon_e)$

$$= \frac{20\%}{1-0,643}$$

$$= 0,84$$

Dari perhitungan didapatkan nilai v_s dan ϵ_e tiap diameter media yang dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Nilai V_s dan ϵ_e Tiap Diameter Media Pasir Silika

Diameter (m) (d)	Fraksi berat (x)	V_s	ϵ_e	$X/(1-\epsilon_e)$
0,00069	30%	0,033	0,643	0,840
0,00098	50%	0,046	0,598	1,243
0,0013	20%	0,060	0,564	0,459
Total				2,542

- Tinggi ekspansi pasir silika

$$= (1-\epsilon) \cdot L \cdot \sum \frac{x}{1-\epsilon_e}$$

$$= (1-0,4) \times 0,7 \times 2,542$$

$$= 1,07 \text{ m (terjadi ekspansi)}$$
- Ekspansi total

$$= 0,2 \text{ m} + 1,07 \text{ m}$$

$$= 1,27 \text{ m}$$
- % ekspansi

$$= \frac{T_{\text{total}} - T_{\text{media}}}{T_{\text{media}}} \times 100 \%$$

$$= \frac{1,27 - (0,7 + 0,2)}{(0,7 + 0,2)} \times 100 \%$$

$$= 41 \%$$

Terjadi ekspansi sebesar 41 % (memenuhi kriteria 30-50%)

- Kehilangan tekanan awal *backwash*

$$H_f \text{ silika} = (S_e - 1) (1 - \epsilon) \cdot L$$

$$= (2,65 - 1) (1 - 0,4) \times 0,7 \text{ m}$$

$$= 0,693 \text{ m}$$

$$H_f \text{ penyangga} = (2,65 - 1) (1 - 0,53) \times 0,2 \text{ m}$$

$$= 0,155 \text{ m}$$

$$H_f \text{ total} = 0,848 \text{ m}$$

C. Rencana *Backwash*

- Kec *backwash* (v_b)

$$= 0,00445 \text{ m/detik}$$
- Periode *backwash*

$$= 5 \text{ hari sekali}$$
- Td *backwash*

$$= 5 \text{ menit (300 detik)}$$

- Debit *backwash* (Q_b) = $v_b \times A_{\text{filter}}$
= $0,00445 \text{ m/detik} \times 0,25 \text{ m}^2$
= $0,00111 \text{ m}^3/\text{detik}$
- Volume *backwash* = $Q_b \times T_d$
= $0,00111 \text{ m}^3/\text{detik} \times 300 \text{ detik}$
= $0,333 \text{ m}^3$

D. Perhitungan *Underdrain* (Nozel)

Direncanakan:

- Kecepatan aliran = $0,2 \text{ m/detik}$
- Konstanta friksi = $0,8$
- Q filtrasi = $0,00083 \text{ m}^3/\text{detik}$
- Debit *backwash* (Q_b) = $0,00111 \text{ m}^3/\text{detik}$

Perhitungan :

- Luas slot nozel = $390 \text{ mm}^2/\text{nozel}$
= $3,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- Q per nozel = $v \times A$
= $0,2 \text{ m/detik} \times 3,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
= $7,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}$
- Kebutuhan nozel = $\frac{Q_{\text{backwash}}}{Q_{\text{nozel}}}$
= $\frac{0,00111 \text{ m}^3/\text{detik}}{7,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}}$
= $14,23 \text{ buah} \approx 15 \text{ buah}$
- Cek kecepatan aliran di nozel
 Saat filtrasi = $\frac{Q_{\text{filtrasi}}}{A}$
= $\frac{0,00083 \text{ m}^3/\text{detik}}{(15 \times 3,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}$
= $0,142 \text{ m/detik}$
 Saat *backwash* = $\frac{Q_{\text{backwash}}}{A}$
= $\frac{0,00111 \text{ m}^3/\text{detik}}{(15 \times 3,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}$
= $0,19 \text{ m/detik}$
- *Headloss* pada nozel
 Debit filter = $k \frac{v^2}{2g}$

$$= 0,8 \frac{0,142 \text{ m/det}}{2 \times 9,81 \text{ m/det}^2}$$

$$= 0,0058 \text{ m}$$

Debit backwash

$$= 0,8 \frac{0,19 \text{ m/det}}{2 \times 9,81 \text{ m/det}^2}$$

$$= 0,0077 \text{ m}$$

Headloss total pada filter

- Hf fitrasi = Hf media + Hf nozel
= 0,525 m + 0,0058 m
= 0,5308 m
- Hf backwash = 0,848 m m + 0,0077 cm
= 0,8557 m

E. Pipa Inlet Dan Outlet Filter

Pipa inlet :

- Debit (Q) = 0,00083 m³/det
- kec rencana (v) = 1 m/det
- Panjang pipa = 2 m
- Dimensi pipa

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,00083 \text{ m}^3/\text{det}}{1 \text{ m/det}} = 0,00083 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter} &= \sqrt{\frac{A}{0,25 \pi}} \\ &= \sqrt{\frac{0,00083 \text{ m}^2}{0,25 \pi}} \\ &= 0,0325 \text{ m} \\ &= 32,5 \text{ mm} \\ \text{Diameter pakai} &= 1 \frac{1}{2} \text{ inch (40 mm)} \end{aligned}$$

- Cek kecepatan
v = $\frac{Q}{A} = \frac{0,00083 \text{ m}^3/\text{det}}{0,25 \times 3,14 \times (0,04 \text{ m})^2} = 0,66 \text{ m/det (ok)}$

Pipa pembawa hasil filtrasi

- Debit (Q) = 0,00083 m³/det
- kec rencana (v) = 0,8 m/det
- Panjang pipa = 2 m

- Dimensi pipa

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,00083 \text{ m}^3/\text{det}}{0,8 \text{ m/det}} = 0,001 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter} &= \sqrt{\frac{A}{0,25 \pi}} \\ &= \sqrt{\frac{0,001 \text{ m}^2}{0,25 \pi}} \\ &= 0,0356 \text{ m} \\ &= 35,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Diameter pakai} = 1 \frac{1}{2} \text{ inch (40 mm)}$$

- Cek kecepatan

$$\begin{aligned} V \text{ cek} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0,00083 \text{ m}^3/\text{det}}{0,25 \times 3,14 \times (0,04 \text{ m})^2} \\ &= 0,66 \text{ m/det} \end{aligned}$$

F. Tinggi kolom *pressure sand filter*

Diketahui (dari perhitungan sebelumnya):

- Tinggi media kerikil = 0,2 m
- Tinggi media pasir silika = 0,7 m
- Tinggi ekspansi media pasir = 1,07 m
- Saluran *underdrain* (dibawah nozel) = 0,2 m
- *Freeboard* rencana = 0,43 m
- Tinggi total kolom filtrasi = 2,60 m

Maka kolom *sand filter* yaitu berdiameter 0,6 m dan tinggi 2,6 m.

G. Perencanaan Pompa Filter

Direncanakan :

- Debit *backwash* (Q_b) = 0,00148 m³/det
- Headloss saat *backwash* = 0,8557 m
- Panjang pipa *backwash* = 3 m
- Kec *backwash* = 1,25 m/det

Perhitungan :

- Dimensi pipa
- $$A = \frac{Q}{v}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,00148 \text{ m}^3/\text{det}}{1,25 \text{ m/det}} \\
&= 0,001184 \text{ m}^2 \\
\text{Diameter} &= \sqrt{\frac{A}{0,25 \pi}} \\
&= \sqrt{\frac{0,001184 \text{ m}^2}{0,25 \pi}} \\
&= 0,0388 \text{ m} \\
&= 38,8 \text{ mm} \\
\text{Diameter pakai} &= 1 \frac{1}{2} \text{ inch (40 mm)} \\
\bullet \text{ V cek} &= \frac{Q}{A} \\
&= \frac{0,00148 \text{ m}^3/\text{det}}{0,25 \times 3,14 \times (0,04 \text{ m})^2} \\
&= 1,18 \text{ m/det (memenuhi)} \\
\bullet \text{ Hf pipa} &= \left(\frac{Q}{0,2785 \times D^{2,63} \times C} \right)^{1,85} \times L \\
&= \left(\frac{0,00148 \text{ m}^3/\text{det}}{0,2785 \times 0,04^{2,63} \times 120} \right)^{1,85} \times 3 \\
&= 0,167 \text{ m} \\
\bullet \text{ Head pompa} &= \text{Hf bw} + \text{Hf pipa} + \text{sisa tekan} \\
&= 0,8557 \text{ m} + 0,167 \text{ m} + 3 \text{ m} \\
&= 4,023 \text{ m}
\end{aligned}$$

SOP untuk *pressure sand filter* yaitu dengan melakukan *backwash* secara rutin tiap 5 hari sekali. Hal itu dimaksudkan untuk mencegah media pasir tersumbat oleh polutan limbah (*clogging*) sehingga proses filtrasi dapat berjalan dengan optimal. Hasil desain *pressure sand filter* disajikan pada Lampiran H.

4.5.3 Carbon Filter

Unit *carbon filter* eksisting, secara desain belum memenuhi kriteria waktu kontak bed kosong dan waktu kontak efektif, namun mendekati rentang minimal. *Carbon filter* eksisting telah memenuhi kriteria kecepatan aliran yaitu 7,24 m/jam dari kriteria 5-10 m/jam. Upaya optimasi unit *carbon filter* eksisting dilakukan dengan cara pemeliharaan yang rutin. Apabila karbon aktif telah jenuh, maka perlu diganti media karbon aktif baru atau dapat diregenerasi. Berikut ini perhitungan batas waktu media GAC harus diregenerasi:

Diketahui :

- Diameter kolom *carbon filter* = 0,32 m
- Kedalaman media (H) = 1,1 m
- Volume bed (V_b) = 0,0884 m³
- ρ GAC = 450 kg/m³
- Volume air limbah diolah = 2 m³/hari

Perhitungan massa GAC

- Massa GAC (M) = $V_b \times \rho$ GAC
= 0,0884 m³ x 450 kg/m³
= 39,8 kg
- Perhitungan volume air terolah
Berdasarkan Cecen (2012), nilai *GAC usage rate* untuk pengolahan fisik-kimiawi air limbah perkotaan yaitu rentang 0,29 – 1,04 kg GAC/m³.

$$\text{GAC usage rate} = 0,5 \text{ kg GAC/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air limbah terolah} &= \frac{\text{Massa GAC}}{\text{GAC usage rate}} \\ &= \frac{39,8 \text{ kg}}{0,5 \text{ kg/m}^3} \\ &= 79,58 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Perhitungan *bed life*

$$\begin{aligned} \text{Bed life} &= \frac{\text{Volume air limbah terolah}}{\text{Debit air limbah}} \\ &= \frac{79,58 \text{ m}^3}{2 \text{ m}^3/\text{hari}} \\ &= 39,8 \text{ hari} \\ &= 40 \text{ hari} \end{aligned}$$

Dengan anggapan air limbah yang diolah selama 1 bulan sebanyak 24 m³ dengan kapasitas pengolahan IPAL 2 m³/hari, maka waktu operasi IPAL dalam sebulan yaitu 12 hari. Maka *bed life* dapat dikonversikan sesuai perhitungan berikut :

$$\begin{aligned} \text{Bed life} &= \frac{40 \text{ hari}}{12 \text{ hari/bulan}} \\ &= 3,3 \text{ bulan} \\ &= 3 \text{ bulan } 9 \text{ hari} \end{aligned}$$

Jadi *bed life* filter karbon aktif yaitu selama 3 bulan 9 hari. Artinya jika filter karbon aktif telah beroperasi selama 3 bulan 9 hari, maka media GAC harus diregenerasi.

