

Proses Pengolahan Limbah

by Efbertias Sitorus

Submission date: 07-Nov-2022 06:32AM (UTC-0800)

Submission ID: 1947149123

File name: 4._Buku_Proces_Pengolahan_Limbah.pdf (17.26M)

Word count: 34825

Character count: 223403



PROSES PENGOLAHAN LIMBAH



Efbertias Sitorus • Eko Sutrisno • Rakhmad Armus • Kasta Gurning • Fitria Fatma
Luthfi Parinduri • Muhammad Chaerul • Ismail Marzuki • Yoga Priastomo

PROSES PENGOLAHAN LIMBAH



UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- a. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- b. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- c. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- d. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

Proses Pengolahan Limbah

Efbertias Sitorus, Eko Sutrisno, Rakhmad Armus, Kasta Gurning
Fitria Fatma, Luthfi Parinduri, Muhammad Chaerul
Ismail Marzuki, Yoga Priastomo



Penerbit Yayasan Kita Menulis

Proses Pengolahan Limbah

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2021

Penulis:

Efbertias Sitorus, Eko Sutrisno, Rakhmad Armus, Kasta Gurning
Fitria Fatma, Luthfi Parinduri, Muhammad Chaerul
Ismail Marzuki, Yoga Priastomo

Editor: Ronal Watrianthos

Desain Sampul: Tim Kreatif Kita Menulis
Sampul: unsplash.com

Penerbit

Yayasan Kita Menulis
Web: kitamenulis.id
e-mail: press@kitamenulis.id
WA: 0821-6453-7176
Anggota IKAPI: 044/SUT/2021

Efbertias Sitorus., dkk.

Proses Pengolahan Limbah

Yayasan Kita Menulis, 2021

xiv; 146 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-6840-96-2

Cetakan 1, Maret 2021

- I. Proses Pengolahan Limbah
- II. Yayasan Kita Menulis

Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa
Izin tertulis dari penerbit maupun penulis

Kata Pengantar

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan buku yang berjudul “Proses Pengolahan Limbah”.

11

Pengolahan limbah adalah proses menghilangkan/menguraikan polutan yang ada dalam air limbah sehingga hilang sifat-sifat dari polutan tersebut yang meliputi proses fisika, kimia dan biologi. Proses pengolahan limbah bertujuan meningkatkan akses pelayanan limbah yang ramah lingkungan, sehingga tercapai peningkatan kualitas kehidupan masyarakat dan lingkungan yang lebih baik dan sehat. Sebelum melakukan perencanaan dan pelaksanaan pengolahan limbah harus memahami Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah kebijakan untuk minimasi limbah sebelum menghasilkan dan mengolah limbah, menetapkan personil yang bertanggung jawab terhadap penerapan prosedur pengelolaan dan pengolahan limbah serta melakukan evaluasi penerapan prosedur pengelolaan dan pengolahan limbah.

Buku Proses Pengolahan Limbah ini membahas yaitu:

Bab 1 Karakteristik Limbah Cair

Bab 2 Studi Karakterisasi Limbah

Bab 3 Laju Air Limbah

Bab 4 Analisis dan Reduksi Laju Alir Limbah Cair

Bab 5 Sasaran, Metode, dan Implementasi Pengelolaan Limbah Cair

Bab 6 Implementasi Program Manajemen

Bab 7 Pemisahan Secara Gravitasi

Bab 8 Metode Pengendapan Kimia**Bab 9 Adsorpsi Pertemuan**

Penulis menyadari bahwa penulisan buku ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat kami harapkan untuk penyempurnaan buku. Besar harapan para penulis, semoga buku ini dapat memberi manfaat dan memperkaya khasana Ilmu pengetahuan khususnya pada kajian keilmuan lingkungan, kesehatan, dll.

Dalam kesempatan penulis mengucapkan terimakasih kepada para pihak yang telah membantu menyusun materi ini. Semoga buku ini memberikan manfaat bagi peningkatan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat Indonesia secara menyeluruh.

Medan, Februari 2021

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii

Bab 1 Karakteristik Limbah Cair

1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Kualitas Air	2
1.3 Karakteristik Fisik	4
1.4 Karakteristik Kimia	6
1.4.1 Parameter Organik	6
1.4.2 Parameter Anorganik	8
1.5 Karakteristik Biologi	11

Bab 2 Studi Karakterisasi Limbah

2.1 Pendahuluan.....	13
2.2 Karakter Fisik.....	14
2.2.1 Bentuk	15
2.2.2 Bau	19
2.2.3 Warna.....	19
2.3 Karakter Kimia	20
2.3.1 Bahan organik	20
2.3.2 BOD (Biological Oxygen Demand)	20
2.3.3 DO (Dissolved Oxygen)	20
2.3.4 COD (Chemical Oxygen Demand)	21
2.3.5 pH (Puissance d'Hydrogène Scale)	21
2.4 Karakter Biologi	20

12

Bab 3 Laju Air Limbah

3.1	Pendahuluan.....	23
3.2	Pola jaringan Sistem Instalasi Limbah.....	24
3.2.1.	Saluran Terbuka	24
3.2.2	Saluran Tertutup	24
3.3	Menurut Fungsi Saluran Limbah Cair	25
3.3.1	Aliran Air Saluran Terbuka.	25
3.3.2	Aliran Tunak (Steady Dow)	25
3.3.3	Aliran Tunak Non Uniform (Steady Non Uniform)	26
3.3.4	Aliran tidak tunak (unsteady flow)	26
3.3.5	Metode Aerasi Sebagai Alternatif Utama Dalam Mendegradasi Limbah Cair	27
3.4	Pemodelan kontinuitas arus air limbah	27
3.4.1	Persamaan Kontinuitas	27
3.4.2	Persamaan Momentum	28
3.4.3	Persamaan Bilangan Froude.....	29
3.4.4	BOD (Biochemical Oxygen Demand)	30
3.4.5	Koeffisien Deoksidasi.....	30
3.4.6	Menurut Letak Bangunan Instalasi.....	32
3.5	Pengertian Debit Aliran limbah Cair.....	32
3.5.1	Satuan Debit	33
3.5.2	Debit Aliran Limbah	33
3.5.3	Waktu Aliran Limbah.....	33
3.5.4	Volume Aliran Limbah.....	33
3.6	Pengukuran Aliran Limbah	34
3.6.1	Pengukuran Debit dengan Cara Apung (Float Area Methode)	34
3.6.2	Pengukuran Debit dengan Current-meter	35
3.6.3	Pengukuran Debit dengan Metode Kontinyu	35
3.6.4	Metode Volumetrik.....	35
3.7	Kecepatan Aliran	36
3.7.1	Cara Menentukan Kecepatan Aliran	36
3.7.2	Kalibrasi Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran	36
3.7.3	Pengukuran langsung kecepatan aliran	36

12

Bab 4 Analisis dan Reduksi Laju Alir Limbah Cair

4.1	Pendahuluan.....	39
4.2	Analisis Limbah Cair	40
4.2.1	Karakterisasi Fisika.....	41
4.2.2	Karakterisasi Kimia.....	44

4.2.3 Karakterisasi Biologi.....	46
4.3 Laju Alir Limbah Cair.....	47
4.3.1 Alir Limbah Cair Rumah Tangga.....	48
4.3.2 Laju alir Infiltrasi.....	51
4.3.3 Laju alir limbah industry.....	52
11	
Bab 5 Sasaran, Metode, dan Implementasi Pengelolaan Limbah Cair	
5.1 Pendahuluan.....	55
5.1.1 Limbah cair domestik	55
5.1.2 Limbah cair industri	56
5.1.3 Limbah cair pertanian.....	56
5.1.4 Limbah cair pertambangan	57
5.1.5 Limbah cair Rumah Sakit dan Hotel	57
5.2 Metode	58
5.2.1 Pengolahan limbah cair secara fisika.....	58
5.2.2 Pengolahan limbah cair secara kimia	58
5.2.3 Pengolahan limbah cair secara biologi.....	59
5.3 Implementasi Pengelolaan Limbah Cair.....	60
Bab 6 Implementasi Program Manajemen	
6.1 Pendahuluan.....	65
6.2 Pengolahan Limbah Berdasarkan Wujud Limbah.....	67
6.3 Komponen Pengolahan Limbah	73
6.4 Implementasi Pengolahan Limbah B3.....	76
6.5 Implementasi Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001	79
Bab 7 Pemisahan Secara Gravitasi	
7.1 Pendahuluan.....	83
7.2 Sistem Penyaluran dan Pengolahan Air Limbah.....	84
7.3 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik	87
7.4 Model IPAL Dengan Sistem Gravitasi.....	89
Bab 8 Metode Pengendapan Kimia	
8.1 Pendahuluan.....	93
8.2 Sifat Kimia Limbah.....	96
8.3 Indikator Pengolahan Limbah	98
8.4 Chemical Oxygen Demand (COD).....	100
8.5 Reaksi-reaksi Pengendapan	101
8.6 Koagulasi dan Flokulasi.....	103

8.6.1 Penentuan Kekeruhan Air Limbah	103
8.6.2 Koagulasi Air Limbah	104
8.6.3 Flokulasi Air Limbah.....	105
8.7 Pengendapan Kimia	106
Bab 9 Adsorpsi Pertemuan	
9.1 Pendahuluan.....	113
9.2 Definisi Adsorpsi	114
9.3 Tinjauan Termodinamika.....	115
9.4 Adsorpsi Isoterm	116
9.4.1 Isoterm Langmuir	116
9.4.2 Isoterm Freundlich	117
9.4.3 Isoterm BET (Brunauer-Emmet-Teller)	118
9.5 Adsorben dan Karakterisasinya.....	119
9.5.1 Definisi adsorben dan jenis adsorben	119
9.5.2 Adsorben alam	120
9.5.3 Adsorben sintesis	122
Daftar Pustaka	127
Biodata Penulis	141

Daftar Gambar

Gambar 2.1: Limbah cair sisa dari air sabun, detergen sisa cucian, dan air Tinja	15
Gambar 2.2: Limbah cair industri tekstil yang mencemari sungai Citarum.	15
Gambar 2.3: AC yang mengalami kebocoran	16
Gambar 2.4: Air hujan yang bercampur dengan berbagai partikel di permukaan tanah	16
Gambar 2.5: Limbah abu aluminium pengurug jalan di Desa Watudakon, Kesamben, Kabupaten Jombang, Jawa Timur	17
Gambar 2.6: Terjadinya perubahan warna, bau air sungai di Cimahi Jawa.	19
Gambar 3.1: Kontinuitas Aliran Dalam Suatu Pias	27
Gambar 3.2: Gaya-gaya yang bekerja pada pias	29
Gambar 3.3: Diagram kedalaman aliran (H) vs kd	32
Gambar 3.4: Penggunaan pelampung untuk mengukur arus	34
Gambar 3.5: Beberapa jenis curren meter dan prinsip kerja	36
Gambar 4.1: Diagram Pemisahan Sampel dalam Pengukuran Padatan Total	41
Gambar 4.2: Peralatan yang digunakan dalam pengukuran fenol yang terdapat dalam sampel limbah cair dengan metode dehidrogenasi katalitik	45
Gambar 4.3: Jenis sistem pembuangan limbah	47
Gambar 4.4: Variasi aliran tipikal per jam dalam pekerjaan pengolahan limbah	50
Gambar 4.4: Batas sistem dan komponen model neraca air untuk saluran pembuangan target pada hari-hari tanpa hujan. T: air siram toilet, G: greywater, TS dan TG: limbah septic tank dibuang ke selokan dan tanah masing-masing, GS dan GG: greywater dibuang ke selokan dan tanah masing-masing, I: infiltrasi, E: eksfiltrasi, dan Qd: limbah dibuang dari saluran pembuangan tunggal	52
Gambar 4.5: Diagram alir instalasi pengolahan air limbah (IPAL) Leeuwkuil yang menunjukkan tahapan pengolahan air limbah, kapasitas dan jumlah fasilitas di dalam pabrik industri di Afrika	53
Gambar 5.1: Wastewater treatment	60
Gambar 5.2: Primary Setting Tank	61