Regenerasi adalah upaya untuk memurnikan kembali karbon aktif yang telah jenuh oleh adsorbat (polutan) yang

menempel pada pori-pori media karbon aktif. Regenerasi memerlukan biaya yang lebih murah daripada penggantian adsorben (Lu *et al.*, 2011). Menurut Laura (2014), proses regenerasi GAC umumnya dilakukan dengan metode termal dan kimiawi.

1. Regenerasi termal.

Regenerasi termal meliputi 3 tahap, yaitu pengeringan, pembakaran (pirolisis adsorbat) dan reaktivasi (oksidasi residu dari adsorbat). Proses regenerasi termal dilakukan dengan proses pirolisis dan pembakaran dari bahan-bahan organik yang teradsorp. Untuk menghindari terbakarnya karbon aktif, maka proses pemanasan dilakukan pada suhu $\pm 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ dalam atmosfer yang dikontrol. Keuntungan dari regenerasi termal adalah dapat memurnikan karbon aktif dengan sangat baik meskipun adsorbat heterogen. Kelemahannya yaitu terjadi penurunan kapasitas adsorpsi akibat adanya perubahan struktur pori karbon dan adanya senyawa karbon yang hilang akibat pembakaran.

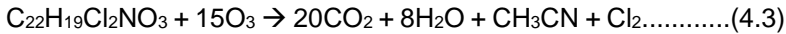
2. Regenerasi kimiawi

Proses regenerasi kimiawi dilakukan dengan mereaksikan karbon dengan senyawa kimia yang sesuai. Senyawa kimia yang digunakan ada 2 jenis, yaitu senyawa kimia yang memiliki kemampuan mengoksidasi dan yang memiliki kemampuan melarutkan. Menurut Laura (2014), metode regenerasi karbon aktif dengan metode kimiawi dilakukan dengan cara merendam karbon aktif jenuh ke dalam larutan NaOH 4% sebanyak 25 ml tiap 1 gram adsorben selama 2 jam. Selanjutnya direndam ke dalam air suling dengan suhu $>90\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 20 menit dan dioven dengan suhu $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam. Setelah itu karbon aktif dibiarkan hingga dingin. Percobaan tersebut diulangi selama 3 kali sehingga karbon aktif siap digunakan untuk adsorben kembali.

4.5.4 Ozon

Penggunaan ozon difungsikan sebagai oksidator bahan organik yang masih terdapat di dalam air limbah dan juga desinfektan. Perencanaan kebutuhan ozon dihitung berdasarkan pendekatan mol bahan aktif prevail (sipermetrin 100 g/L) yang akan dioksidasi oleh ozon. Senyawa sipermetrin ($\text{C}_{22}\text{H}_{19}\text{Cl}_2\text{NO}_3$)

diasumsikan akan teroksidasi sempurna menjadi mineral apabila dioksidasi dengan ozon (O₃). Menurut Rosenheimer dan Dubowski (2007), reaksi oksidasi sipermetrin dengan ozon akan menghasilkan gas fosgen (COCl₂) yang kemudian teroksidasi menjadi CO₂ dan Cl₂. Reaksi oksidasi antara sipermetrin dengan ozon disajikan pada persamaan 4.3.



Perhitungan senyawa sipermetrin dalam air limbah prevail adalah sebagai berikut :

Diketahui :

- Vol air = 24 m³
- Prevail yang ditambahkan = 55 botol
- Vol per botol prevail = 5 L
- Vol prevail yang ditambahkan = 55 x 5 L = 275 L
- Kandungan sipermetrin = 100 g/L prevail
- Sipermetrin dalam 24 m³ air limbah = 275 L x 100 g/L = 27.500 g

Jika hanya 2 m³ air limbah maka:

$$\begin{aligned} \text{Massa sipermetrin} &= \frac{2}{24} \times 27.500 \text{ g} \\ &= 2291,6 \text{ g} \end{aligned}$$

- Berat molekul (Mr) C₂₂H₁₉Cl₂NO₃ = 416,297 g/mol

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Mol C}_{22}\text{H}_{19}\text{Cl}_2\text{NO}_3 &= \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{2291,6 \text{ g}}{416,297 \text{ g/mol}} \\ &= 5,5 \text{ mol} \end{aligned}$$

Setelah diperoleh mol senyawa sipermetrin, maka dicari mol ozon (O₃) berdasarkan persamaan reaksi 4.2.

- Mol O₃ = $\frac{\text{koefisien O}_3}{\text{koefisien C}_{22}\text{H}_{19}\text{Cl}_2\text{NO}_3} \times \text{mol C}_{22}\text{H}_{19}\text{Cl}_2\text{NO}_3$
 = $\frac{15}{1} \times 5,5 \text{ mol}$
 = 82,5 mol
- Massa O₃ = mol x Mr
 = 82,5 mol x 48 g/mol
 = 3960 g
 = 3,96 kg / 2 m³ air limbah prevail

$$= 1,980 \text{ kg/m}^3 \text{ air limbah prevail}$$

Jadi untuk mengoksidasi senyawa sipermetrin didalam air limbah prevail maka dibutuhkan 1,9818 kg/O₃ per 1 m³ air limbah prevail.

Perhitungan mol untuk persamaan reaksi oksidasi sipermetrin dengan ozon disajikan pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34. Perhitungan Mol Persamaan Reaksi Oksidasi Sipermetrin Dengan Ozon

Senyawa	Koefisien	Mr (g/mol)	Mol	Berat senyawa (g)
C₂₂H₁₉Cl₂NO₃	1	416,297	11,01	4583,43
O₃	15	48	165,15	7927,20
H₂O	8	18,015	88,08	1586,76
CO₂	20	44,01	220,20	9691,00
CH₃CN	1	41,052	11,01	451,98
Cl₂	1	70,906	11,01	780,68

Direncanakan waktu kontak ozonisasi 2 jam, maka kapasitas ozon yang digunakan :

Volume air limbah

$$= 2 \text{ m}^3$$

Waktu kontak

$$= 2 \text{ jam}$$

Kebutuhan ozon

$$= 1,9818 \text{ kg/m}^3 \text{ air limbah prevail}$$

Kapasitas ozon yang dibutuhkan = $\frac{\text{kebutuhan ozon}}{\text{waktu kontak}}$

$$= \frac{1,9818 \text{ kg}}{2 \text{ jam}}$$

$$= 0,9909 \text{ kg/jam}$$

$$= 990,9 \text{ g/jam}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diperlukan generator ozon dengan kapasitas 990,9 g/jam untuk mengoksidasi senyawa sipermetrin yang terdapat pada air limbah prevail. Spesifikasi generator ozon yang dipilih yaitu merk Netech tipe NT-DGY 1.0 dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Output ozon : 1.000 g/jam
- Konsentrasi ozon : 80-120 mg/L
- Konsumsi daya : 6,5 kW/jam
- Ukuran (p x l x t) : 1,6 x 0,6 x 1,8 m
- Input power : AC 380 V / 50 Hz
- Sumber udara : oksigen

- Tekanan ozon outlet : 0,095 Mpa ± 5%

Gambar unit generator ozon Netech tipe NT-DGY 1.0 disajikan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Generator Ozon Netech tipe NT-DGY 1.0

SOP untuk operasi ozon yaitu Air limbah yang diolah sebanyak 2 m³ dengan waktu kontak ozon selama 2 jam.

Dalam perencanaan unit ozon, idealnya adalah dilakukan percobaan skala laboratorium terlebih dahulu dengan generator ozon yang telah diketahui spesifikasinya dan dicari durasi kontak yang paling optimum untuk menurunkan parameter air limbah. Namun, karena keterbatasan penulis, perencanaan unit ozon tidak dilakukan melalui percobaan skala laboratorium, melainkan dengan pendekatan perhitungan kebutuhan ozon untuk oksidasi senyawa kimia yang terdapat pada air limbah prevail. Dalam hal ini adalah senyawa sipermetrin yang merupakan bahan aktif termisida prevail 100EC.

4.6 Kualitas Air Limbah Efluen Hasil Optimasi IPAL

Kualitas air limbah hasil optimasi IPAL dihitung berdasarkan kualitas influen air limbah terhadap efisiensi penurunan parameter di masing-masing unit IPAL. Kualitas air limbah influen yang digunakan adalah air limbah prevail hasil analisis laboratorium Perum Jasa Tirta I, Mojokerto. Kualitas influen air limbah prevail adalah sebagai berikut :

- BOD = 6.560 mg/L
- COD = 15.000 mg/L
- TSS = 396 mg/L
- Fenol = 6,41 mg/L
- Amoniak = 0,13 mg/L
- Volume air limbah = 2 m³/operasi

Persentase efisiensi penurunan parameter air limbah di masing-masing unit IPAL disajikan pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35. Efisiensi Penurunan Parameter Limbah Per-Unit IPAL

No	Unit IPAL	Parameter				
		BOD	COD	TSS	Fenol	Amoniak
1	Koagulasi-flokulasi	50%	53%	97%	0%	0%
2	<i>Sand Filter</i>	60%	65%	80%	0%	0%
3	<i>Carbon filter</i>	92%	99%	98%	61%	98%
4	Ozon	97%	91%	97%	97%	96%

Hasil perhitungan konsentrasi parameter limbah dimasing-masing unit IPAL disajikan pada Tabel 4.36.

Tabel 4.36 Konsentrasi Parameter Limbah di Masing-masing Unit IPAL

No	Unit	Parameter				
		BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	Fenol (mg/L)	Amoniak (mg/L)
1	Influen limbah (prevail)	6.560	15.000	396	0,130	6,41
2	Koagulasi-flokulasi	3.280	7.106	11,326	0,130	6,410
3	<i>Sand Filter</i>	1.312	2.487	2,265	0,130	6,410
4	<i>Carbon filter</i>	101	31	0,048	0,05	0,157
5	Ozon	3	3	0,001	0,002	0,006
	Baku Mutu	75	125	50	4	0,25

Berdasarkan Tabel 4.36, semua parameter air limbah telah memenuhi baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No 72 tahun 2013 tentang Baku Air Limbah Untuk Industri Kayu Lapis / Plywood.

4.7 Perhitungan Biaya Investasi, Operasi dan Perawatan IPAL

Biaya investasi meliputi biaya pembangunan bak pembubuh koagulan PAC, bak pembubuh NaOH, pembelian *dosing pump*, *sand filter*, dan generator ozon. Bak pembubuh koagulan PAC dan NaOH terbuat dari beton yang harganya disesuaikan dengan HSPK Kabupaten Jombang. Hasil perhitungan biaya investasi disajikan pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Perhitungan Biaya Investasi IPAL

N	Unit	Jumlah	Satuan	Harga satuan	Harga total
1	Bak pembubuh PAC	0,038	m ³	Rp761.784	Rp29.302
2	Bak pembubuh NaOH	0,038	m ³	Rp761.784	Rp29.302
3	<i>Dosing pump</i>	2	buah	Rp1.500.000	Rp1.500.000
4	<i>Sand filter</i>	1	paket	Rp20.000.000	Rp20.000.000
5	Generator ozon	1	paket	Rp80.000.000	Rp80.000.000
Total					Rp101.558.604

Berdasarkan Tabel 4.37, diperoleh biaya investasi untuk optimasi IPAL sebesar Rp101.558.604.

Biaya operasi IPAL meliputi biaya pembayaran listrik, kebutuhan koagulan dan biaya angkut lumpur IPAL ke pihak ketiga (pengelola limbah B3). Biaya operasi per bulan yaitu sebesar Rp1.634.395. Biaya operasi IPAL setelah dioptimasi jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan eksisting. Biaya pembelian reagen kimia eksisting untuk pengolahan air limbah sebanyak 24 m³ (sebulan) mencapai Rp 54.960.000 (Tabel 4.21). Biaya tersebut belum termasuk listrik dan biaya pengangkutan lumpur IPAL. Biaya operasi IPAL lebih detail disajikan pada Tabel 4.38.

Biaya perawatan IPAL meliputi biaya perawatan pompa, pergantian *cloth/membran filter press*, regenerasi media *carbon filter*, dan pangurasan lumpur *lamella separator*. Biaya perawatan IPAL setelah dioptimasi yaitu sebesar Rp1.634.395/tahun. Perhitungan biaya perawatan IPAL lebih detail disajikan pada Tabel 4.39.

Tabel 4.39 Biaya Perawatan IPAL

No	Jenis Kebutuhan	Jumlah Kebutuhan	Satuan	Harga/satuan	Harga total/tahun
1	Perawatan pompa/6 bulan	3	kali	Rp100.000	Rp600.000
2	Penggantian cloth/membran filter press/6 bulan	2	unit	Rp500.000	Rp2.000.000
3	Regenerasi dan penggantian media karbon filter/3 bulan	1	unit	Rp200.000	Rp800.000
4	Pengurasan lumpur lamella separator/3 bulan	1	kali	Rp100.000	Rp400.000
Total per tahun					Rp3.800.000
Total per 5 tahun					Rp19.000.000

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil evaluasi dan optimasi IPAL Industri pengolahan kayu di Jombang adalah sebagai berikut :

1. Koagulan eksisting hanya mampu menurunkan parameter BOD, COD dan TSS sebesar 31%, 39% dan 65%. Optimasi pengolahan kimiawi dilakukan dengan pergantian koagulan eksisting dengan koagulan PAC. Dosis optimum PAC untuk air limbah prevail adalah 500 mg/L mampu menurunkan parameter kekeruhan, COD, dan TSS berturut-turut 98,71%, 52,63% dan 97,14%. Sedangkan untuk air limbah nonprevail dengan dosis 50 mg/L mampu menurunkan parameter kekeruhan dan COD sebesar 97,41% dan 85,37%. Hasil optimasi IPAL eksisting meliputi penambahan bak pembubuh koagulan PAC, bak pembubuh NaOH, perencanaan unit *pressure sand filter* serta pergantian unit generator ozon. Volume air limbah yang diolah dalam satu kali operasi yaitu 2 m³. Setelah dilakukan optimasi, kualitas air limbah telah memenuhi persyaratan baku mutu sesuai Pergub Jatim No 72 tahun 2013.
2. Biaya investasi optimasi IPAL yaitu sebesar Rp Rp101.558.604, biaya operasi IPAL sebesar Rp Rp1.634.395/bulan dan biaya perawatan IPAL sebesar Rp 3.800.000/tahun.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian atau perencanaan kedepan dari hasil evaluasi dan optimasi IPAL industri pengolahan kayu adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan unit generator ozon dilakukan dengan percobaan skala laboratorium agar hasilnya lebih akurat dan sesuai dengan kondisi lapangan.
2. Perencanaan bak pembubuh NaOH untuk pengaturan pH disesuaikan dengan kebutuhan NaOH eksisting. Hal ini juga diperoleh berdasarkan percobaan skala laboratorium.

“Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, C., Khair, R.M dan Aisyah, S. 2017. Pengaruh Ozonisasi Terhadap Penurunan Intensitas Warna dan Kadar Besi (Fe) pada Air Gambut. **Jurnal Teknik Lingkungan**. 3(1) : 21-29.
- Angraini, R., Wahyuni, N., dan Gusrizal. 2015. Adsorpsi Fenol oleh Kombinasi Adsorben Zeolit Alam dan Karbon Aktif dengan Metode Kolom. **JKK**. 4(1) : 29-34.
- Anonymous. 2018. *Lamella Clarifier / Lamella Separator*. <http://www.leiblein.com/process-water/lamella-separator.html> (diakses pada Senin, 26 November 2018 pukul 05.32 WIB).
- Anonymous. 2019. Nasional Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Database; CID=2912, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2912> (diakses Rabu, 9 Januari 2019 pukul 3.22 WIB).
- Asiah, R.H., Suseno, J.E. dan Muhlisin, Z. 2017. Pembuatan Sistem Ozonizer Untuk Degradasi Pewarna *Rhodamine B* Dengan Metode Peroxone Menggunakan Mikrokontroler ATMEGA 535. **Youngster Physics Journal**. 6(4) : 323-330
- Azizah, M dan Humairoh, M. 2015. Analisis Kadar Amonia (NH₃) Dalam Air Sungai Cileungsi. **Jurnal Nusa Sylva**. 15(1) : 47-54.
- Barly dan Lelana, N.E. 2010. Pengaruh Ketebalan Kayu, Konsentrasi Larutan Dan Lama Perendaman Terhadap Hasil Pengawetan Kayu. **Jurnal Penelitian Hasil Hutan**. 28(1): 1-8.
- Budiman, A., Wahyudi, C., Irawati, W. dan Hindarso, H. 2008. Kinerja Koagulan Polyaluminium Chloride (PAC) Dalam Penjernihan Air Sungai Kalimas Surabaya Menjadi Air Bersih. **Widya Teknik**. 7(1) : 25:34
- Coniwanti, P., Mertha, I.D, dan Eprianie, D. 2013. Pengaruh Beberapa Jenis Koagulan Terhadap Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dalam Tinjauannya Terhadap *Turbidity*, TSS dan COD. **Jurnal Teknik Kimia**. 19(3) : 22-30.

- Cundari, L., Yanti, P dan Syaputri, K.A. 2016. Pengolahan Limbah Cair Kain Jumputan Menggunakan Karbon Aktif Dari Sampah Plastik. **Jurnal Teknik Kimia**. 22(3) : 26-33
- Devia, Y.P. 2009. Pengaruh Penambahan Kapur dan Abu Terbang Dalam Laju Pelepasan Air dari Lumpur Biologis (IPAL Sier). **Jurnal Rekayasa Sipil**. 3(2) : 141-152.
- Dumanauw, J.F. 1984. **Mengenal Kayu Edisi 2 Cetakan 2**. Jakarta : PT Gramedia.
- El-Naas, M.H., Al-Zuhair, S. dan Alhaija, M.A. 2010. *Removal of Phenol from Petroleum Refinery Wastewater Through Adsorption on Date-pit Activated Carbon*. **Chemical Engineering Journal**. 162 : 997-1005.
- Estikarini, H.D., Hadiwidodo, M., dan Luvita, V. 2016. Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Tekstil dengan Metode Ozonisasi. **Jurnal Teknik Lingkungan**. 5(1) : 1-11.
- Fatimah, A., Harmadi dan Wildan. 2014. Perancangan Alat Ukur TSS (*Total Suspended Solid*) Air Menggunakan Sensor Serat Optik Secara *Real Time*. **Jurnal Ilmu Fisika (JIF)**. 6(2) : 68-73.
- Fitriyani, I.E., Istikowati, W.T dan Lusyani. 2018. Pengawetan Kayu Nangka (*Artocarpus heterophyllus* Lmk.) Menggunakan Pengawet Boron Dengan Metode Rendaman Dingin untuk Mencegah Serangan Rayap Tanah (*Coptotermes curvignathus*). **Jurnal Sylva Scientiae**. 1(1) : 72-80.
- Hamida, U. 2014. Penentuan Konsentrasi Koagulan dan pH Optimum Dalam Pengolahan Air Limbah Menggunakan Model Jaringan Syaraf Tiruan. **Jurnal Riset Industri**. 8(1) : 73-81.
- Hermanus, M.B. Polii, B., dan Mandey, L. 2015. Pengaruh Perlakuan Aerob Dan Anaerob Terhadap Variabel Bod, Cod, Ph, Dan Bakteri Dominan Limbah Industri Desiccated Coconut Pt. Global Coconut Radey, Minahasa Selatan. **Jurnal Ilmu Pangan dan Teknologi Pangan**. 3(2) : 48-59.
- Husaini., Cahyono, S.S., Suganal., dan Hidayat, K.N. 2018. Perbandingan Koagulasi Hasil Percobaan Dengan Koagulan Komersial Menggunakan Metode *Jar test*. **Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara**. 14(1) : 31-45.

- Irfan, M., Butt, T., Imtiaz, N., Abbas, N, Khan, R.A., dan Shafique, A. 2013. The Removal of COD, TSS, and Colour of Black Liquor by Coagulation-flocculation Process at Optimized pH, Settling, and dosing rate. **Arabian Journal of Chemistry**. 10 : 2307-2318
- Islamiyah, S.N. dan Koestiari, T. 2014. Penggunaan Karbon Aktif Granular Sebagai Adsorben Logam Cu(li) Di Air Laut Kenjeran. **UNESA Journal of Chemistry**. 3(3) : 164-169.
- Jabeen, F., Ahmed, M., Ahmed, F., Sarwar, M.B, Akhtar, S dan Shahid, A.A. 2017. Characterization of Cypermethrin Degrading Bacteria: A Hidden Micro Flora for Biogeochemical Cycling of Xenobiotics. **Advancements in Life Sciences**. 4(3) : 97-107
- Kolisch, G dan Schirmer, G. 2004. *Lamella Separators in The Upgrading of a Large Urban Sewage Treatment Plant*. **Water Science and Technology**. 5(7) : 205-212.
- Kristijarti, A. P., Suharto, I., dan Marieanna, M. 2013. **Penentuan Jenis Koagulan dan Dosis Optimum untuk Meningkatkan Efisiensi Sedimentasi dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Jamu X**. Research Report-Engineering Science, 2.
- Kusnaedi. 2006. **Mengolah Air Gambut dan Air Kotor untuk Air Minum**. Jakarta : Penebar Swadaya.
- Laura, P.D., Moersidik, S.S., dan Priadi, C.R. 2014. Adsorpsi dan Regenerasi Karbon Aktif Dalam Pengolahan Air Limbah Industri Farmasi Terhadap Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Lu, P.J., Lin, H.C., Yu, W.T., dan Chem, J.M. 2011. Chemical Regeneration of Activated carbon Used for Dye Adsorption. **Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers**. 42 : 305-311
- Manulangga, O.G dan Hadi, W. 2011. **Studi Efektivitas Lamella Separator Dalam Pengolahan Air Sadah**. Laporan Thesis. Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
- Margaretha, Mayasari, R., Syaiful dan Subroto. 2012. Pengaruh Kualitas Air Baku Terhadap Dosis dan Biaya Koagulan Aluminium Sulfat dan *Polyaluminium Chloride*. **Jurnal Teknik Kimia**. 18(4) : 21-30.