Gambar 9.1: Proses adsorpsi dan desorpsi.....	114
Gambar 9.2: Adsorpsi satu lapis (monolayer)	117
Gambar 9.3: Adsorpsi berlapis (multilayer)	119
Gambar 9.4: Tahap reaksi oksidasi reduksi arsenik oleh MnO ₂	123
Gambar 9.5: Struktur 3 dimensi dan 2 dimensi kaliksarena.....	123
Gambar 9.6: Konformasi kaliksarena	124
Gambar 9.7: Struktur hipotesis resin kaliksarena.....	125

Daftar Tabel

Tabel 1.1: ⁷ Tingkat Pencemaran Berdasarkan Nilai BOD	7
Tabel 1.2: Tingkat Pencemaran Berdasarkan Nilai COD.....	8
Tabel 2.1: Beberapa macam limbah gas yang umum ada di udara.....	18
Tabel 4.1: Koefisien variasi aliran limbah per jam	50
Tabel 9.1: Kalsifikasi adsorben berdasarkan diameter pori.....	119

Bab 1

Karakteristik Limbah Cair

1.1 Pendahuluan

Limbah adalah buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomi. Limbah yang mengandung bahan polutan yang memiliki sifat racun dan berbahaya dikenal dengan limbah B-3, yang dinyatakan sebagai bahan yang dalam jumlah relatif sedikit tetapi berpotensi untuk merusak lingkungan hidup dan sumber daya (Philip, 2002). Bahan yang sering ditemukan dalam limbah antara lain senyawa organik yang dapat terbiodegradasi, senyawa organik yang mudah menguap, senyawa organik yang sulit terurai (Rekalsitran), logam berat yang toksik, padatan tersuspensi, nutrien, mikroba patogen, dan parasit (Lud, 2010).

Limbah cair merupakan gabungan atau campuran dari air dan bahan-bahan pencemar yang terbawa oleh air, baik dalam keadaan terlarut maupun tersuspensi yang terbuang dari sumber domestik (perkantoran, perumahan, dan perdagangan), sumber industri, dan pada saat tertentu tercampur dengan air tanah, air permukaan, maupun air hujan (Soeparman, 2002). Menurut (Chandra, 2007), limbah cair merupakan salah satu jenis sampah. Adapun sampah (waste) adalah zat-zat atau benda-benda yang sudah tidak terpakai lagi, baik yang berasal dari rumah maupun sisa-sisa proses industri.

Definisi limbah cair dinyatakan oleh (Metcalf, Eddy and Tchobanoglous, 1991) bahwa:

“A combination of the liquid or water carried wastes removed from residences, institutions, and commercials and industrial establishments, together with such groundwater, surface water, and stormwater as may be present”.

Dari definisi tersebut menjelaskan bahwa limbah cair merupakan hasil akhir/buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi industri maupun domestik (rumah tangga) yang dapat mencemari lingkungan dan berdampak negatif terutama bagi kesehatan.

Dengan konsentrasi dan kuantitas tertentu, kehadiran limbah dapat berdampak negatif terhadap lingkungan terutama bagi kesehatan manusia, sehingga perlu dilakukan penanganan terhadap limbah. Tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh limbah tergantung pada jenis dan karakteristik limbah (Widjajanti, 2009). Limbah cair mempunyai karakteristik fisika, kimia dan biologi. Karakteristik fisika antara lain suhu, bau, densitas, warna, Total Suspended Solid (TSS), Total Solid (TS), konduktivitas dan kekeruhan. Karakteristik kimia terdiri atas Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Protein, Karbohidrat, minyak dan lemak serta derajat keasaman (pH). Karakteristik biologi terdiri atas bakteri dan mikroorganisme (Metcalf, Eddy and Tchobanoglous, 1991)

1

1.2 Kualitas Air

Kualitas air adalah kondisi kualitatif air yang diukur dan diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metode tertentu berdasarkan perundang-undangan yang berlaku (Pasal 1 Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003). Kualitas air dapat dinyatakan dengan parameter kualitas air. Parameter ini meliputi parameter fisik, kimia dan mikrobiologis (Masduqi and Apriliani, 2008) Kualitas air dapat diketahui dengan melakukan pengujian tertentu terhadap air tersebut. Pengujian yang dilakukan adalah uji kimia, fisik, biologi atau uji kenampakan (bau dan warna). Pengelolaan kualitas air adalah upaya pemeliharaan air sehingga tercapai kualitas air yang diinginkan sesuai peruntukannya untuk menjamin agar kondisi air tetap dalam kondisi alamiahnya.

Adapun Mutu dan Kelas Air (PP No.82 Tahun 2001)

1. Definisi (PP No.82 Tahun 2001 Pasal 1)

Mutu air adalah kondisi kualitas air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metoda tertentu berdasarkan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku. Kelas air adalah peringkat kualitas air yang dinilai masih layak untuk dimanfaatkan bagi peruntukan tertentu.

2. Klasifikasi Mutu dan Kelas Air (PP No.82 Tahun 2001 Pasal 8)

a. Kelas Satu

Air yang diperuntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang memper-syaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;

b. Kelas Dua

Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;

c. Kelas Tiga

Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

d. Kelas Empat

Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Metoda Storet merupakan salah satu metoda untuk menentukan status mutu air yang umum digunakan, dengan Metoda Storet ini dapat diketahui parameter-parameter yang telah memenuhi atau melampaui baku mutu air. Secara prinsip Metoda Storet adalah membandingkan antara data kualitas air dengan baku mutu air yang disesuaikan dengan peruntukannya guna menentukan status mutu air. Cara untuk menentukan status mutu air adalah dengan menggunakan

sistem nilai dari US-EPA (Environmental Protection Agency) dengan mengklasifikasikan mutu air dalam empat kelas, yaitu:

1. Kelas A: baik sekali, skor = 0 memenuhi baku mutu
2. Kelas B: baik, skor = -1 s/d -10 tercemar ringan
3. Kelas C: sedang, skor = -11 s/d -30 tercemar sedang
4. Kelas D: buruk, skor = \geq -31 tercemar berat

Metoda indeks Pencemaran digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan (Nemerow, 1974). Indeks ini memiliki konsep yang berlainan dengan Indeks Kualitas Air. Indeks pencemaran ditentukan untuk suatu peruntukan, kemudian dapat dikembangkan untuk beberapa peruntukan bagi seluruh bagian badan air atau sebagian dari suatu sungai. Metoda ini dapat langsung menghubungkan tingkat ketercemaran dengan dapat atau tidaknya sungai dipakai untuk penggunaan tertentu dan dengan nilai parameter-parameter tertentu. Limbah cair baik domestik maupun non domestik mempunyai beberapa karakteristik sesuai dengan sumbernya, di mana karakteristik limbah cair dapat digolongkan pada karakteristik fisik, kimia, dan biologi yang diuraikan sebagai berikut (Metcalf, Eddy and Tchobanoglous, 1991):

1.3 Karakteristik Fisik

Karakteristik fisika air limbah yang perlu diketahui adalah total solid, bau, temperatur, densitas, warna, konduktivitas, dan *turbidity* yaitu:

1. TSS (Total Suspended Solid)

TSS (Total Suspended Solid) atau total padatan tersuspensi adalah segala macam zat padat dari padatan total yang tertahan pada saringan dengan ukuran partikel maksimum 2,0 μm dan dapat mengendap (Widyaningsih, 2011). Kekeruhan air erat sekali hubungannya dengan nilai TSS karena kekeruhan pada air salah satunya memang disebabkan oleh adanya kandungan zat padat tersuspensi. Zat tersuspensi yang ada di dalam air terdiri dari berbagai macam zat, misalnya pasir halus, tanah liat, dan lumpur alami yang merupakan bahan-bahan anorganik atau dapat pula berupa

¹² bahan-bahan organik yang melayang-layang di dalam air (Alaerts and Santika, 1987).

2. Bau

Bau yang berasal dari dalam air dapat langsung berasal dari bahan-bahan buangan atau air limbah dari kegiatan industri atau dapat pula berasal dari hasil degradasi bahan buangan oleh mikroba yang hidup di dalam air (Diaz, 2008). Mikroba di dalam air akan mengubah bahan buangan organik terutama gugus protein secara degradasi menjadi bahan yang mudah menguap dan berbau (Hendrickx et al., 2006). Menurut (Rao and Mamatha, 2004), air normal yang dapat digunakan untuk kehidupan umumnya tidak berbau, tidak berwarna dan berasa, selanjutnya dikatakan adanya rasa pada air pada umumnya diikuti dengan perubahan pH air.

3. Warna

Air limbah pada umumnya berwarna coklat muda keabu-abuan. Namun, dengan bertambahnya waktu dalam sistem pengumpulan dan berkembangnya kondisi anaerobik, warna air limbah berubah dari abu-abu menjadi abu-abu gelap dan pada akhirnya hitam. Ketika warna air limbah menjadi hitam, air limbah tersebut dalam kondisi tercemar. Jika senyawa organik yang ada mulai pecah oleh aktivitas bakteri dan adanya oksigen terlarut direduksi menjadi nol, maka warna biasanya berubah menjadi semakin gelap. Standar warna sebagai perbandingan untuk contoh air adalah standar Pt-Co, dan satuan warna yang digunakan adalah satuan Hazen. Untuk air minum warnanya tidak boleh lebih dari 50 satuan Hazen

4. Suhu

Suhu dari air adalah parameter penting karena berpengaruh terhadap reaksi kimia dan laju reaksi, kehidupan dalam air, dan keberlangsungan air untuk hal yang bermanfaat. Temperatur ini memengaruhi konsentrasi oksigen terlarut di dalam air. Air yang baik mempunyai temperatur normal 8°C dari suhu kamar 27°C. Semakin tinggi temperatur air (>27°C) maka kandungan oksigen dalam air berkurang atau sebaliknya. Peningkatan laju reaksi biokimia

bersamaan dengan peningkatan suhu akan menurunkan jumlah oksigen yang tersedia pada air (Eddy et al., 2014).

5. Kekeruhan

Kekeruhan menunjukkan sifat optis air yang akan membatasi pencahayaan kedalam air. Kekeruhan terjadi karena adanya zat-zat koloid yang melayang dan zat-zat yang terurai menjadi ukuran yang lebih (tersuspensi) oleh binatang, zat-zat organik, jasad renik, lumpur, tanah, tanah, dan benda-benda lain yang melayang.