- Masduqi, A dan Assomadi, A.F. 2016. **Operasi dan Proses Pengolahan Air Edisi Kedua**. Surabaya : ITS Press.
- Murti, R. Setiya dan C. Maria H.P. 2014. Optimasi Waktu Reaksi Pembentukan Kompleks Indofenol Biru Stabil Pada Uji N-Amonia Air Limbah Industri Penyamakan Kulit Dengan Metode Fenat. **Majalah Kulit, Karet, dan Plastik**. 30(1) : 29-34.
- Muzakky, A., Karnaningroem, N dan Razif, M. 2016. Evaluasi dan Desain Ulang Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Tekstil di Kota Surabaya Menggunakan Biofilter Tercelup Anaerobik-Aerobik. **Jurnal Teknik ITS**. 5(2) : 176-181.
- Narita, K., Lelono, B., dan Arifin, S. 2011. **Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Penentuan Dosis Tawas pada Proses Koagulasi Sistem Pengolahan Air Bersih**. Surabaya : Teknik Fisika ITS.
- Nansubuga, I., Banadda, N., Babu, M., Verstraete, W. and Van de Wiele, T. 2013. Effect of Polyaluminium Chloride Water Treatment Sludge on Effluent Quality of Domestic Wastewater Treatment. **African Journal of Environmental Science and Technology**. 7(4) : 145–152.
- Narwanti, I., Sugiharto, E dan Anwar, C. 2012. Residu Pestisida Piretroid Pada Bawang Merah di Desa Srigading Kecamatan Sanden Kabupaten Bantul. **Jurnal Ilmiah Kefarmasian**. 2(2) : 119-128.
- Norjannah, S. 2015. **Keefektifan Dosis Koagulan Ferri Klorida (FeCl₃) Dalam Menurunkan Kadar Total Suspended Solid (TSS) Pada Air Limbah Batik Brotoseno Masaran Sragen**. Surakarta : Prodi Kesehatan Masyarakat Fakultas Ilmu Kesehatan UMS.
- Nur, A., Anugrah, R. dan Farnas, Z. 2016. **Efektivitas dan Efisiensi Koagulan Polyaluminium Chloride (PAC) Terhadap Performance IPA KTK PDAM Solok**. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan II, Padang, 19 Oktober 2016.
- Nurlina., Zahara, T.A., Gusrizal., dan Kartika, I.D. 2015. **Efektivitas Penggunaan Tawas dan Karbon Aktif Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu**. Prosiding

- SEMIRATA 2015 bidang MIPA BKS-PTN Barat Universitas Tanjungpura, Pontianak. Halaman 690 – 699.
- Nurmalita., Maulidia dan Syukri, M. 2013. **Analisa Kekeuhan dan Kandungan Sedimen dan Kaitannya dengan Kondisi DAS Sungai Krueng Aceh**. Seminar Nasional Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Berbasis Masyarakat Menuju Hutan Aceh Berkelanjutan, Banda Aceh, 19 Maret 2013.
- Oktarini, D., Marsaulina, I dan Chahaya, I. 2012. Sistem Pengolahan Limbah Padat dan Limbah Cair Serta Analisis Efluen Pada Pabrik Perekat Kayu Lapis di Kota Langsa. 1(2) : 1-8.
- Pangestuti, E.K., Lashari dan Hardono, A. 2016. Pengawetan Kayu Sengon Melalui Rendaman Dingin Menggunakan Bahan Pengawet Enbor Sp Ditinjau Terhadap Sifat Mekanik. **Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan**. 18(1) : 55-64.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur No 72 Tahun 2013 tentang **Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri dan/atau Kegiatan Industri lainnya di Jawa Timur**.
- Peraturan Kementerian Perindustrian Republik Indonesia No 90 Tahun 2011 tentang **Perubahan Atas Peraturan Perindustrian Nomor 119/M-IND/PER/10/2009 tentang Peta Panduan (Road Map) Pengembangan Klaster Industri Furniture**.
- Prasetyo, K.W., Yusuf, S., dan Yulia, T. 2005. **Mencegah dan Membasmi Rayap Secara Ramah Lingkungan dan Kimiawi**. Jakarta : Agromedia Pustaka
- Prayitno., Saroso, H., Hardjono., dan Rulianah, S. 2017. Ozonisasi Air Limbah Rumah Sakit Menggunakan Reaktor Kontak Ber'packing'. **Prosiding Sentrinov, Malang**.
- Puranto, A.D dan Razif, M. 2005. Pemanfaatan Kulit biji Mete Untuk Arang Aktif Sebagai Adsorben Terhadap Penurunan Parameter *Phenol*. **Jurnal Purifikasi**. 6(1) : 37-42
- Rezagama, A dan Notodarmojo, S. 2012. **Kinetika Transfer Ozon dan Tren Kekeuhan Dalam Lindi Dengan Pengolahan Ozonisasi**. Bandung : ITB
- Rinaldi, N.J., Listyanto, T., Karyanto, O dan Lukmandaru, G. 2012. **Pengawetan Metode Rendaman Panas Dingin Kayu Sengon dengan Ekstrak Buah Kecubung Terhadap**

- Serangan Rayap Kayu Kering.** Seminar Nasional Mapeki XV (6-7 November 2012), Makassar.
- Rinawati., Hidayat,D., Suprianto, R. Dan Dewi, P.S. 2016. Penentuan Kandungan Zat Padat (*Total Dissolved Solid dan Total Suspended Solid*) di Perairan Teluk Lampung. **Analit: Analytical and Environmental Chemistry**, 1(1) : 36-45.
- Riskawanti., Honesty, L.B., Irawan, C dan Taruna, A. 2016. Pengolahan Limbah Perendaman Karet Rakyat dengan Metode Koagulasi dan Flokulasi Menggunakan $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ dan PAC. **Biopropal Industri**. 7(1) : 17-25.
- Rochma, N dan Titah, H.S. 2017. Penurunan Bod dan Cod Limbah Cair Industri Batik Menggunakan Karbon Aktif Melalui Proses Adsorpsi Secara Batch. **Jurnal Teknik ITS**. 6(2) : 324-329
- Rosariawari, F. dan Mirwan, M. 2013. Efektivitas PAC dan Tawas Untuk Menurunkan Kekeruhan pada Air Permukaan. *Envirotek* : **Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan**. 5(1).
- Rosariawari, F., Wahjudijanto, I dan Rachmanto, T.A. 2018. Peningkatan Efektifitas Aerasi Dengan Menggunakan Micro Bubble Generator (MBG). **Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan**. 8(2) : 88-97.
- Rosenheimer, M.S. dan Dubowski, Y. 2007. Heterogenous Ozonolysis of Cypermethrin Using Real-Time Monitoring FTIR Techniques. **Journal Physic Chem**. 111(31) : 11682-11691.
- Sahubawa, L. 2008. Analisis Dan Prediksi Beban Pencemaran Limbah Cair Industri Kayulapis PT. Jati Dharma Indah, Serta Dampaknya Terhadap Kualitas Perairan Laut. **Jurnal Manusia dan Lingkungan**. 15(2) : 70-78.
- Said, N.S. 2000. Teknologi Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilm Tercelup. **Jurnal Teknologi Lingkungan**. 1(2) : 101-113.
- Saputri W. E. 2011. Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA) Badakan PDAM Tirta Kerta Raharja Kota Tangerang. Depok: Skripsi Universitas Indonesia.
- Sari, L.K., Safni, dan Zilfa. 2012. Degradasi Senyawa Sipermetrin Dalam Insektisida Ripcord 5 EC Secara Fotolisis Dengan

- Penambahan TiO_2 /Zeolit. **Jurnal Kimia Unand**. 1(1) : 76-81.
- Sari, N.R, Sunarto dan Wiryanto. 2015. Analisis Komparasi Kualitas Air Limbah Domestik Berdasarkan Parameter Biologi, Fisika Dan Kimia di IPAL Semanggi dan IPAL Mojosongo Surakarta. **Jurnal EKOSAINS**. 7(2) : 62-74.
- Sayuti, P.A., Astuti, D., dan Kasjono, H.S. 2015. **Keefektifan Ferri Chlorida (FeCl_3) Dalam Menurunkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD pada Limbah Cair Industri Batik CV. Brotoseno Masaran Sragen**. Surakarta : Prodi Kesehatan Masyarakat Fakultas Ilmu Kesehatan UMS.
- Silaban, D.S., Sulistyani, dan Rahardjo, M. 2017. Efektivitas Variasi Dosis Ferri Klorida (FeCl_3) Sebagai Koagulan Dalam Menurunkan Kadar Kadmium (Cd) Pada Air Lindi TPA Jatibarang Semarang. **Jurnal Kesehatan Masyarakat**. 5(1) : 438-443.
- Soedarmanto, Heri. 2012. Penanganan Limbah Cair Kilang Pengolahan Kayu Dengan Sistem Recycling. **Jurnal INTEKNA**. 1 : 72 – 76.
- Subari, D. 2014. *Effectiveness of Liquid Waste Management in Plywood Industry in South Kalimantan*. **IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)**. 8(5) : 28-33.
- Subari, D., Udiansyah, Yanuwiyadi, B dan Setiawan, B. 2012. Efektivitas Pengelolaan Limbah Cair Pada Industri Kayu Lapis di Kalimantan Selatan. **Jurnal Buana Sains**. 12(1) : 99-108.
- Sururi, M.R., Pharmawati, K dan Paramanita. 2012. Penyisihan Bahan Organik Alami Pada Air Permukaan Dengan Ozonisasi Dan Ozonisasi – Filtrasi. **Jurnal Purifikasi**. 13(1) : 1-8
- Susana, T. 2009. Tingkat Keasaman (pH) dan Oksigen Terlarut Sebagai Indikator Kualitas Perairan Sekitar Muara Sungai Cisdane. **Jurnal Teknik Lingkungan**. 5(2) : 33-39.
- Sunny, N., Basheer, A., Johnson, A., Sreedhar, G.A dan Melwin, T.G. 2016. *Treatment Of Effluent From Plywood Industry*. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**. 3(20) : 1115-1117.

- Sutapa, IDA. 2014. Optimalisasi Dosis Koagulan Aluminium Sulfat dan Polialuminium Klorida (PAC) Untuk Pengolahan Air Sungai Tanjung dan Krueng Raya. **Jurnal Teknik Hidraulik**. 5(1) : 29-42.
- Syafalni, S., Abustan, I., Dahlan, I., Wah, C. K., dan Umar, G. (2012). Treatment Of Dye Wastewater Using Granular Activated Carbon And Zeolite Filter. **Modern Applied Science**. 6 (2) : 37–51.
- von Gunten, U. 2003. Ozonation of Drinking Water Part I : Oxidation Kinetics and Product Formation. **Water Research**. 37. 1443-1467.
- Widayat, W., Suprihatin dan Herlambang, A. 2010. Penyisihan Amoniak Dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Air Baku PDAM-IPA Bojong Renged Dengan Proses Biofiltrasi Menggunakan Media Plastik Tipe Sarang Tawon. **JAI**. 6(1) : 64-76.
- Wiyono, N., Faturrahman, A dan Syaughiah, I. 2017. Sistem Pengolahan Air Minum Sederhana (*Portable Water Treatment*). **Jurnal Konversi**. 6(1) : 27-35
- Zahra, L.Z dan Purwanti, I.F. 2015. Pengolahan Limbah Rumah Makan dengan Proses Biofilter Aerobik. **Jurnal Teknik ITS**. 4(1) : 35-39.
- Zilfa., Yusuf, Y., dan Rahmi, W. 2013. **Pemanfaatan TiO₂/Zeolit Alam Sebagai Pendegradasi Pestisida (Permetrin) Secara Ozonolisis**. Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung 2013
- Zulius, A. 2017. Rancang Bangun Monitoring pH Air Menggunakan *Soil Moisture Sensor* di SMK N 1 Tebing Tinggi Kabupaten Empat Lawang. **JUSIKOM**. 2(1) : 37-43.

LAMPIRAN A

PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

Analisis COD

Pembuatan reagen:

- a. Pembuatan larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N.
 - Letakkan serbuk $K_2Cr_2O_7$ dalam oven selama 24 jam.
 - Timbang 4,9 g $K_2Cr_2O_7$, larutkan dengan aquades hingga 1000 mL.
- b. Pembuatan larutan FAS 0,0125 N.
 - Timbang 39,2 g $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$. Tambahkan dengan 8 mL H_2SO_4 pekat.
 - Larutkan dengan aquades hingga 1000 mL menggunakan labu pengencer.
- c. Larutan Ag_2SO_4
 - Timbang 10 g Ag_2SO_4 dan dilarutkan dengan 1 L H_2SO_4 .
- d. Larutan indikator ferroin
 - Timbang 1,485 g *ortho-penanthroline* dan 0,695 g $FeSO_4 \cdot H_2O$ ditambahkan aquades hingga batas dengan labu pengencer 100 mL.

Prosedur kerja:

1. Ambil 1 mL sampel limbah diencerkan dengan aquades hingga 10-100 kali pengenceran.
2. Ambil 2,5 ml sampel dan dimasukkan ke tabung vial COD.
3. Tambahkan 1,5 mL $K_2Cr_2O_7$.
4. Tambahkan 2,5 mL Ag_2SO_4 .
5. Tutup tabung COD.
6. Masukkan tabung vial COD ke digester selama 2 jam ($150^\circ C$).
7. Tunggu hingga dingin.
8. Tambahkan indikator ferroin 1-2 tetes.
9. Titrasi dengan FAS hingga warna merah bata.
10. Hitung dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan: A= mL FAS titrasi blanko
B= mL FAS titrasi sampel
N= normalitas larutan FAS
P= nilai pengenceran

Analisis BOD₅

Pembuatan reagen:

1. Buffer fosfat
 - Tambahkan KH_2PO_4 0,85 g ke dalam labu pengencer.
 - Tambahkan K_2HPO_4 0,2175 g ke dalam labu pengencer.
 - Tambahkan $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,334 g ke dalam labu pengencer.
 - Tambahkan NH_4Cl 0,17 g ke dalam labu pengencer.
 - Tambahkan aquades hingga 100 mL.
2. $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
 - Tambahkan 0,225 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ke dalam labu pengencer.
 - Tambahkan aquades hingga volume keseluruhan menjadi 100 mL.
3. CaCl_2
 - Tambahkan 0,275 g CaCl_2 ke dalam labu pengencer.
 - Tambahkan aquades hingga volume keseluruhan menjadi 100 mL.
4. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
 - Tambahkan 0,025 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ke dalam labu pengencer.
 - Tambahkan aquades hingga volume keseluruhan menjadi 1000 mL.
5. Larutan thiosulfat 0,01 N
 - Tambahkan 24,82 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ larutkan dengan 1000 mL aquades yang mendidih.
 - Dinginkan pada suhu ruang, kemudian tambahkan 1 g NaOH sebagai *buffer*.
6. Larutan MnCl_2 20%
 - Ambil 20 g MnCl_2 ke dalam labu pengencer.
 - Larutkan 100 mL dengan aquades.
7. Pereaksi oksigen
 - Ambil 40 g NaOH, 15 g KI dan 2 gr NaN_3 ke dalam labu pengencer.
 - Larutkan dengan 100 mL aquades.
8. Indikator amilum 1%
 - Ambil 1 g amilum dalam labu pengencer.
 - Larutkan dengan 100 mL aquades yang mendidih .

- Tambahkan sedikit Hgl₂ sebagai pengawet.
9. H₂SO₄ pekat.

Prosedur kerja:

1. Buat larutan pengencer dengan prosedur sebagai berikut:
 - Ambil 1 mL sampel limbah letakkan dalam wadah
 - Tambahkan 1000 L aquades
 - Tambahkan 1 mL buffer fosfat
 - Tambahkan 1 mL MgSO₄
 - Tambahkan 1 mL CaCl₂
 - Tambahkan 1 mL FeCl₃
 - Aerasi sampai dengan DO 7 (diukur dengan menggunakan DO meter) atau minimal 2 jam.
2. Untuk menentukan angka pengencerannya maka dibutuhkan angka KMnO₄

$$P = \frac{\text{Angka KMnO}_4}{3 \text{ atau } 5 \text{ (tergantung dari pH sampel)}}$$

3. Siapkan 1 buah labu pengencer 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer hingga batas labu.
4. Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL.
5. Tuangkan air dalam labu pengencer tadi ke dalam botol wikler yang telah disiapkan dampai tumpah.
6. Bungkus kedua botol winkler 300 mL dengan menggunakan plastic wrap agar kedap udara. Kemudian masukkan kedua botol tersebut ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
7. Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air di analisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 mL larutan MnCl₂
 - Tambahkan 1 mL larutan pereaksi oksigen
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara di dalam botol kemudian dikocok beberapa kali
 - Biarkan gumpalan mengendap selama ± 10 menit
 - Tambahkan 1 mL H₂SO₄ pekat, tutup dan kocok kembali
 - Tuangkan 100 mL larutan ke dalam erlenmeyer 250 mL
 - Tambahkan 3 tetes indikator amilum
 - Titrasi dengan larutan Natrium thiosulfat 0,0125 N sampai warna biru hilang

8. Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam winkler 300 mL seperti analisis dengan oksigen terlarut
9. Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 - \text{OT} \left(\frac{\text{mg O}_2}{\text{L}} \right) &= \frac{a \times N \times 6000}{100 \text{ mL}} \\
 - \text{BOD}_5^{20} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) &= \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)]}{P} \\
 - P &= \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}
 \end{aligned}$$

Dimana:

- a = volume titran (mL)
- N = Normalitas Natrium tiosulfat
- X₀ = oksigen terlarut sampel pada t=0
- X₅ = oksigen terlarut sampel pada t=5
- B₀ = oksigen terlarut blanko pada t=0
- B₅ = oksigen terlarut blanko pada t=0
- P = derajat pengenceran

Analisis TSS

Prosedur kerja:

1. Ambil 25 mL sampel, letakkan pada *beaker glass* 100 mL
2. Timbang kertas saring dan cawan porselen secara bergantian
3. Ambil kertas saring, basahi dengan aquades
4. Letakkan kertas saring di atas penyaring *vacuum pump*. Tempatkan *vacuum pump* pada keadaan yang seharusnya
5. Tuangkan air sampel ke dalam corong *vacuum pump* hingga setengah bagian dari corong bagian bawah
6. Nyalakan *vacuum pump*, dengan menambahkan air sampel sedikit demi sedikit. Matika ketika air di atas kertas saring dalam *vacuum pump* sudah habis.
7. Ambil kertas saring dan letakkan di dalam cawan porselen
8. Masukkan dalam oven 105°C selama 60 menit
9. Keluarkan dari oven dan masukkan ke dalam desikator selama 15 menit
10. Keluarkan dari desikator dan timbang dengan neraca analitik.
11. Analisis hasil dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

a = cawan dan residu setelah dioven 105°C

b = cawan kosong

c = volume sampel

Analisis Kekeruhan

Prosedur kerja :

1. Nyalakan turbidimeter
2. Masukkan blanko aquades ke dalam tabung turbidimeter dan set zero (0)
3. Ganti larutan blanko dengan larutan air sampel pada tabung, tekan *read* untuk membaca nilai kekeruhan yang dihasilkan (NTU)
4. Catat angka yang dihasilkan

Analisis pH

Prosedur kerja :

1. Nyalakan pH meter
2. Cuci *probe* dengan aquades
3. Masukkan *probe* ke sampel air limbah, tunggu hingga stabil dan baca nilai pH
4. Cuci *probe* dengan aquades hingga bersih dan masukkan *probe* ke larutan KCl (buffer pH 4) sebagai penyimpanan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN KECEPATAN PENGADUKAN PADA JAR TEST

- Kriteria desain pengadukan**

Jenis pengadukan	Rentang nilai		
	Waktu detensi (td)	G (per detik)	Gtd
Pengadukan cepat	20-60 detik	700-1000	-
Pengadukan lambat	10-60 menit	20-100	48.000-210.000

- Rumus-rumus :**

$$P = K_T n^3 D_i^5 \rho \quad (\text{aliran turbulen } N_{Re} > 10.000)$$

$$P = K_L n^3 D_i^5 \rho \quad (\text{aliran laminer } N_{Re} < 20)$$

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 n \rho}{\mu}$$

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

Dimana :

P = Daya (N.m/detik)

K_T = Konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

K_L = Konstanta pengaduk untuk aliran laminer

n = Kecepatan pengadukan (rps)

D_i = Diameter pengaduk (m)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

N_{Re} = Bilangan Reynold

μ = Viskositas absolut air (N.det/m^3)

G = Gradien pengadukan ($\frac{1}{\text{detik}}$)

V = Volume (m^3)

- Perhitungan :**

Direncanakan :

$$T = 28^\circ\text{C}$$

$$\rho = 996,26 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,8363 \times 10^{-3} \text{ N.det/m}^3$$

Pengaduk *jar test* memiliki diameter 7 cm = 7×10^{-2} m

$$K_T = 2,25$$

$$K_L = 43$$

} Tabel 8.2 Buku Reynold dan Richard (1996)

Jika tangki tidak bersekat (*baffle*) maka nilai K dikalikan 75% (Reynold dan Richard (1996)

$$K_T = 2,25 \times 0,75 = 1,69$$

➤ **Pengadukan Cepat**

$$G = 700/\text{detik}$$

$$T_d = 60 \text{ detik}$$

$$V \text{ sampel} = 500 \text{ ml} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

$$700/\text{det} = \sqrt{\frac{P}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \frac{\text{det}}{\text{m}^3} \times 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3}}$$

$$490000/\text{det}^2 = \frac{P}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \frac{\text{det}}{\text{m}^3} \times 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$P = 0,205 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{detik}$$

$$P = K_T n^3 D_i^5 \rho$$

$$0,205 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{det} = 1,69 \cdot n^3 \cdot (7 \times 10^{-2} \text{ m})^5 \cdot 996,26 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$n = 4,16 \text{ rps}$$

$$n = \mathbf{250 \text{ rpm}}$$

- Cek N_{Re}

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 n \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(7 \times 10^{-2} \text{ m})^2 \times 4,16 \text{ rps} \times 996,26 \text{ kg}/\text{m}^3}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{det}/\text{m}^3}$$

$$= 23.515,24 \gg 10.000 \text{ (turbulen)}$$

- Maka pengadukan cepat dilakukan dengan kecepatan 250 rpm selama 60 detik

➤ **Pengadukan Lambat**

$$G = 70/\text{detik} \text{ (kriteria 20-100/detik)}$$

$$T_d = 15 \text{ menit}$$

$$V \text{ sampel} = 500 \text{ ml} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

$$70/\text{det} = \sqrt{\frac{P}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \frac{\text{det}}{\text{m}^3} \times 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3}}$$

$$4900/\text{det}^2 = \frac{P}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \frac{\text{det}}{\text{m}^3} \times 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$P = 2,05 \times 10^{-3} \text{ N.m/detik}$$

$$P = K_T n^3 D_i^5 \rho$$

$$2,05 \times 10^{-3} \text{ N.m/detik} = 1,69 \cdot n^3 \cdot (7 \times 10^{-2} \text{ m})^5 \cdot 996,26 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 0,898 \text{ rps}$$

$$n = 54 \text{ rpm} \rightarrow 50 \text{ rpm} = 0,83 \text{ rps}$$

- Cek N_{Re}

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 n \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(7 \times 10^{-2} \text{ m})^2 \times 0,83 \text{ rps} \times 996,26 \text{ kg/m}^3}{0,8363 \times 10^{-3} \text{ N.det/m}^3}$$

$$= 4.845 \text{ (transisi tetap menggunakan rumus}$$

turbulen)

- $G_{td} = G \times T_d$
 $= 70/\text{det} \times 15 \text{ menit} \times 60 \text{ detik/menit} = 63.000$
 (memenuhi kriteria)
- **Maka pengadukan lambat dilakukan dengan kecepatan 50 rpm selama 15 menit**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C

HASIL UJI LABORATORIUM KUALITAS AIR LIMBAH DI UNIT-UNIT IPAL



LABORATORIUM LINGKUNGAN
Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 333370
E-mail : laboratoriumjasatirta1@yahoo.co.id



Halaman 2 dari 2
Page 2 of 2

Uraian Contoh Uji : Kolam I (Penampungan)
Description of Sample
Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method
Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan Perum Jasa Tirta I
Place of Analysis
Tanggal Analisa : 08 - 23 April 2019
Testing Date(s)



HASIL ANALISA *Result of Analysis*

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	6.06	6-9	QI/LKA/08 (Elektrometri)	
2	BOD	mg/L	6560	75	APHA. 5210 B-1998	
3	COD	mg/L	15000	125	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	
4	TSS	mg/L	396	50	APHA. 2540 D-2005	
5	Amonia (NH3-N)	mg/L	6.412	4	APHA. 4500-NH3 F-2005	
6	Phenol	mg/L	0,1335	0.25	QI/LKA/13 (Spektrofotometri)	

*) Standard Baku Mutu sesuai dengan
Threshold Value fully adopted from

: Baku Mutu Lampiran I Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2014
Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Kayu Lapis