1.4 Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia air limbah terbagi atas dua parameter yakni Organik dan Anorganik yaitu:

1.4.1 Parameter Organik

Biological Oxygen Demand (BOD)

Parameter BOD merupakan salah satu indikator pencemar di dalam air yang disebabkan oleh limbah organik. Menurut (Agustiningsih, 2012), BOD atau kebutuhan oksigen biologis adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam air lingkungan untuk memecah (mendegradasi) bahan buangan organik yang ada di dalam air lingkungan tersebut. Menurut (Yeon et al., 2009), mikroorganisme yang memerlukan oksigen untuk memecah bahan buangan organik sering disebut dengan bakteri aerob, mikroorganisme yang tidak memerlukan oksigen disebut dengan bakteri anaerobik. Pemeriksaan BOD didasarkan atas reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen di dalam air dan proses tersebut berlangsung karena adanya bakteri aerobik.

Pengujian BOD yang dapat diterima adalah pengukuran jumlah oksigen yang akan dihabiskan dalam waktu 5 (lima) hari oleh organisme pengurai aerobik dalam suatu volume limbah yang disebut dengan BOD5. Hasilnya dinyatakan dalam satuan ppm, misalnya BOD sebesar 200 ppm berarti bahwa 200 mg oksigen akan dihabiskan oleh contoh limbah sebanyak satu liter dalam waktu lima hari pada suhu 20 °C (Ibeh and Omoruyi, 2011).

BOD (Biochemical Oxygen Demand) adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan organisme hidup untuk memecah atau mengoksidasi bahan buangan dalam air (Fardiaz, 1992). BOD merupakan suatu nilai empiris yang mendekati secara global terjadinya proses penguraian bahan-bahan yang terdapat dalam air dan sebagai hasil dari proses oksidasi tersebut akan terbentuk CO_2 , air, dan NH_3 (Alaerts and Santika, 1987). BOD merupakan parameter utama dalam menentukan tingkat pencemaran perairan dan tingkat pencemaran berdasarkan nilai BOD disajikan pada:

Tabel 1.1: Tingkat Pencemaran Berdasarkan Nilai BOD (Winarno dan Fardiaz, 1974) Baku mutu limbah cair domestik untuk parameter BOD adalah maksimum 50 mg/l.

Nilai BOD (mg/l)	Tingkat Pencemaran
< 200	Ringan
200-350	Sedang
350-750	Berat
>750	Sangat berat

Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, di mana pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (Siregar, 2005). Pengukuran limbah dengan COD adalah bentuk lain pengukuran kebutuhan oksigen dalam air limbah (Chitnis et al., 2020). Metode ini lebih singkat waktunya dibandingkan dengan analisis BOD. Uji COD sebagai alternatif uji penguraian beberapa komponen yang stabil terhadap reaksi biologi atau tidak dapat diurai/dioksidasi oleh mikroorganisme. Parameter COD merupakan parameter utama dalam menentukan tingkat pencemaran perairan selain BOD.

Menurut Siregar (2005), COD atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Dalam hal ini bahan buangan organik akan dioksidasi oleh Kalium bichromat menjadi gas CO_2 dan H_2O serta sejumlah ion Chrom. Kalium bikhromat akan digunakan sebagai sumber oksigen. COD

(Chemical Oxygen Demand) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan (misal: Kalium Dikromat) untuk menguraikan bahan organik (Fardiaz, 1992). Uji COD sebagai alternatif uji penguraian beberapa komponen yang stabil terhadap reaksi biologi atau tidak dapat diurai/dioksidasi oleh mikroorganisme. COD merupakan parameter utama dalam menentukan tingkat pencemaran perairan selain BOD, dan tingkat pencemaran berdasarkan nilai COD disajikan pada:

Tabel 1.2: Tingkat Pencemaran Berdasarkan Nilai COD (Winarno and Fardiaz, 1974) Baku mutu limbah cair domestik untuk parameter COD adalah maksimum 80 mg/L.

Nilai COD (mg/l)	Tingkat Pencemaran
< 400	Ringan
400-700	Sedang
700-1500	Berat
>1500	Sangat berat

1.4.2 Parameter Anorganik

pH

Menurut Sastrawijaya (2000) pH terbagi menjadi sifat asam dan basa. Keasaman adalah kemampuan untuk menetralkan basa. Keasaman lemah dapat mempunyai keasaman yang tinggi, artinya mempunyai potensi untuk melepaskan hidrogen. Keasaman dibedakan antara keasaman bebas dan keasaman total. Keasaman bebas disebabkan oleh asam kuat seperti asam klorida dan asam sulfat. Keasaman bebas dapat menurunkan pH. Keasaman total terdiri dari keasaman bebas ditambah keasaman yang disebabkan oleh asam lemah. Sedangkan kebasaan air adalah suatu kapasitas air untuk menetralkan asam. Hal ini disebabkan ada basa atau garam basa yang terdapat dalam air.

Misalnya NaOH, Ca(OH)₂ dan sebagainya. Garam basa yang sering dijumpai ialah karbonat logam-logam natrium, kalsium, magnesium, dan sebagainya. Kebasaan yang tinggi belum tentu pHnya tinggi. Untuk memenuhi syarat suatu kehidupan, air harus mempunyai pH sekitar 6,5 – 7,5. Air akan bersifat asam

20

atau basa tergantung benar kecilnya pH. Bila $\text{pH} < 6,5$ maka air tersebut bersifat asam, sedangkan air yang mempunyai $\text{pH} > 7,5$ maka bersifat basa. Air limbah dan buangan industri akan mengubah pH air yang akhirnya akan mengganggu kehidupan biota akuatik yang sensitif terhadap perubahan pH (Wardhana, 2004).

Nitrogen

Nitrogen dan fosfor merupakan dua unsur terpenting dalam pertumbuhan mikroorganisme, tumbuhan maupun makhluk hidup lainnya. Pada prinsipnya, senyawa nitrogen berasal dari tiga sumber: senyawa nitrogen dari hewan dan tumbuhan yang membusuk; sodium nitrat dari deposit mineral dan kotoran burung; serta nitrogen yang berada di atmosfer. Dua sumber terakhir berada dalam jumlah kecil, sehingga dapat dikatakan sumber utama masukan nitrogen berasal dari bahan organik (Burton and Tchobanoglous, 2018). Sumber pencemar dari lahan pertanian dan dari deposit dasar perairan merupakan dua sumber utama nitrogen dan fosfor (Le et al., 2010).

Nitrogen di alam berada dalam berbagai bentuk karena berbagai tahap oksidasi yang dilaluinya. Total nitrogen merupakan gabungan dari nitrogen organik (Norg) dan nitrogen anorganik. Nitrogen organik terdiri dari berbagai campuran, seperti asam amino, gula amino dan protein, sedangkan nitrogen anorganik berada dalam bentuk amonia (NH_3 dan NH_4^+) nitrit (NO_2) dan nitrat (NO_3) (Burton and Tchobanoglous, 2018). Nitrogen umumnya berada dalam bentuk tereduksi (amonia) atau teroksidasi (nitrat). Konsentrasi nitrit sangat kecil karena nitrit merupakan bentuk intermediet dari proses oksidasi amonia menjadi nitrat. Meskipun demikian, nitrit lebih bersifat toksik sehingga kandungannya sangat dibatasi dalam air minum.

Fosfat

Unsur phospor (P) dalam air seperti juga elemen nitrogen, merupakan unsur penting untuk pertumbuhan alga dan organisme biologi lainnya. Bentuk Fosfor di perairan antara lain, ortofosfat, polifosfat, dan fosfat organik. Setiap senyawa fosfat tersebut terdapat dalam bentuk terlarut, tersuspensi atau terikat di dalam sel organisme air. Di daerah pertanian ortofosfat berasal dari bahan pupuk yang masuk ke dalam sungai atau danau melalui drainase dan aliran air hujan. Polifosfat dapat memasuki sungai melalui air buangan penduduk dan industri yang menggunakan bahan detergen yang mengandung fosfat, seperti industri logam dan sebagainya. Fosfat organik terdapat dalam air buangan penduduk (tinja) dan sisa makanan. Fosfat organis dapat pula terjadi dari

7 ortofosfat yang terlarut melalui proses biologis karena baik bakteri maupun tanaman menyerap fosfat bagi pertumbuhannya (Alaerts dan Santika, 1987).

Keberadaan senyawa fosfat dalam air sangat berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem perairan. Bila kadar fosfat dalam air rendah ($< 0,01$ mg P/L), pertumbuhan ganggang akan terhalang, keadaan ini dinamakan oligotrop. Sebaliknya bila kadar fosfat dalam air tinggi, pertumbuhan tanaman dan ganggang tidak terbatas lagi (keadaan eutrop), sehingga dapat mengurangi jumlah oksigen terlarut air. Hal ini tentu sangat berbahaya bagi kelestarian ekosistem perairan.

17 Dissolved Oxygen (DO)

Oksigen terlarut merupakan kebutuhan dasar untuk kehidupan tanaman dan hewan dalam air. Kehidupan makhluk hidup di dalam air tersebut tergantung dari kemampuan air untuk mempertahankan konsentrasi oksigen minimal yang dibutuhkan untuk kehidupan biota dan tidak boleh kurang dari 6 ppm (Fardiaz, 1992). Oksigen terlarut adalah konsentrasi gas oksigen yang terlarut dalam air yang dijadikan petunjuk tentang adanya pencemaran bahan organik karena bertambahnya aktivitas dekomposisi dalam menguraikan limbah yang masuk mengakibatkan penurunan oksigen dalam air (Nyabakken, 1992).

Berkurangnya kandungan oksigen dalam sungai disebabkan antara lain:

1. Meningkatnya temperatur.
2. Proses respirasi dan organisme sungai.
3. Proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme yang membutuhkan oksigen.

Selain itu berkurangnya oksigen terlarut sungai dapat terjadi secara alami antara lain akibat proses perombakan bahan organik oleh mikroorganisme. Kelarutan oksigen di sungai sangat dipengaruhi oleh suhu, tekanan parsial, dan gas-gas yang ada di udara dan di dalam air. Karena oksigen merupakan parameter yang tidak stabil maka untuk pengukuran konsentrasi DO sebaiknya dilakukan secara insitu menggunakan alat DO meter (Alaerts and Santika, 1987). Untuk mendukung kehidupan yang baik bagi organisme sungai diperlukan konsentrasi oksigen terlarut yang tak kurang dari 4 mg/l (Effendi, 2003), akan tetapi apabila bahan-bahan organik yang masuk ke dalam sungai terus meningkat maka oksigen terlarut akan menurun drastis dan ekosistem di perairan terganggu (Sutamiharja, 1978).

Bau

Bau di dalam air limbah domestik pada umumnya disebabkan oleh udara yang dihasilkan dari penguraian dari zat organik yang ditambahkan ke dalam air limbah. Karakteristik yang umum pada bau busuk air limbah adalah hidrogen sulfida yang diproduksi dari mikroorganisme anaerobik yang mengubah sulfat menjadi sulfida (Metcalf, Eddy and Tchobanoglous, 1991).

3

1.5 Karakteristik Biologi

Sifat biologi air limbah domestik perlu diketahui untuk mengetahui kualitas dan mengukur tingkat pencemaran air sebelum dibuang ke badan air. Karakteristik biologi dapat dijadikan parameter dalam mengetahui ada tidaknya pencemaran air dan sumber penyakit yang diakibatkan oleh organisme patogen dalam air. Organisme patogen yang ditemukan dalam air limbah domestik dapat Bakteri anaerob dapat mengoksidasi materi organik menggunakan ion penerima elektron selain dari oksigen, sedangkan bakteri aerob menggunakan oksigen sebagai penerima elektron. Dalam melangsungkan reaksi metabolismenya, bakteri anaerob akan menghasilkan CO_2 , H_2O , H_2S , CH_4 , NH_3 , N_2 dan bakteri organik tereduksi. Hasil akhir dari reaksi metabolisme bakteri aerob yaitu CO_2 , H_2O , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_3 dan sejumlah bakteri tambahan.

Dalam unit pengolahan air limbah, mikroorganisme aerob ditemukan pada activated sludge dan trickling filter, tetapi mikroorganisme anaerob predominate ditemukan pada unit sludge digestion. Sedangkan untuk bakteri fakultatif dapat aktif baik pada pengolahan secara aerob maupun anaerob (Hammer, M. J., & Hammer, 2008). Salah satu bakteri yang ditemukan dalam air limbah berasal dari genus Salmonella. Protozoa dapat bersifat aerob, anaerob maupun fakultatif. Giardia lamblia dan Cryptosporidium parvum merupakan protozoa yang bersifat parasit dan dapat menginfeksi hewan mamalia dan juga manusia (Hammer, M. J., & Hammer, 2008).

Sumber makanan protozoa adalah bakteri, oleh karena itu dengan mengurangi jumlah bakteri dalam air limbah, protozoa akan mengubah rasio makanan/massanya sehingga menstimulasi perkembangan bakteri dan stabilisasi air limbah. Virus merupakan salah satu mikroorganisme sumber penyakit yang terdapat dalam air limbah. Reovirus dan Adenovirus yang telah

3 terisolasi dalam air limbah dapat menyebabkan penyakit pernapasan, gastroenteritis dan infeksi pada mata (Eddy et al., 2003)

Jumlah organisme patogen dalam air sulit untuk diisolasi dan diidentifikasi. Menurut Willey, Sherwood and Woolverton (2009), pada umumnya untuk mengetahui ada atau tidaknya suatu organisme patogen dalam air, digunakan suatu indikator yang biasa disebut dengan “organism indicator”. Istilah “organism indicator” mengacu pada sejenis organisme yang kehadirannya di dalam air merupakan bukti bahwa air tersebut terpolusi oleh tinja dari manusia atau hewan berdarah panas.

Bab 2

Studi Karakterisasi Limbah

2.1 Pendahuluan

⁶ Keputusan Menperindag RI No. 231/MPP/Kep/7/1997 ¹⁰ menyatakan bahwa Limbah adalah bahan/barang sisa atau bekas dari suatu kegiatan atau proses produksi yang fungsinya sudah berubah dari aslinya, sedangkan Peraturan Pemerintah No. 18/1999 Jo. PP 85/1999 menyebutkan bahwa limbah adalah sisa atau buangan dari suatu usaha dan/atau kegiatan manusia. Secara umum limbah diartikan sebagai sisa hasil samping dari kegiatan manusia guna memenuhi kebutuhan hidupnya dan sudah tidak dimanfaatkan kembali. Sisa hasil kegiatan tersebut jika tidak dikelola dengan baik akan merugikan bagi masyarakat dan lingkungan baik secara langsung maupun tidak langsung. Kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh limbah berbeda-beda, tergantung kepada jenis dan karakteristik limbah tersebut.

Sebagaimana benda pada umumnya, limbah juga memiliki karakteristik yang membedakan dengan benda lain. karakteristik limbah yaitu berukuran mikro, dinamis, memiliki dampak yang luas dan efeknya jangka panjang:

1. Ukuran limbah berupa partikel yang nampak oleh mata biasa seperti debu atau asap.
2. Limbah yang sudah masuk ke dalam suatu lingkungan, limbah tersebut tidak berhenti di lingkungan itu saja, tetapi menyebar

mengikuti kondisi lingkungan, misalnya asap yang dihasilkan suatu industri, akan bergerak kemana saja mengikuti arah angin bertiup, limbah cair yang sudah masuk ke dalam lingkungan perairan sungai, akan terbawa arus aliran sungai hingga bermuara ke laut.

3. Kontaminasi limbah pada suatu lingkungan memiliki dampak yang luas, misalnya banyaknya asap kendaraan bermotor menyebabkan mata menjadi perih, suhu udara di lingkungan tersebut cenderung panas, manusia mudah terserang ISPA.
4. Limbah dapat menimbulkan dampak berkepanjangan di wilayah yang terdampak, sehingga untuk mengembalikan kondisi wilayah kesemula dibutuhkan waktu yang cukup lama.

Menurut Kristanto (2004) perbedaan limbah dapat diketahui berdasarkan karakteristiknya, yaitu:

1. Bentuknya (padat cair dan gas), larut dan tidak terlarut di dalam air, kalau bentuk padat, tingkat kekasaran dan kehalusan benda serta warna warna sumber limbah.
2. Limbah B3, karena mudah terbakar, mudah meledak, korosif, bersifat sebagai oksidator dan reduktor yang kuat, mencemari lingkungan;
3. Pengaruh kepada lingkungan pada waktu masuknya limbah tidak kelihatan, tetapi pengaruhnya dapat diketahui dalam jangka waktu yang lama.

2.2 Karakter Fisik

Setiap benda memiliki karakteristik yang bisa membedakan antara benda yang satu dengan benda lainnya. Karakter fisik yaitu sebuah sifat yang dimiliki oleh benda yang dapat diukur dan dinyatakan dengan angka tanpa merubah identitas benda tersebut. Beberapa karakteristik fisik limbah sebagaimana berikut:

2.2.1 Bentuk

Berdasarkan pada bentuknya, maka limbah dapat dikelompokkan menjadi empat yaitu: limbah cair, limbah padat, limbah gas dan suara (Firmansyah R, 2009) (Kistinnah I, 2009) dan (Sulistyorini, 2009).

Limbah cair

Peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001 tentang pengelolaan air dan pengendalian pencemaran air menjelaskan beberapa jenis limbah cair, yaitu:

1. Limbah cair domestik atau rumah tangga (domestic wastewater), yaitu limbah hasil dari kegiatan rumah tangga, perkantoran, perdagangan dan sisa bahan bangunan.



Gambar 2.1: Limbah cair sisa dari air sabun, detergen sisa cucian, dan air tinja.

2. Limbah cair industri (industrial wastewater), yaitu limbah cair sisa kegiatan industri seperti industri tekstil dalam proses pewarnaan kain, industri pengolahan makanan air yang digunakan untuk proses pencucian bahan seperti daging, buah, sayur.



Gambar 2.2: Limbah cair industri tekstil yang mencemari sungai Citarum (tribunnews.com).

3. Rembesan dan luapan (infiltration and inflow), yaitu limbah cair karena adanya kebocoran, sehingga merembes ke dalam tanah atau adanya luapan dari permukaan. Instalasi pemasangan AC atau pendingin ruangan, saluran pembuangan air di atap gedung atau rumah.



Gambar 2.3: AC yang mengalami kebocoran (99.co).

4. Air hujan (storm water), yaitu air hujan memiliki banyak manfaat, tetapi saat air hujan sudah sampai pada permukaan tanah dan tidak meresap ke dalam tanah, air hujan akan mengalir menuju ke tempat yang lebih rendah. Proses mengalirnya air, akan membawa partikel-partikel yang terdapat di permukaan tanah yang dilaluinya. Proses inilah yang menyebabkan air hujan termasuk sebagai limbah cair.



Gambar 2.4: Air hujan yang bercampur dengan berbagai partikel di permukaan tanah (grassindonesia.co.id).

Limbah padat

Limbah padat merupakan sisa kegiatan manusia yang tidak digunakan lagi dan berbentuk padat. Limbah padat dibedakan menjadi enam kelompok, yaitu:

1. Sampah organik mudah busuk (garbage), yaitu limbah dari bahan-bahan organik seperti sampah sayuran, buah-buahan, dan sisa makanan. Limbah tersebut mudah diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam tanah
2. Sampah anorganik dan organik tak membusuk (rubbish), limbah dari tumbuhan atau binatang yang tidak mudah busuk seperti tulang, rambut dan kulit kelapa. Sampah anorganik bisa berupa limbah plastik, kaca dan kaleng minuman dan sejenisnya, karena mikroorganisme tidak mampu untuk menguraikannya.
3. Sampah abu (ashes), yaitu Limbah yang abu hasil sisa pembakaran atau gunung meletus, karena bentuknya kecil dan ringan, abu bisa dengan mudah terbang terbawa oleh angin.
4. Sampah bangkai binatang (dead animal), ketika terdapat binatang yang mati dan tidak segera dilakukan penguburan, maka bangkai tersebut termasuk dalam kategori limbah.
5. Sampah B3, (Hazardous Waste), yaitu limbah padat dari hasil industri yang membahayakan manusia, hewan dan lingkungan. Limbah kelompok ini antara lain: Limbah padat patogen yang berasal dari rumah sakit dan klinik. Limbah padat beracun, limbah sisa-sisa pestisida, insektisida, kaleng bekas tempat pestisida atau bahan beracun lainnya.



Gambar 2.5: Limbah abu aluminium pengurug jalan di Desa Watudakon, Kesamben, Kabupaten Jombang, Jawa Timur (Kompas.com)

Limbah Gas

Limbah gas adalah limbah sisa hasil pembakaran atau pembusukan dan berbentuk gas. Penyebaran limbah jenis gas memanfaatkan media udara. Keberadaan limbah gas dapat diketahui dari keberadaan bau, rasa dan warna di udara. Terdapat dua pencemar di udara yaitu partikel dan gas itu sendiri. Partikel adalah butiran halus dan dapat dilihat dengan mata biasa seperti uap air, debu, asap, kabut dan asap. Sedangkan pencemaran bentuk gas hanya dapat dirasakan melalui penciuman (untuk gas tertentu) atau akibat langsung. Udara mengandung berbagai unsur kimia, antara lain O_2 , N_2 , NO_2 , CO_2 , H_2 . Penambahan gas ke udara yang melebihi kandungan udara alami akan menurunkan kualitas udara.