Uraian Contoh Uji : Outlet (Lamella Separator)
Description of Sample
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method
 Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan Perum Jasa Tirta I
Place of Analysis
 Tanggal Analisa : 08 - 23 April 2019
Testing Date(s)



HASIL ANALISA
Result of Analysis

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	320.0	-	APHA 2540 D-2017	
2	pH	-	6.01	-	SNT 06-6989.11-2004	
3	BOD	mg/L	7601	-	APHA. 5210 B-2017	
4	COD	mg/L	15700	-	SNI 6989.2:2009 (spektrofotometri)	



*) Standard Baku Mutu sesuai dengan
 Threshold Value fully adopted from

:-

Uraian Contoh Uji : Kolam 2 (Koagulasi-Flokulasi)
 Description of Sample
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Sample Method
 Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan Perum Jasa Tirta I
 Place of Analysis
 Tanggal Analisa : 08 - 23 April 2019
 Testing Date(s)



HASIL ANALISA
Result of Analysis

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	BOD	mg/L	5221	-	APHA, 5210 B-2017	
2	COD	mg/L	9590	-	SNI 6989.2:2009 (spektrofotometri)	
3	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	112	-	APHA 2540 D-2017	
4	pH	-	2.39	-	SNI 06-6989.11-2004	



*) Standard Baku Mutu sesuai dengan
 Threshold Value fully adopted from

:-

Uraian Contoh Uji : Outlet (Filter Press)
Description of Sample
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method
 Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan Perum Jasa Tirta I
Place of Analysis
 Tanggal Analisa : 08 - 23 April 2019
Testing Date(s)



HASIL ANALISA
Result of Analysis

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	BOD	mg/L	5551	-	APHA. 5210 B-2017	
2	COD	mg/L	10700	-	SNI 6989.2:2009 (spektrofotometri)	
3	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	158,0	-	APHA 2540 D-2017	
4	pH	-	2.26	-	SNI 06-6989.11-2004	



*) Standard Baku Mutu sesuai dengan
 Threshold Value fully adopted from

Uraian Contoh Uji : Outlet (Filter Carbon)
Description of Sample
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sample Method
 Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan Perum Jasa Tirta I
Place of Analysis
 Tanggal Analisa : 08 - 23 April 2019
Testing Date(s)



HASIL ANALISA

Result of Analysis

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	3.03	6-9	QI/LKA/08 (Elektrometri)	
2	BOD	mg/L	1268	75	APHA. 5210 B-1998	
3	COD	mg/L	3740	125	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	
4	TSS	mg/L	104	50	APHA. 2540 D-2005	
5	Amonia (NH3-N)	mg/L	2,377	4	APHA. 4500-NH3 F-2005	
6	Phenol	mg/L	0,1451	0.25	QI/LKA/13 (Spektrofotometri)	

*) Standard Baku Mutu sesuai dengan
Threshold Value fully adopted from

: Baku Mutu Lampiran I Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013
 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Kayu Lapis





JASA TIRTA I

LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp.(0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 333370
E-mail : laboratoriumjasatirta1@yahoo.co.id



Halaman 2 dari 2

Page 2 of 2

Uraian Contoh Uji : Kolam 3 (Aerasi)
 Description of Sample
 Metode Pengambilan Contoh Uji :-
 Sample Method
 Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan Perum Jasa Tirta I
 Place of Analysis
 Tanggal Analisa : 08 - 23 April 2019
 Testing Date(s)



HASIL ANALISA

Result of Analysis

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.29	6-9	QI/LKA/08 (Elektrometri)	
2	BOD	mg/L	402.9	75	APHA. 5210 B-1998	
3	COD	mg/L	1500	125	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	
4	TSS	mg/L	80	50	APHA. 2540 D-2005	
5	Amonia (NH ₃ -N)	mg/L	1,435	4	APHA. 4500-NH ₃ F-2005	
6	Phenol	mg/L	0,0048	0.25	QI/LKA/13 (Spektrofotometri)	

*) Standard Baku Mutu sesuai dengan
Threshold Value fully adopted from

: Baku Mutu Lampiran I Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013
Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Kayu Lapis



Uraian Contoh Uji : Tandon Akhir (Ozonisasi)
 Description of Sample
 Metode Pengambilan Contoh Uji : -
 Sample Method
 Tempat Analisa : Laboratorium Lingkungan Perum Jasa Tirta I
 Place of Analysis
 Tanggal Analisa : 08 - 23 April 2019
 Testing Date(s)



HASIL ANALISA

Result of Analysis

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Standard Baku Mutu *)	Metode Analisa	Keterangan
1	pH	-	7.24	6-9	QI/LKA/08 (Elektrometri)	
2	BOD	mg/L	338,9	75	APHA. 5210 B-1998	
3	COD	mg/L	838.7	125	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)	
4	TSS	mg/L	38.0	50	APHA. 2540 D-2005	
5	Amonia (NH3-N)	mg/L	1.391	4	APHA. 4500-NH3 F-2005	
6	Phenol	mg/L	< 0.0009	0.25	QI/LKA/13 (Spektrofotometri)	

*) Standard Baku Mutu sesuai dengan
 Threshold Value fully adopted from

: Baku Mutu Lampiran I Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2009
 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Kayu Lapis



“Halaman ini sengaja dikosongkan”


LAMPIRAN D

SPESIFIKASI *DOSING PUMP* BAK PEMBUBUH KOAGULAN

MECHANICAL

LGP

DIAPHRAGM METERING PUMP



GM

▪ **Parameter Table**

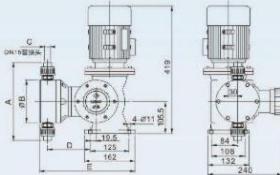
Model	50Hz			60Hz			Pressure		Diaphragm Dia.(mm)	Power KW/(HP)
	Flow (lph)	Flow (gph)	SPM	Flow (gph)	Flow (lph)	SPM	Bar	Psi		
GM 25/1.0	25	6.6	48	7.9	30	58	10	145	60	0.37(0.5)
GM 50/1.0	50	13	96	16	60	115	10	145		
GM 80/0.7	80	21	48	25	96	58	7	102		
GM 120/0.7	120	32	48	38	144	58	7	102		
GM 170/0.7	170	45	96	54	204	115	7	102		
GM 240/0.5	240	63	96	76	288	115	5	73	112	
GM 320/0.5	310	82	144	98	372	173	5	73		
GM 420/0.5	420	111	144	133	504	173	5	73		
GM 500/0.5	480	127	144	152	576	173	5	73		

Connection

Model	PVC	PTFE	SS
GM25- GM50	6.5x10mm PE hose	RCL1/2" F	6x10mm, union for welding
GM80- GM120	DN15 glue union	RCL1/2" F	10x16mm, union for welding
GM170- GM500	DN15 glue union	RC 3/4" F	15x24mm, union for welding

Unit: mm

Model	A	B	C	D	E
GM25	172	94	0	128	285
GM50-500	256	140	DN16	137.5	312



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN E

SPEKIFIKASI PAC

TAKI CHEMICAL CO., LTD.

> Japanese > Site Map

Home

Company Information

Business information

Research and Development

Contact



Chemicals Business

- > Water Treatment Chemicals
- > Functional Materials

Home > Business information > Chemicals Business > Water Treatment Chemicals : Poly Aluminum Chloride (PAC)

Water Treatment Chemicals

Poly Aluminum Chloride (PAC)

Product Name	Poly Aluminum Chloride (PAC)	
General Formula	[Al ₂ (OH) _n Cl _{3-n}] _m (1≤n≤5,m≤10)	
Brands	PAC250A PAC300A Liquid	PAC250AD Powder
Specific Gravity	1.2 (20°C)	-
Concentration	10.0-10.6% as Al ₂ O ₃	Minimum 30% as Al ₂ O ₃
Package	Liquid : Tank Truck or 20kg net bag-in-box 	
	Powder : 20kg net polyethylene bag 	
Standard	JIS K1475-1996 (Liquid) JWWA K154 (Liquid)	
Main Application	Drinking Water Treatment, Industrial Water Treatment, Urban Sewage Treatment, Effluent Treatment from Civil Engineering Works, Industrial Waste Water Treatment, Coagulation in Production Process, Organic Sludge Filtration and Dehydration	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN F

SPESIFIKASI NaOH

indonetwork
.CO.ID

Apa yang Anda cari?

SEMUA PROPINSI

Semua Kategori / Bahan Kimia / Bahan Kimia Lainnya / Produk Berbahan Kimia Lainnya



Caustic Soda (NaOH) Liquid 48 %

Update Terakhir : 22 / 03 / 2019

TAMBAH KE FAVORIT

Min. Pembelian : 1 Unit

Harga

CALL

Bagikan



DESKRIPSI PRODUK

TENTANG PERUSAHAAN

Detail Jual Caustic Soda Cair 48% / NaOH Cair

Caustic soda memiliki rumus kimia yaitu NaOH yang bersifat basa, tidak berbau dan tidak berwarna . soda caustic merupakan bahan kimia yang sangat korosif dan reaktif. larutan soda caustic mudah bereaksi dengan logam seperti aluminium, magnesium, seng, timah, kromium, perunggu, kuningan, tembaga, dan paduan mengandung logam. Beberapa industri yang menggunakan caustic soda antara lain yaitu pabrik sabun, detergen pulp dan kertas, soda juga digunakan dalam alumina seperti industri minyak dan gas serta tekstil. Caustic soda adalah bahan kimia komoditas penting bagi industri pulp dan kertas. Pokok menggunakan dalam industri pulp dan kertas termasuk memasak / pengolahan pulp Kraft, ekstraksi lignin selama urutan pemutihan pulp, dan pembuatan on-situs natrium hipoklorit. Prosedur pemutihan pulp umum melibatkan urutan pemutihan selama kotoran dan materi berwarna pulp adalah teroksidasi dan diubah ke bentuk alkali larut, dan urutan ekstraksi selama kotoran dihapus. Tahap Ekstraksi pada pulp hampir selalu digunakan soda kaustik sebagai bahan baku ekstraksinya. jual NaOH cair, jual kaustik soda, jual soda cair, jual caustic soda 48%

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN G DOKUMENTASI



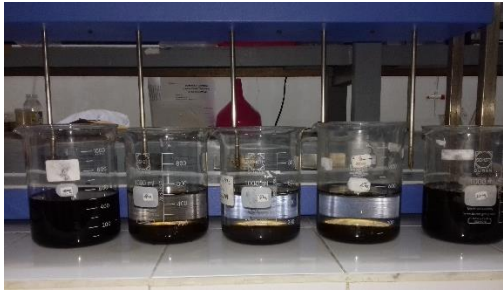
Gambar 1. Sampling air limbah



Gambar 2. Lokasi bangunan IPAL



Gambar 3. Percobaan Jar test



Gambar 4. Hasil percobaan Jar test



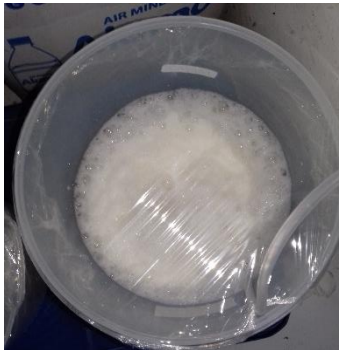
Gambar 5. Analisis COD



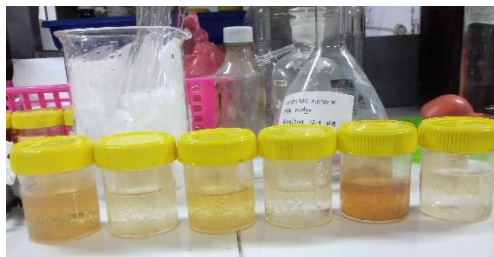
Gambar 6. Analisis BOD



Gambar 7. Analisis Kadar Solid (TS)