Tabel 2.1: Beberapa macam limbah gas yang umum ada di udara
(environment-indonesia.com, 2021)

No.	Jenis	Keterangan
1.	Karbon monoksida (CO)	Gas tidak berwarna, tidak berbau
2.	Karbon dioksida (CO_2)	Gas tidak berwarna, tidak berbau
3.	Nitrogen oksida (NO)	Gas berwarna dan berbau
4.	Sulfur oksida (SO_2)	Gas tidak berwarna dan berbau tajam
5.	Asam klorida (HCl)	Berupa uap
6.	Amonia (NH_3)	Gas tidak berwarna, berbau
7.	Metan (CH_4)	Gas berbau
8.	Hidrogen fluorida (HF)	Gas tidak berwarna
9.	Nitrogen sulfida (NS)	Gas berbau
10.	Klorin (Cl_2)	Gas berbau

Limbah suara

Suara atau bunyi yang terlalu keras memiliki dampak yang tidak baik bagi pendengaran manusia. Limbah suara atau polusi suara banyak kita temui di kota-kota besar, jalan raya yang tidak pernah sepi dilalui berbagai jenis kendaraan dengan suara mesin yang berbeda-beda. Polusi suara berbeda dengan limbah-limbah sebelumnya, karena tingkat kebisingan suara tiap orang berbeda-beda, seseorang menganggap suara keras sesuatu yang biasa, tetapi bagi orang lain suara tersebut terasa menyakitkan. Sumber limbah suara antara lain: adanya gesekan atau getaran antara dua benda di mesin, rantai dan piston. Suara yang dihasilkan oleh aktivitas mesin.

2.2.2 Bau

Suatu wilayah atau lingkungan tercemar oleh limbah atau tidak, salah satu caranya dapat diketahui jika ada perubahan bau di lokasi tersebut. Cara mengidentifikasi perubahan bau menggunakan indra penciuman. Perubahan bau pada suatu lingkungan disebabkan oleh adanya dekomposisi bahan-bahan organik yang menghasilkan gas-gas tertentu. Jenis gas yang menimbulkan bau antara lain amonia dan senyawa sulfida.

2.2.3 Warna

Perubahan warna juga bisa digunakan sebagai asumsi bahwa suatu lingkungan tercemar atau tidak. Misalnya air yang belum tercemar warnanya jernih, tetapi ketika terdapat limbah yang masuk ke dalam perairan (pencemaran air) maka air akan berubah warna menjadi kehitaman. Perubahan warna tersebut dikarenakan adanya penurunan jumlah oksigen di dalam perairan serta adanya proses dekomposisi bahan-bahan organik. Tanah yang subur dan tidak tercemar pupuk kimia memiliki warna kehitaman atau kecoklatan dengan bintik-bintik putih.



Gambar 2.6: Terjadinya perubahan warna, bau air sungai di Cimahi Jawa Barat (<https://limawaktu.id>)

2.3 Karakter Kimia

2.3.1 Bahan organik

Limbah organik berasal dari sisa makanan, sayuran, jasad hewan dan tumbuhan yang membusuk. Limbah terdapat beberapa kandungan bahan organik berupa protein 65%, karbohidrat 25% dan lemak 10%. Lemak dalam limbah domestik bisa berasal dari sisa makanan, yang jika dibuang ke wilayah perairan akan mengapung dan menutupi permukaan air sehingga sinar matahari tidak bisa menembus ke dalam air dan mengganggu proses fotosintesis di dalam air. Minyak dan lemak memang tidak dapat terdegradasi dalam waktu yang singkat, karena membutuhkan waktu cukup lama maka keberadaannya akan mengganggu aktivitas organisme di dalamnya dan ekosistem yang ada dalam tempat tercemar limbah.

2.3.2 BOD (Biological Oxygen Demand)

BOD atau *Biological Oxygen Demand* merupakan ukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menghilangkan bahan organik limbah dari air dalam proses penguraian oleh bakteri aerob (bakteri yang hanya hidup di lingkungan yang mengandung oksigen). Air buangan yang mengandung BOD akan berbahaya jika dibuang langsung. Jumlah BOD di lingkungan akan memengaruhi jumlah DO atau oksigen terlarut di dalam air. Menentukan bagaimana bahan organik memengaruhi konsentrasi oksigen terlarut di sungai atau danau merupakan bagian integral dari manajemen kualitas air. Bahan organik limbah distabilkan atau dibuat tidak dapat dibantah melalui penggunaannya oleh organisme bakteri hidup yang membutuhkan oksigen untuk melakukan tugasnya. BOD digunakan, seringkali di pabrik pengolahan air limbah, sebagai indeks tingkat polusi organik dalam air.

5

2.3.3 DO (Dissolved Oxygen)

Dissolved Oxygen atau oksigen terlarut yaitu sebuah jumlah kebutuhan oksigen bakteri guna menstabilkan bahan-bahan organik guna menopang kehidupan tanaman dan hewan di dalam air (Sawyer, 2003). Air memiliki kemampuan untuk menyediakan oksigen untuk kelangsungan makhluk hidup yang ada di dalamnya seperti halnya di laut. Air mengandung kira-kira 8 ppm oksigen terlarut, standar minimum oksigen terlarut yang diperlukan untuk kehidupan ikan adalah 5 ppm, apabila di bawah jumlah ini maka ikan dan

5 biota air lainnya tidak dapat melangsungkan kehidupan dan mati (Fardiaz, 1992) (Salmin, 2005).

Oksigen terlarut yang terdapat dalam air berasal dari fotosintesis tumbuhan air dan juga oksigen dari atmosfer yang masuk ke dalam air. Meskipun ikan dan hewan lainnya di dalam air bernafas menggunakan alat pernafasan khusus, namun mereka tetap membutuhkan kandungan oksigen terlarut dalam air. Sayangnya oksigen ini akan rusak dan hilang jika adanya limbah dan juga berbagai pembuangan yang merusak oksigen terlarut tersebut.

2.3.4 COD (Chemical Oxygen Demand)

COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik dilihat secara kimiawi yang terdapat di dalam air dengan sempurna agar bahan tersebut bisa berubah menjadi bentuk lainnya dengan cara alami. Kelemahan pengukuran COD yaitu hasil analisis membutuhkan waktu yang lama, diperlukannya benih bakteri (seed) yang teraklimatisasi dan aktif dalam konsentrasi yang tinggi; diperlukan perlakuan pendahuluan tertentu bila perairan diindikasikan mengandung bahan toksik; dan efek atau pengaruh dari organisme nitrifikasi (nitrifying organism) harus dikurangi. Adanya kelemahan-kelemahan tersebut, pengukuran BOD sebagai tolak ukur adanya pencemaran dalam lingkungan. Meskipun ada kelemahan-kelemahan tersebut,

5 2.3.5 pH (Puissance d'Hydrogène Scale)

pH atau pun derajat keasaman adalah ukuran yang menunjukkan kadar asam dan juga basa dalam suatu larutan. Larutan bersifat netral jika memiliki $\text{pH} = 7$, sedangkan larutan bersifat basa jika $\text{pH} > 7$ dan bersifat asam jika < 7 . Air limbah memiliki pH netral yang disebabkan karena adanya buffer air. Ketika lingkungan air maupun tanah memiliki pH yang tidak netral maka lingkungan tersebut dipastikan sudah tercemar oleh limbah. akan menjadi limbah yang membahayakan. Apabila terjadi perubahan keasaman pada air limbah menjadi pH naik (alkali) maupun menjadi pH turun (asam), dapat mengganggu ekosistem air. Sedangkan pH air limbah yang sangat rendah bersifat korosif terhadap logam seperti baja serta dapat mengakibatkan perkaratan pada pipa besi.

2.4 Karakter Biologi

Limbah juga memengaruhi benda tak hidup dan juga benda hidup yang bisa menimbulkan penyakit yang membahayakan. Bakteri yang digunakan sebagai indikator adalah *Escherichia coli* di mana bakteri yang hidup dalam kotoran manusia dan hewan ini bisa ditemukan juga dalam limbah yang dianggap membahayakan dan mencemari. Keberadaan cacing di dalam tanah atau mikroorganisme lainnya juga menjadi salah satu faktor yang dapat digunakan oleh masyarakat untuk mengetahui apakah lingkungan tersebut sudah tercemar atau tidak (Eddy, 2008)

Bab 3

Laju Air Limbah

3.1 Pendahuluan

Air limbah merupakan produk samping dari proses produksi industri yang tidak berguna lagi dan dibuang ke lingkungan dan berpotensi mencemari lingkungan. Permasalahan air limbah industri ini semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah industri (Sy, Sofyan, dan Muhtar 2017). Permasalahan ini telah menjadi perhatian penting, tidak terkecuali di negara industri maju dan Indonesia khususnya, karena banyak industri di Indonesia yang belum bahkan tidak mematuhi aturan pengelolaan air limbah. Pada umumnya industri tersebut hanya langsung dibuang ke badan perairan/sungai tanpa diolah terlebih dahulu, sehingga dapat menurunkan kualitas lingkungan (Ratna, Samudro, dan Sumyati 2017).

¹² Banyak alternatif pengolahan air limbah yang dapat diterapkan. Mulai dari proses fisika, kimia, dan biologi seperti penyaringan, sedimentasi, desinfeksi, klorinasi, pertumbuhan lekat secara anaerobik atau aerobik, kontaktor berputar secara biologi, metoda lumpur aktif dan lain-lain. Metode yang mengolah limbah cair dengan memanfaatkan mikroorganisme (bioremediasi) merupakan metode tertua dalam pengolahan limbah cair. Pengolahan limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme sebagai pendegradasi ini sudah banyak dilakukan dan proses pengolahan limbah dengan menggunakan mikroorganisme ini juga termasuk pengolahan limbah sangat sederhana serta

mudah dilakukan (Hendrasari 2016). Dalam menurunkan kadar BOD, COD, TSS, dan pH, mikroorganisme mempunyai peranan yang signifikan dalam mengurai nutrisi dibantu oleh oksigen esensial dalam air limbah dengan maksud menurunkan kadarnya.

Proses oksidasi menitik beratkan pada pemanfaatan laju alir air limbah agar mikroorganisme mempunyai cukup ruang untuk memanfaatkan nutrisi berupa suspended solid agar terurai lebih sederhana lagi.

3.2 Pola jaringan Sistem Instalasi Limbah

⁵ Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka (open channel flow) maupun saluran tertutup (pipe flow), seperti yang dijelaskan selanjutnya.

3.2.1 Saluran Terbuka

Saluran Terbuka yaitu saluran yang lebih cocok untuk sistem Instalasi limbah air hujan yang terletak di daerah yang mempunyai luasan yang cukup, ataupun untuk sistem instalasi limbah air non-hujan yang tidak membahayakan kesehatan / mengganggu lingkungan. Pada aliran saluran terbuka terdapat permukaan air yang bebas (free surface), permukaan bebas ini dapat dipengaruhi oleh tekanan udara luar secara langsung. Sedangkan pada aliran pipa tidak terdapat permukaan yang bebas, oleh karena seluruh saluran diisi oleh air. Pada aliran pipa permukaan air secara langsung tidak dipengaruhi oleh tekanan udara luar, kecuali hanya oleh tekanan hidrolis yang ada dalam aliran saja.

Pada aliran saluran terbuka untuk penyederhanaan dianggap bahwa alir sejajar, kecepatannya beragam dan kemiringan kecil. Dalam hal ini permukaan air merupakan garis derajat hidrolis dan dalamnya air sama dengan tinggi tekanan.

3.2.2 Saluran Tertutup

Saluran Tertutup yaitu saluran yang pada umumnya sering dipakai untuk aliran air kotor (air yang mengganggu kesehatan/lingkungan) atau untuk saluran yang terletak di tengah kota. Meskipun kedua jenis aliran hampir sama,

5 penyelesaian masalah aliran dalam saluran terbuka jauh lebih sulit dibandingkan dengan aliran dalam pipa tekan, oleh karena kedudukan permukaan air bebas cenderung berubah sesuai dengan waktu dan ruang, dan juga bahwa kedalaman aliran, debit, kemiringan dasar saluran dan kedudukan permukaan bebas saling bergantung satu sama lain. Aliran dalam suatu saluran tertutup tidak selalu bersifat aliran pipa.

Apabila terdapat permukaan bebas, harus digolongkan sebagai aliran saluran terbuka. Sebagai contoh, saluran sistem Instalasi limbah air hujan yang merupakan saluran tertutup biasanya dirancang untuk aliran saluran terbuka sebab aliran saluran limbah diperkirakan hampir setiap saat, memiliki permukaan bebas.

3.3 Menurut Fungsi Saluran Limbah Cair

1. Single Purpose, yaitu saluran yang berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan, misalnya air hujan saja atau jenis air buangan yang lain seperti limbah domestik, air limbah industri dan lain lain.
2. Multi Purpose, yaitu saluran yang berfungsi mengalirkan beberapa jenis air buangan baik secara bercampur maupun bergantian.

3.3.1 Aliran Air Saluran Terbuka.

5 Penggolongan jenis aliran berdasarkan perubahan kedalaman aliran sesuai dengan perubahan ruang dan waktu.

3.3.2 Aliran Tunak (Steady Dow)

Aliran tunak adalah aliran yang mempunyai kedalaman tetap untuk selang waktu tertentu. Aliran tunak diklasifikasikan menjadi:

1. Aliran seragam (uniform flow), Aliran saluran terbuka dikatakan seragam apabila kedalaman air sama pada setiap penampang saluran.
2. Aliran berubah (varied flow), Aliran saluran terbuka dikatakan berubah apabila kedalaman air berubah di sepanjang saluran. Aliran berubah lambat laun, Aliran saluran terbuka dikatakan berubah lambat laun apabila kedalaman aliran berubah secara lambat laun.

Aliran berubah tiba-tiba, Aliran saluran terbuka dikatakan berubah tiba-tiba apabila kedalaman aliran berubah tiba-tiba.

3.3.3 Aliran Tunak Non Uniform (Steady Non Uniform)

Aliran Tunak terjadi karena vektor kecepatan berubah sepanjang saluran yang dapat diakibatkan oleh karena perubahan tampang saluran, perubahan kemiringan dasar saluran ataupun karena adanya bangunan pengatur. Ketidakberaturan aliran dapat diklasifikasikan sebagai *Gradually Varied Flow* dan *Rapidly Varied Flow*.

Pada *Gradually Varied Flow* aliran berubah berangsur-angsur sehingga lengkung garis aliran dapat dianggap merupakan garis lurus. Pada kondisi itu distribusi tekanannya dapat dianggap sebagai tekanan hidrostatik. Juga aliran dapat dianggap tidak mempunyai komponen kecepatan vertikal sehingga energi kinetik per satuan berat dapat dinyatakan dengan $u^2/2g$. Selanjutnya karena kedalaman berubah secara berangsur-angsur maka kehilangan tinggi tenaga hanya disebabkan oleh geseran dasar.

Pada *Rapidly Varied Flow* kedalaman aliran berubah secara cepat sehingga geseran dasar merupakan sebagian dari kehilangan tinggi tenaga. Loncat air adalah salah satu contoh tipe aliran ini. Walaupun tidak tetap (karena non uniform) dianggap kecepatan berubah berangsur-angsur sehingga tidak ada kerugian tenaga akibat perubahan kecepatan mendadak. Serat aliran dianggap paralel. (Ven Te Chow, 1997)

3.3.4 Aliran tidak tunak (unsteady flow)

Aliran tidak tunak adalah aliran yang mempunyai kedalaman aliran yang berubah tidak sesuai dengan waktu. Banjir merupakan salah satu contoh aliran tidak tunak. Aliran tidak tunak diklasifikasikan:

1. Aliran seragam tidak tunak (unsteady uniform flow), Aliran saluran terbuka di mana alirannya mempunyai permukaan yang berfluktuasi sepanjang waktu dan tetap sejajar dengan dasar saluran. Aliran ini jarang dijumpai dalam praktek.
2. Aliran berubah tidak tunak (unsteady varied flow), Aliran saluran terbuka di mana kedalaman aliran berubah sepanjang waktu dan ruang. Aliran tidak tunak berubah lambat laun, di Aliran saluran

terbuka mana kedalaman aliran berubah sepanjang waktu dan ruang dengan perubahan kedalaman secara lambat laun.

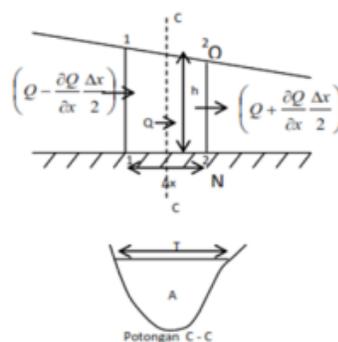
3.3.5 Metode Aerasi Sebagai Alternatif Utama Dalam Mendegradasi Limbah Cair

1 Untuk menurunkan kandungan limbah yang polutif tersebut digunakan metode aerasi bertingkat dengan mempelajari lama waktu aerasi terhadap penurunan kadar BOD, COD, TSS dan pH limbah. Prinsip kerjanya adalah memperbanyak oksigen terlarut dalam air agar kondisi air limbahnya aman untuk dibuang ke lingkungan (Grady, Daigger, dan Lim 1999; Hackenberger 1983).

3.4 Pemodelan kontinuitas arus air limbah

3.4.1 Persamaan Kontinuitas

Menurut Wignyosukarto B, (1988), persamaan kontinuitas disajikan pada Gambar 3.1. Ditinjau suatu pias 1 – 2 – 2 – 1 sepanjang Δx dari suatu aliran muka air terbuka (Gambar 3.1). Apabila debit yang lewat di tampang c – c besarnya sama dengan Q dan mempunyai kedalaman aliran sebesar h pada saat t , maka besarnya aliran netto yang lewat pada pias tersebut selama waktu Δt disajikan dalam persamaan 1.



Gambar 3.1: Kontinuitas Aliran Dalam Suatu Pias (Hendrasari 2016)

$$\left[\left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) \right] \Delta t = - \frac{\partial Q}{\partial x} \Delta x \Delta t \quad (1)$$

1
dengan:

Q = debit aliran (m³/dt)

Δx = panjang pias (m)

Δt = selang waktu (dt)

Apabila luas penampang di potongan c – c adalah A dengan lebar muka air T , maka jumlah pertambahan volume pada pias tersebut selama waktu t disajikan dalam persamaan 2.

$$\frac{\partial}{\partial t} (A \Delta x) \Delta t \quad (2)$$

1
dengan:

A = luas penampang aliran (m²)

Δt = selang waktu (dt)

Prinsip kontinuitas menyatakan bahwa jumlah pertambahan volume sama dengan besarnya aliran netto yang lewat pada pias tersebut, sehingga dengan menyamakan kedua persamaan tersebut di atas dan dengan membaginya dengan $\Delta x \Delta t$, maka didapat persamaan kontinuitas yang disajikan dalam persamaan 3.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

dengan:

1
 Q = debit aliran (m³/dt)

A = luas penampang aliran (m²)

3.4.2 Persamaan Momentum

Hukum Newton kedua menyatakan bahwa besarnya perubahan momentum pada suatu pias aliran adalah sama dengan besarnya resultan gaya-gaya yang bekerja pada pias tersebut.

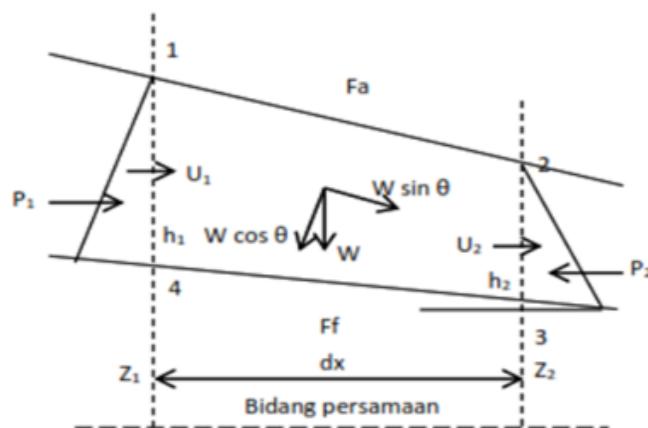
$$\Sigma F = \rho Q du \quad (4)$$

dengan:

F = gaya (N)

ρ = massa jenis (kg/m³)

Q = debit (m³/dt)



Gambar 3.2: Gaya-gaya yang bekerja pada pias, (Hendrasari 2016)

Dengan melihat suatu pias 1-2-3-4 maka persamaan konservasi momentum disajikan dalam persamaan 5.

$$W \sin \theta + P_1 - P_2 - F_f + F_a = \rho Q (u_2 - u_1) \quad (5)$$

dengan:

P = tekanan hidrostatis potongan 1-4 dan 2-3.

W = berat volume pias 1-2-3-4

θ = kemiringan dasar saluran

F_a = tekanan udara pada muka air bebas

F_f = gaya geser yang terjadi akibat kekasaran dasar. (Rakhmad Armus 2014)

3.4.3 Persamaan Bilangan Froude

Bilangan Froude merupakan perbandingan gaya-gaya inersia dengan gaya-gaya gravitasi (per satuan volume) yang dinyatakan dalam persamaan 6.

$$F = \frac{u}{\sqrt{gD}} \quad (6)$$

1 dengan:

u = kecepatan aliran (m/dt)

g = percepatan gravitasi 9,81 m/dt²

D = kedalaman hidraulik.

Aliran dikatakan kritis apabila bilangan Froude sama dengan satu, aliran disebut subkritis apabila $F < 1,0$ dan superkritis apabila $F > 1,0$. (Hackenberger 1983).

1 3.4.4 BOD (Biochemical Oxygen Demand)

BOD merupakan ukuran dari sejumlah material organik yang dapat terurai secara biologi di dalam air. Hal itu ditunjukkan dengan milligram oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi material organik tersebut dalam satu liter air. (Grady, Daigger, dan Lim 1999).

3.4.5 Koefisien Deoksidasi

Deoksidasi adalah metode yang digunakan dalam metalurgi untuk menghilangkan kandungan oksigen selama pembuatan baja. Sebaliknya, antioksidan digunakan untuk stabilisasi, seperti dalam penyimpanan makanan. Deoksidasi penting dalam proses pembuatan baja karena oksigen seringkali merusak kualitas baja yang diproduksi. Deoksidasi terutama dicapai dengan menambahkan spesies kimia terpisah untuk menetralkan efek oksigen atau dengan langsung menghilangkan oksigen.