Gambar 8. Percobaan Aerasi

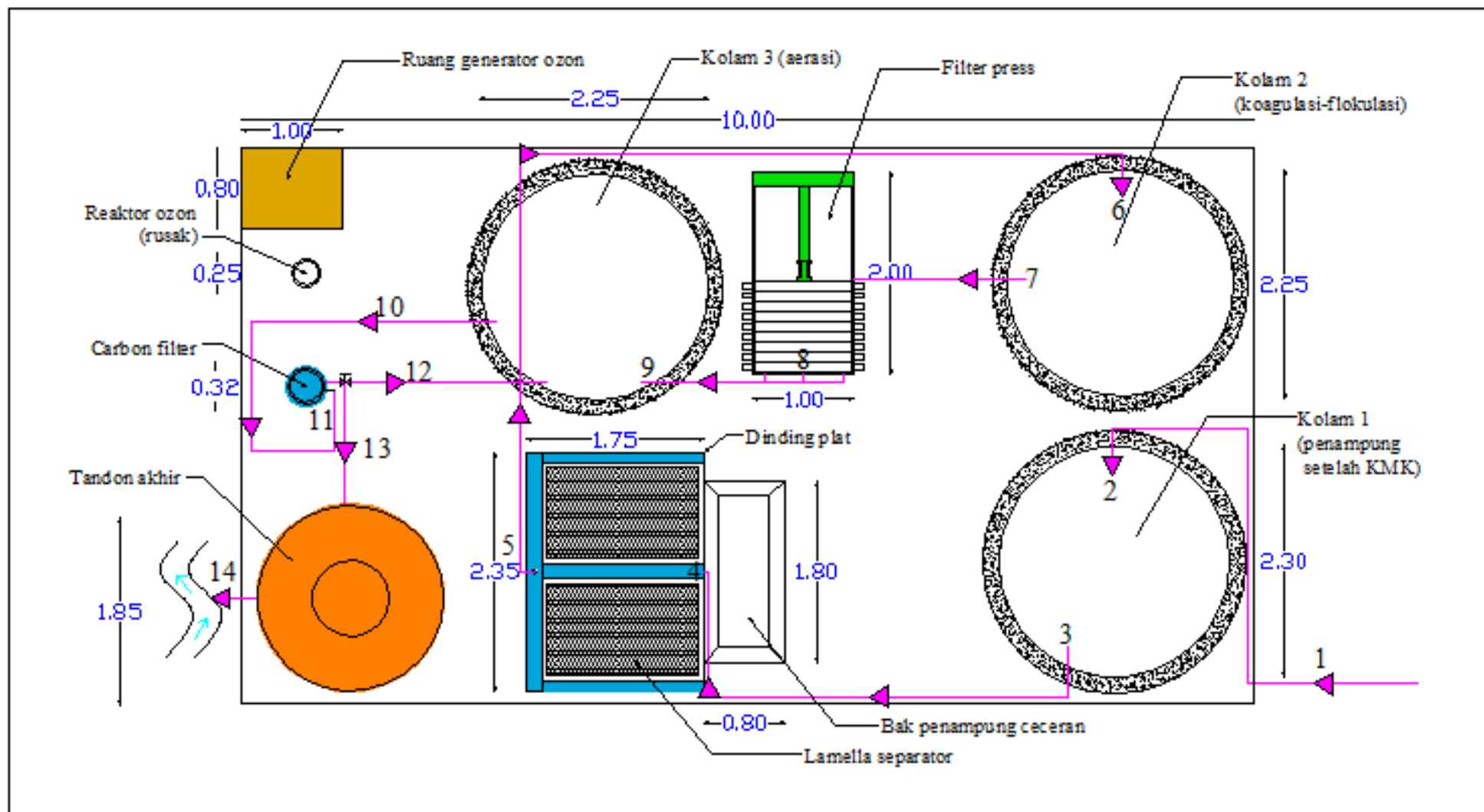








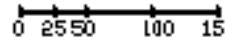
Gambar 9. Hasil Percobaan Aerasi

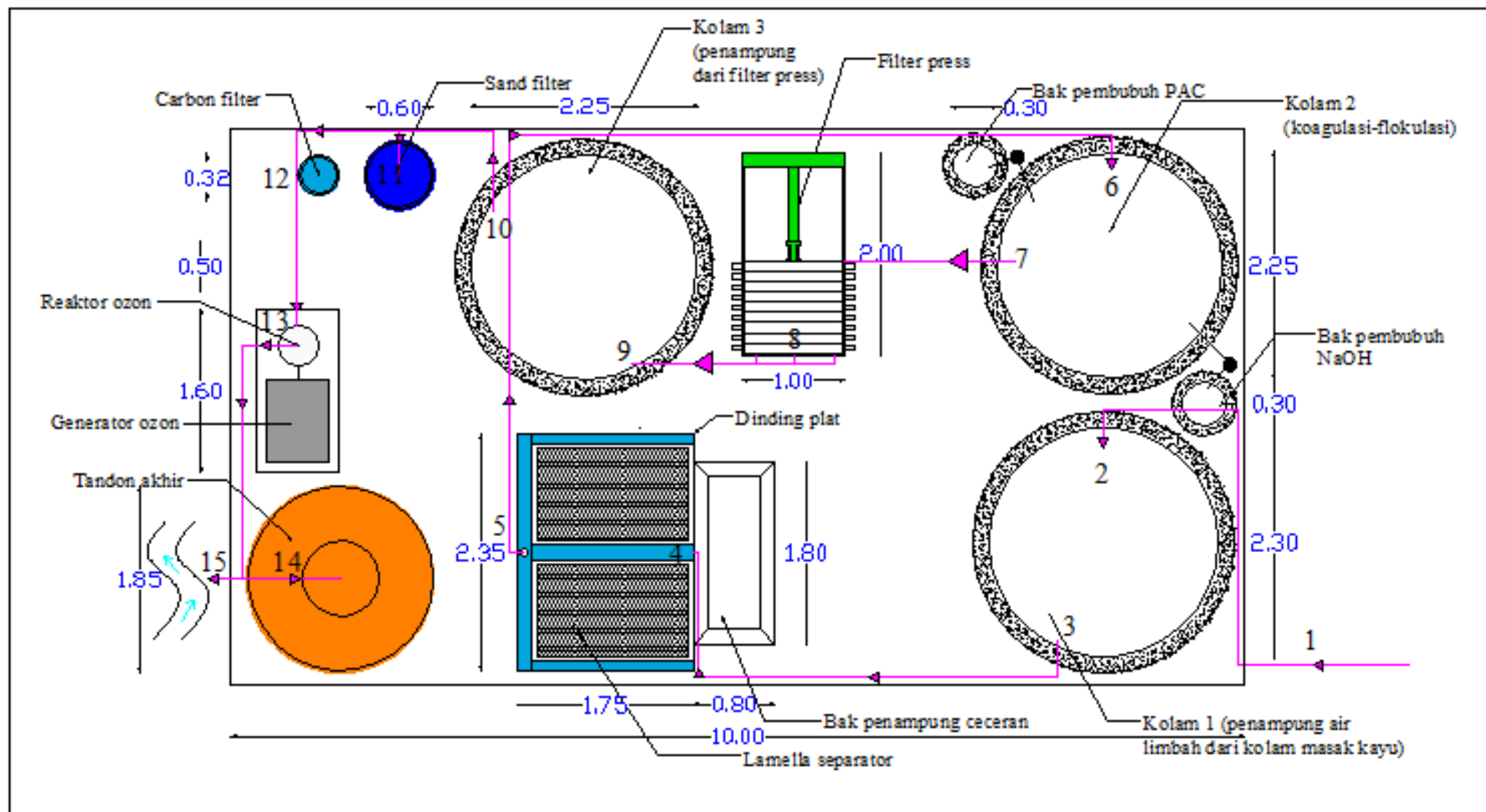
“Halaman ini sengaja dikosongkan”





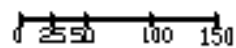
LAMPIRAN H
GAMBAR TEKNIK

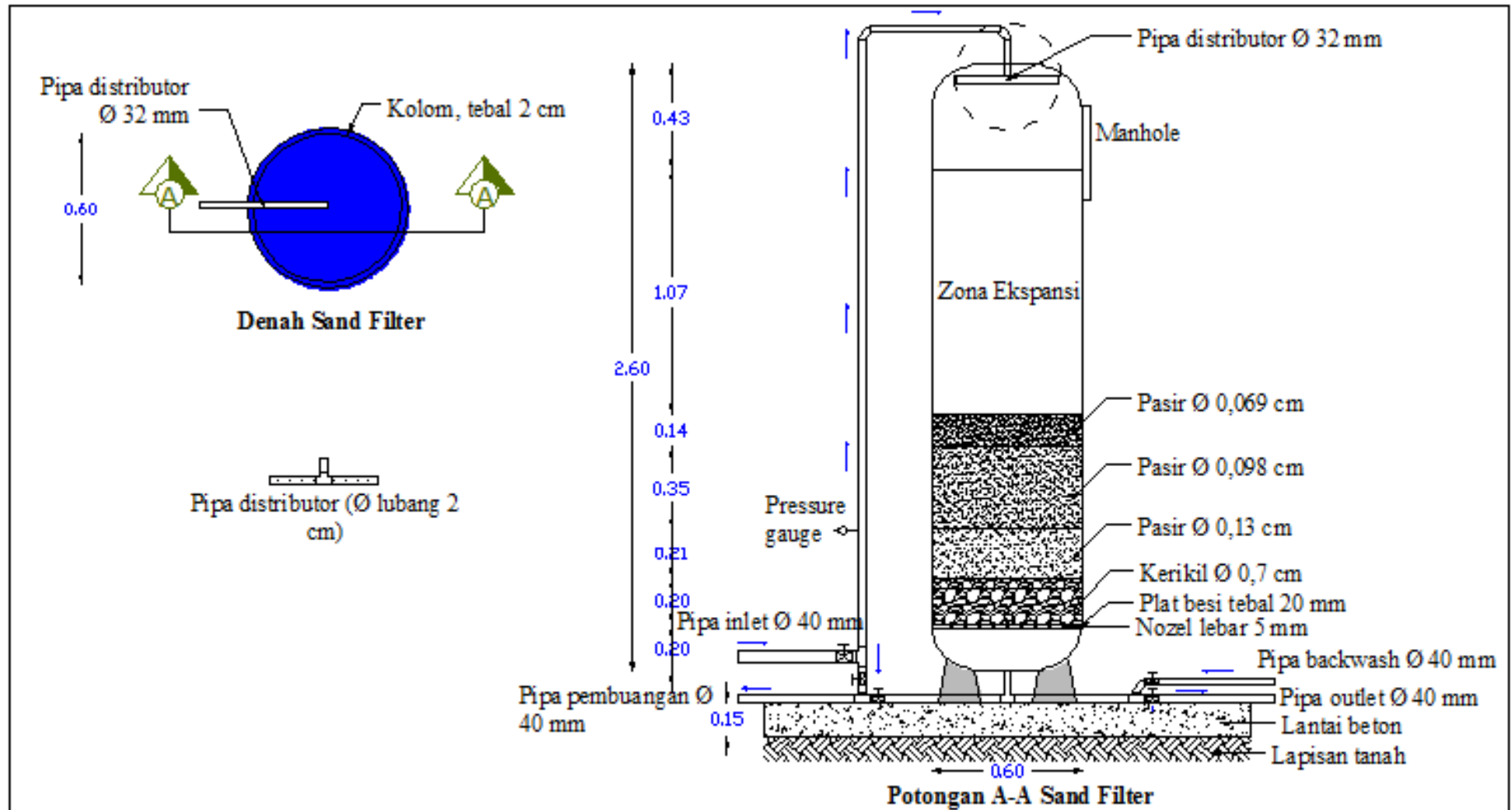
- Gambar A-1** : Layout IPAL Eksisting
- Gambar A-2** : Layout IPAL Setelah Optimasi
- Gambar A-3** : Denah dan Potongan Sand Filter
- Gambar A-4** : Denah dan Potongan Bak Pembubuh PAC
- Gambar A-5** : Denah dan Potongan Bak Pembubuh NaOH