Menurut Hackenberger (1983), keseimbangan massa untuk kondisi aliran dan geometri yang konstan disajikan dalam persamaan 7.

$$\frac{dL}{dt} = -u \frac{dL}{dx} - k_r \cdot L \quad (7)$$

1 dengan:

L = CBOD (mg/L)

u = kecepatan rerata aliran (m/dt)

¹
 k_r = koefisien deoksidasi CBOD (/hari)

Koefisien deoksidasi (k_r) merupakan koefisien degradasi CBOD yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan berkaitan dengan efek dasar dan kecepatan endap dari partikel disajikan dalam persamaan 8.

$$k_r = k_d + k_s \quad (8)$$

dengan:

¹
 k_d = koefisien deoksidasi akibat efek dasar (/hari)

k_s = koefisien deoksidasi akibat pengendapan partikel (/hari)

$$k_s = \frac{v_s}{H} \quad (9)$$

¹
 dengan:

v_s = *terminal settling velocity* (kecepatan endap partikel, m/hari)

Berdasarkan hukum Stokes kecepatan endap partikel dapat dihitung dengan persamaan 10.

$$v_s = \frac{g}{18 \cdot \mu} (\rho_s - \rho_w) d_s^2 \quad (10)$$

dengan:

g = percepatan gravitasi bumi (= 981 cm/dt²)

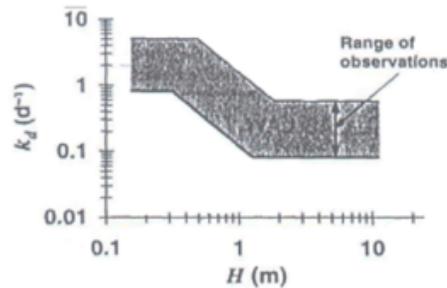
μ = kekentalan dinamis (g/cm dt)

ρ_s = massa jenis partikel (g/cm³)

ρ_w = massa jenis air (g/cm³)

d_s = ukuran efektif butiran partikel (cm)

Nilai k_d dapat ditentukan dengan menggunakan diagram yang terdapat pada Gambar 3.3 (Thomann, R.V & Mueller, J.A., 1987).



Gambar 3.3: Diagram kedalaman aliran (H) vs k_d , (Suherman 2002)

Kajian variasi aliran dilakukan pada aliran yang mengalami loncatan pada terjunan yang tiba-tiba dan loncatan pada ekspansi yang tiba-tiba. Selanjutnya akan dikaji lebih lanjut tentang pengaruhnya terhadap penurunan kadar BOD.

3.4.6 Menurut Letak Bangunan Instalasi

1. Sistem Instalasi Limbah Permukaan Tanah (Surface Wastewater System) Saluran sistem Instalasi limbah yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan. Analisa alirannya merupakan analisa open channel flow.
2. Sistem Instalasi Limbah Bawah Permukaan Tanah (Subsurface Wastewater System). Saluran sistem Instalasi limbah yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa), dikarenakan alasan-alasan tertentu. Alasan itu antara lain: Tuntutan artistik, tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak membolehkan adanya saluran di permukaan tanah seperti lapangan sepak bola, lapangan terbang, taman dan lain-lain.

3.5 Pengertian Debit Aliran limbah Cair

Debit aliran merupakan satuan untuk mendekati nilai-nilai hidrologis proses yang terjadi di lapangan. Kemampuan pengukuran debit aliran sangat diperlukan untuk mengetahui potensi air limbah di suatu tempat. Debit aliran dapat dijadikan sebuah alat untuk memonitor dan mengevaluasi neraca air suatu kawasan melalui pendekatan potensi sumberdaya air permukaan yang ada. Debit aliran suatu zat cair adalah banyaknya volume zat cair yang

melewati suatu penampang tiap satuan waktu (Rohman 2017; Hendrasari 2016).

3.5.1 Satuan Debit

Berdasarkan definisi debit yaitu volume zat cair yang mengalir per satuan waktu, maka satuan debit adalah “satuan volume per satuan waktu”. Contoh satuan debit adalah m³/detik, m³/jam, liter/detik, liter/jam, ml/detik, dan lain sebagainya.

3.5.2 Debit Aliran Limbah

Berdasarkan definisi debit di atas maka rumus untuk menghitung debit suatu cairan yang mengalir adalah sebagai berikut.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (11)$$

3.5.3 Waktu Aliran Limbah

Jika diketahui volume aliran dan debit, maka kita dapat menghitung waktu aliran dengan menggunakan persamaan berikut.

$$t = \frac{V}{Q} \quad (12)$$

3.5.4 Volume Aliran Limbah

Jika diketahui debit dan waktu aliran, maka kita dapat menghitung volume aliran dengan persamaan berikut.

$$V = Q \times t \quad (13)$$

Di mana:

V = Volume aliran

Q = Debit aliran

t = Waktu aliran

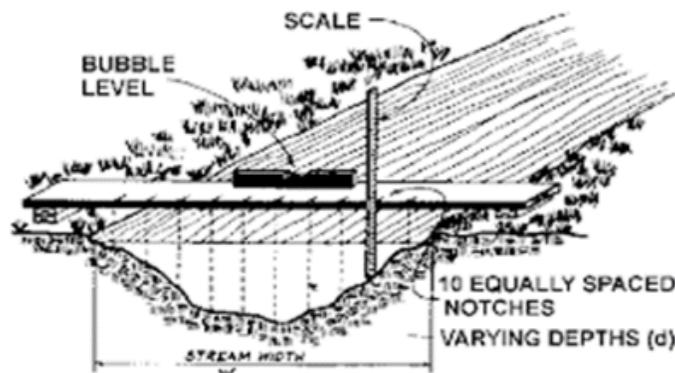
3.6 Pengukuran Aliran Limbah

Pada prinsipnya alat pengukur arus (Current meter) adalah pengukuran luas penampang basah dan kecepatan aliran. Penampang basah (A) diperoleh dengan pengukuran lebar permukaan air dan pengukuran kedalaman dengan tongkat pengukur atau kabel pengukur. Kecepatan aliran dapat diukur dengan metode: metode current-meter dan metode apung.

Current meter adalah alat untuk mengukur kecepatan aliran (kecepatan arus). Ada dua tipe current meter yaitu tipe baling-baling (propeller type) dan tipe cangking (cup type). Oleh karena distribusi kecepatan aliran di sungai tidak sama baik arah vertikal maupun horizontal, maka pengukuran kecepatan aliran dengan alat ini tidak cukup pada satu titik. Debit aliran sungai dapat diukur dengan beberapa metode. Tidak semua metode pengukuran debit cocok digunakan. Pemilihan metode tergantung pada kondisi (jenis sungai, tingkat turbulensi aliran) dan tingkat ketelitian yang akan dicapai.

3.6.1 Pengukuran Debit dengan Cara Apung (Float Area Methode)

Jenis penggunaan pelampung dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4: Penggunaan pelampung untuk mengukur arus (R Armus dkk. 2018)

Kecepatan aliran (V) ditetapkan berdasarkan kecepatan pelampung (U) luas penampang (A) ditetapkan berdasarkan pengukuran lebar saluran (L) dan kedalaman saluran (D), debit sungai (Q) = $A \times V$ atau $A = A \times k$ di mana k adalah konstanta.

$$Q = A \times k \times U \quad (14)$$

di mana:

Q = debit (m³/det)

U = kecepatan pelampung (m/det)

A = luas penampang basah sungai (m²)

k = koefisien pelampung

3.6.2 Pengukuran Debit dengan Current-meter

Current meter merupakan sebuah alat ukur yang digunakan untuk menghitung kecepatan arus air, di mana kecepatan arus air akan dihitung dalam satuan (meter/detik). Kecepatan arus air didapatkan dengan cara membandingkan jumlah putaran kincir pada current meter selama waktu tertentu, kemudian dikonversikan dengan rumus tertentu. Banyaknya putaran kincir pada current meter, didapatkan dengan cara mendengarkan pulsa yang dihasilkan oleh current meter menggunakan headphone, atau menghitung pulsa yang dihasilkan menggunakan counter mekanik, sedangkan lama waktu pengukuran ditunjukkan oleh sebuah stopwatch. Penghitungan banyaknya putaran kincir menggunakan headphone atau counter mekanik merupakan penghitungan secara manual sehingga faktor kesalahan yang akan terjadi relatif besar.

3.6.3 Pengukuran Debit dengan Metode Kontinyu

Current meter diturunkan kedalam aliran air dengan kecepatan penurunan yang konstan dari permukaan dan setelah mencapai dasar sungai diangkat lagi ke atas dengan kecepatan yang sama (Hendrasari 2016).

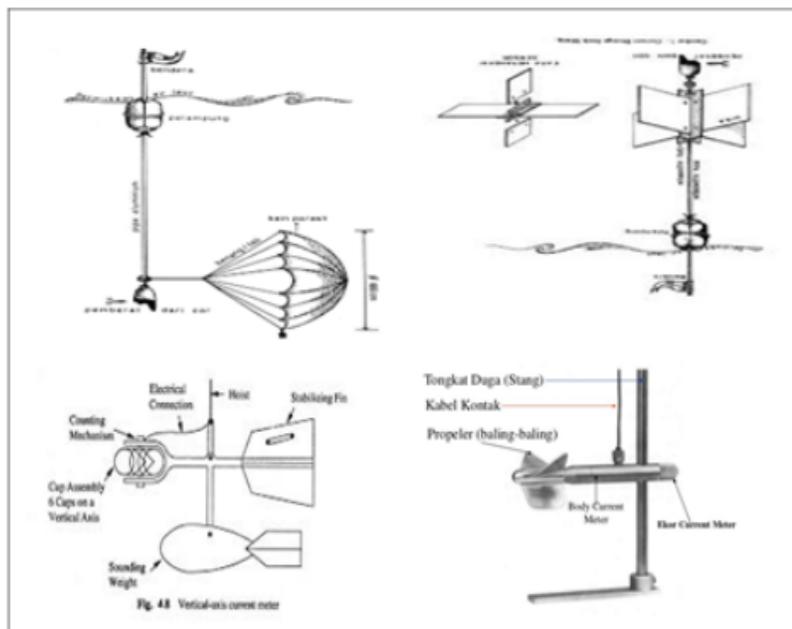
3.6.4 Metode Volumetrik

Metode volumetrik adalah cara mengukur debit secara langsung dengan manampung aliran air dalam gelas ukur atau ember yang diketahui volumenya. Hal yang dilakukan dalam perhitungan debit aliran dengan metode ini adalah mengukur lama pengisian tampungan dalam waktu tertentu. Debit (Q) = volume air per waktu. Cara ini tidak dapat digunakan untuk aliran besar dan cocok untuk mengukur debit mata air atau rembesan (Winarno dkk. 2019).

3.7 Kecepatan Aliran

3.7.1 Cara Menentukan Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran sungai/saluran terbuka dapat ditentukan dengan cara mengukur langsung dan atau dengan cara tidak langsung. Kecepatan aliran dapat diukur dengan berbagai alat, antara lain: alat ukur arus dan pelampung, atau dapat dihitung berdasarkan berbagai faktor, antara lain: faktor kekasaran, kemiringan energi dan tinggi muka air pada penampang kendali buatan (Yenti, Irwandi, dan Chairul 2015; Semadi Antara 2015).