	JUDUL GAMBAR	NAMA MAHASISWA	LEGENDA	KODE GAMBAR	MATA ANGIN
	Layout IPAL Eksisting	Mass'adah Nadya Rosa Bela 0321154000032	 Badan air  Arah aliran air limbah	A-1	
	Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, ITS	DOSEN PEMBIMBING Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, M.T	 Beton  Tube settler	SKALA 	



	JUDUL GAMBAR	NAMA MAHASISWA	LEGENDA	KODE GAMBAR	MATA ANGIN
	Layout IPAL Setelah Optimasi	Massa'adah Nadya Rosa Bela 0821154000082	DOSEN PEMBIMBING Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, MT	 Badan air  Beton  Tube settler	A-2
Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumiharian, ITS		Arah aliran air limbah SKALA 			



JUDUL GAMBAR
Denah dan Potongan Sand Filter

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan
Kebumiharian, ITS

NAMA MAHASISWA
Massa'adah Nadya Rosa Bela
0321154000032

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, M.T

LEGENDA

Valve → Arah aliran air limbah

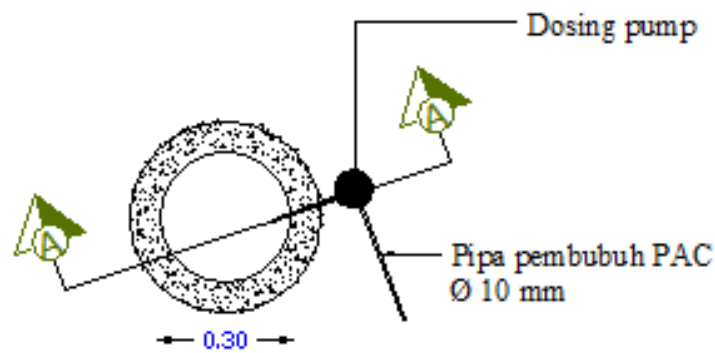
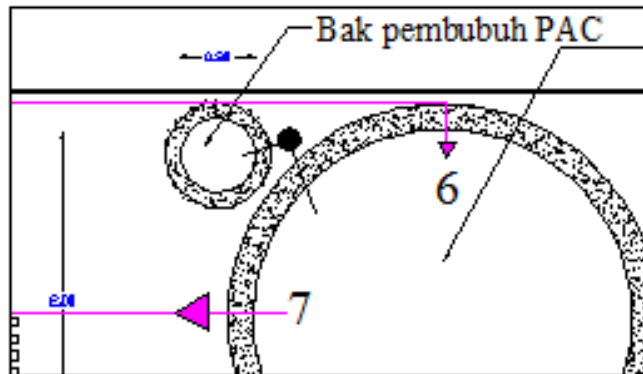
Media pasir

Media kerikil

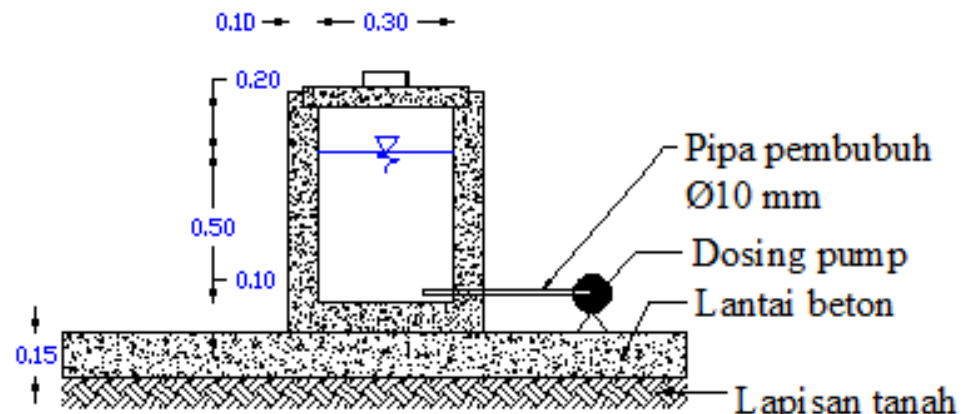
KODE GAMBAR
A-3

SKALA
0 25 50





Denah Bak Pembubuh PAC



Potongan Bak Pembubuh PAC




JUDUL GAMBAR
Denah dan Potongan Bak Pembubuh PAC

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan
Kebumihan, ITS

NAMA MAHASISWA
Masa'adah Nadya Rosa Bela
0321154000032

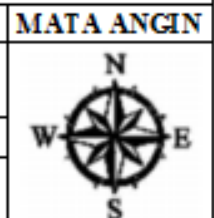
DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, M.T

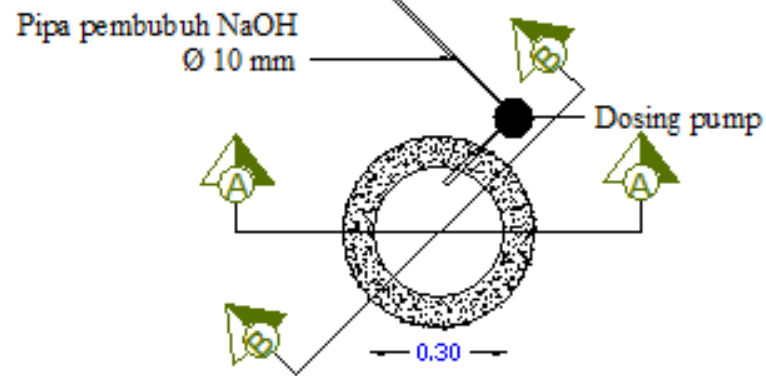
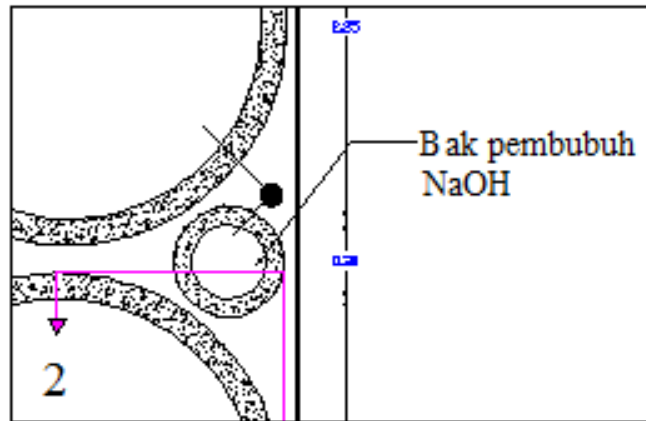
LEGENDA

 Beton

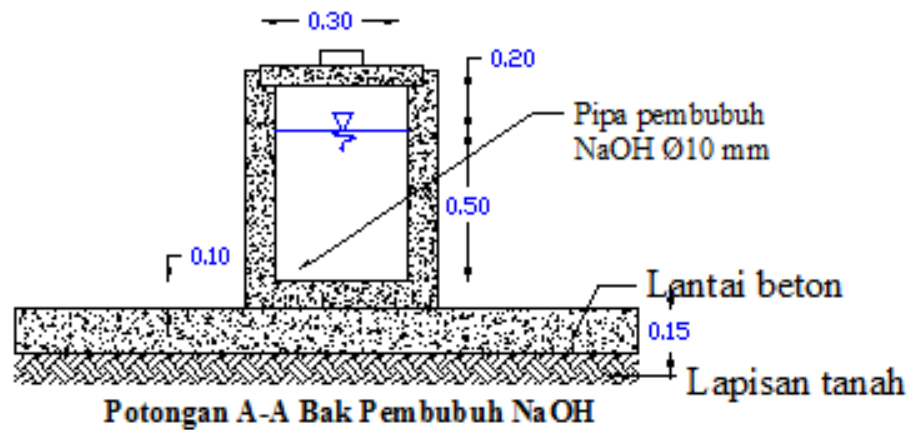
KODE GAMBAR
A-4

SKALA
0 25 50

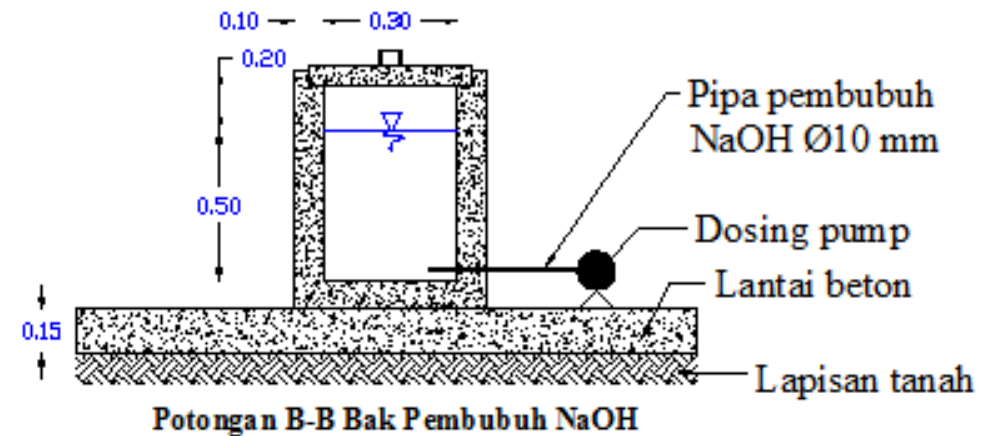




Denah Pembubuh NaOH



Potongan A-A Bak Pembubuh NaOH



Potongan B-B Bak Pembubuh NaOH




JUDUL GAMBAR
Denah dan Potongan Bak Pembubuh NaOH

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan
Kebumihan, ITS

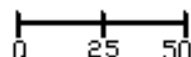
NAMA MAHASISWA
Mass'adah Nadya Rosa Bela
0321154000032

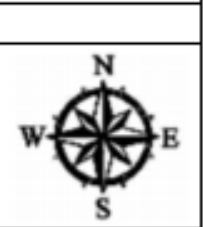
DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, MT

LE GENDA

 Beton

KODE GAMBAR
A-5

SKALA




BIOGRAFI PENULIS



Penulis, Massa'adah Nadya Rosa Bela atau akrab disapa Nadya lahir di Kota Gresik pada 13 September 1997. Penulis merupakan anak kedua dari 6 bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikannya di RA Ihyaul Ulum Gresik (2001-2003), MI Ihyaul Ulum Gresik (2003-2009), MTs Ihyaul Ulum Gresik (2009-2012), dan SMAN 1 Krian Sidoarjo (2012-2015). Kemudian penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan FTSLK-ITS pada tahun 2015-2019 dengan Nomor Registrasi

Mahasiswa 03211540000032.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif diberbagai kegiatan kemahasiswaan baik tingkat departemen maupun tingkat institut. Penulis aktif sebagai staf Tim Kerohanian Al-Kaun HMTL (2016-2017), staf Kementerian Dalam Negeri BEM ITS (2016-2017), wakil kepala departemen kajian dan wawasan UKM Penalaran ITS (2017-2018), anggota Dewan Perwakilan Angkatan (DPA) Teknik Lingkungan (2018) dan asisten dirjen Kementerian Dalam Negeri BEM ITS (2018-2019). Selain itu, penulis juga aktif sebagai asisten laboratorium mata kuliah Teknik Analisis Pencemaran Lingkungan (TAPL) pada tahun 2017 dan 2019. Penulis pernah magang di Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gresik bidang UPT TPA selama 1 bulan pada tahun 2017 dan Kerja Praktik mengenai pengelolaan limbah B3 di PT Pertamina RU VII Sorong selama 1 bulan pada tahun 2018. Penulis dapat dihubungi melalui email nadyarosabela@gmail.com.