Gambar 3.5: Beberapa jenis curren meter dan prinsip kerja (Sy 2017)

3.7.2 Kalibrasi Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran

Jika memungkinkan, semua hasil pengukuran kecepatan aliran yang dilakukan tidak menggunakan alat ukur arus harus diverifikasi dengan pengukuran debit dengan menggunakan alat ukur arus.

3.7.3 Pengukuran langsung kecepatan aliran

Pengukuran kecepatan aliran langsung dengan alat ukur arus dapat dilaksanakan dengan cara merawas, dengan bantuan wahana apung perahu,

jembatan atau menggunakan kereta gantung. Salah satunya adalah merawas, pengukuran debit dengan cara merawas adalah pengukuran yang dilakukan tanpa bantuan wahana (perahu, kereta gantung, winch cable way dan lain-lain) yaitu petugas pengukuran langsung masuk ke dalam sungai.

Bab 4

Analisis dan Reduksi Laju Alir Limbah Cair

4.1 Pendahuluan

Air merupakan sumber daya yang paling esensial dibutuhkan makhluk hidup dalam melangsungkan kehidupannya. Air secara luas digunakan untuk berbagai keperluan antara lain minum, pertanian/perkebunan, kebersihan, industri, pertambangan dan lain sebagainya. Maka dari itu, jika kualitas air terganggu akibat adanya limbah yang tercemar akan mengganggu keberlangsungan dari makhluk hidup. Air yang tercemar sering kita sebut dengan air limbah (berwujud cair/limbah cair). Air limbah dapat terjadi secara alami dan hasil dari aktivitas makhluk hidup. Secara alami misalkan akibat terjadinya bencana alam seperti gunung meletus, banjir, longsor atau dengan kata lain proses terbentuknya limbah secara alami terjadi. Air limbah hasil dari aktivitas makhluk hidup berupa limbah rumah tangga, industri (tekstil, farmasi, kertas dan pulp, makanan dan lain sebagainya) (Naushad & Lichtfouse, 2020).

Limbah cair hasil aktivitas makhluk hidup dari kegiatan industri umumnya ini yang berbahaya apalagi industri yang mengeluarkan residu warna, logam berat, pelarut-pelarut kimia yang semuanya ini sangat toksik dan beracun. Limbah cair tersebut jika tidak dilakukan pengolahan dengan baik maka akan

berdampak buruk bagi keberlangsungan makhluk hidup dalam sistem ekosistem dan ekologi. Misalnya, limbah cair dari industri tekstil yang menggunakan pewarna sintetik (pewarna anionik, kationik dan non-ionik) sangat merugikan makhluk hidup secara umum dan secara khusus manusia. Dampaknya jika masuk kedalam tubuh manusia melalui saluran gastrointestinal akan memengaruhi pembentukan hemoglobin, menimbulkan penyakit kulit, paru-paru dan darah. Hal ini karena sifat limbah yang dihasilkan bersifat karsinogenik. Meminimalkan dampak air limbah tersebut penting untuk dilakukan pengelompokan, analisis dan dilakukan pengelolaan yang baik sebelum dibuang ke lingkungan (Naushad & Lichtfouse, 2020), mengingat volume limbah akan terus mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan industri dari aktivitas makhluk hidup (Sy, Sofyan, Muchtar, & Kasman, 2017). Pengelolaan limbah cair bertujuan untuk meminimalkan volume, konsentrasi dan toksisitas dari limbah tersebut.

Analisis terhadap limbah cair sangat diperlukan untuk meminimalkan dampak pencemaran dan risiko yang ditimbulkan terhadap lingkungan dan makhluk hidup. Analisis limbah cair dilakukan terhadap pengukuran dan bentuk risiko yang ditimbulkan dan teknik yang digunakan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan (Peirce, Weiner, & Vesilind, 1997). Identifikasi terhadap risiko dan efek samping yang ditimbulkan dapat diketahui jika bertentangan dengan standar baku mutu limbah cair yang telah ditoleransi untuk dibuang ke lingkungan.

4.2 Analisis Limbah Cair

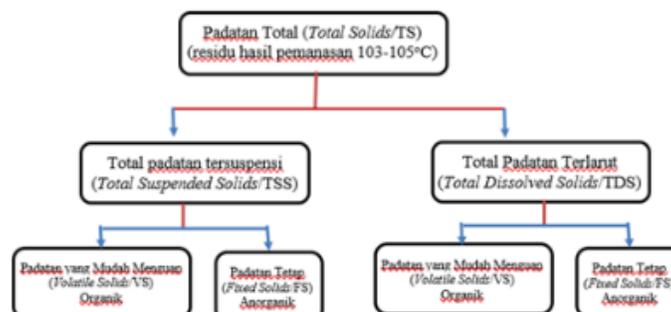
Limbah cair umumnya dihasilkan dari hasil aktivitas manusia terutama dari residu industri. Limbah industri yang dihasilkan dapat berupa air, lumpur, kimia yang pada akhirnya jika tidak dikelola sebelum dibuang ke lingkungan akan menimbulkan masalah pencemaran dan ancaman pada makhluk hidup. Analisis terhadap limbah penting untuk melakukan karakteristik limbah baik secara fisika, biologi maupun kimia yang digunakan sebagai dasar mengetahui kemungkinan tingkat risiko dan pencemaran yang ditimbulkan (Yaqout, 2003). Parameter dalam karakterisasi fisika dari suatu limbah antara lain *Total Solid (TS)*, *Total Suspended Solid (TSS)*, warna, kekeruhan, temperatur, dan bau bau. Parameter karakterisasi kimia antara lain *Biological Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Dissolved Oxygen (DO)*,

Ammonia (NH₃), Sulfida, Fenol, Derajat Keasaman (pH), dan logam berat. Parameter dalam karakterisasi biologi biasanya digunakan untuk mengetahui banyaknya kandungan mikroorganisme yang terdapat dalam air yang telah terkontaminasi dengan limbah cair tersebut (Hatmanto & Junaidi, 2006). Kandungan berbagai komponen yang diperbolehkan terkandung dalam limbah sebagai pencemar telah diatur pada UU RI No. 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Kepmen LH No. 202 Tahun 2004, Kepmen LH No. 115 Tahun 2003, Kepmen LH Mo 11 Tahun 2003, Kepmen LH Mo 112 Tahun 2003, Kepmen LH No. 110 tahun 2003 (Sahubawa, 2011). Analisis limbah cair berdasarkan berbagai parameter akan diuraikan sebagai berikut:

4.2.1 Karakterisasi Fisika

Padatan Total (TS)

Total Solid merupakan total padatan yang terlarut atau zat padat yang tersuspensi baik yang bersifat organik maupun anorganik. Air yang memiliki padatan yang terlarut tinggi memiliki palatabilitas rendah yang menyebabkan reaksi fisiologis yang tidak menguntungkan jika masuk ke dalam tubuh. TS yaitu padatan tersuspensi, terlarut dan volatil. Total padatan yang ditentukan sebagai residu yang tersisa setelah penguapan pada suhu 103-105°C dari sampel yang tidak difilter (Gambar 4.1).



Gambar 4.1: Diagram Pemisahan Sampel dalam Pengukuran Padatan Total (Maiti, 2004)

Prosedur:

1. Ambil cawan evaporasi atau gelas kimia bersih (kapasitas 400 mL) dengan ukuran yang sesuai dan keringkan pada suhu 103-105°C selama satu jam. Kemudian simpan dan didinginkan dalam desikator

sampai dibutuhkan. Timbang segera sebelum digunakan. Catat berat awal (W_i) dalam mg

2. Masukkan 250-300 mL sampel tanpa penyaringan ke dalamnya.
3. Masukkan ke dalam oven, lalu dipanaskan pada suhu 103-105°C selama 2 jam sampai kering.
4. Dinginkan dalam desikator dan ukur berat akhir (W_t) dalam mg.
5. Ulangi siklus pengeringan, pendinginan, pengeringan dan penimbangan hingga diperoleh berat konstan, atau perubahan berat badan kurang dari 4% dari berat sebelumnya atau 0,5 mg. Saat menimbang sampel kering, waspadai perubahan berat karena paparan udara dan degradasi sampel. Penentuan duplikat harus berada dalam 5% dari rata-rata (Maiti, 2004).

Perhitungan:

$$\text{Berat Padatan Total (mg/L)} = \left(\frac{W_t - W_i}{\text{Volume Sampel (mL)}} \right) \times 1000 \text{ (Maiti, 2004)}$$

Perhitungan Total Padatan Suspensi (TSS)

Istilah TSS berlaku untuk berat kering sampel yang tidak keluar dari proses penyaringan standar. Penentuan TSS sangat penting dalam analisis limbah cair. Keberadaan padatan yang tersuspensi dalam limbah cair dapat menurunkan intensitas cahaya sehingga dapat mengganggu proses fotosintesis dari flora akuatik (Maiti, 2004). Material TSS dapat berupa organik dan anorganik seperti sedimen, alga, nutrisi atau logam toksik (Galinha, Sanches, & Crespo, 2018). Pengolahan limbah cair sangat penting untuk menghilangkan bahan-bahan pencemar (Mohd-Asharuddin, Othman, Mohd-Zin, & Tajarudin, 2018).

Prosedur Analisis Sampel:

1. Merangkai peralatan filtrasi dan vakum penghisap
2. Basahi kertas saring dengan sedikit air suling
3. Aduk sampel dengan pengaduk magnet dan sambil diaduk dipipet sejumlah sampel untuk disaring

4. Cuci dengan air suling volume 10 mL untuk 3 kali berturut-turut, biarkan drainase sempurna dari pencucian, lalu lanjutkan pengisapan selama 3 menit setelah filtrasi selesai
5. Kemudian dengan hati-hati keluarkan kertas filter dari peralatan filtrasi dan pindahkan ke cawan penguapan
6. Keringkan sekurang-kurangnya 1 jam pada suhu 103-105oC dalam oven, setelah itu didinginkan dalam desikator lalu timbang
7. Ulangi langkah enam tersebut sampai diperoleh berat konstan atau perubahan berat kurang dari 4% berat sebelumnya (Maiti, 2004)

Perhitungan:

$$\text{TTS (mg/L)} = \left(\frac{W_t - W_i}{\text{Volume Sampel (mL)}} \right) \times 1000 \text{ (Maiti, 2004)}$$

Perhitungan Total Padatan Terlarut (TDS)

Sejumlah besar zat padat yang terlarut ditemukan secara alami yaitu umumnya karbonat, bikarbonat, klorida, sulfat, fosfat dan kalsium nitrat, magnesium, natrium, kalium, besi, magnesium dan lain-lain. Dengan demikian TDS hanya menunjukkan kandungan konsentrasi anion dan kation yang dinyatakan dalam mg/L dalam limbah cair. Prinsip dalam pengukuran TDS dari sampel yaitu bagian sampel yang melewati filter (filtrat) kemudian diuapkan pada suhu 180oC. Filter yang digunakan kertas whatman No 41 (Maiti, 2004). Prosedur Analisis Sampel:

1. Gunakan cawan evaporasi dengan ukuran yang sesuai dengan kondisi bersih, dikeringkan pada suhu 103-105oC selama ± 15 menit, didinginkan dalam desikator lalu ditimbang (W1)
2. Saring sampel 100 -250 mL sampel dengan kertas whatman No. 41 dan filtrat ditampung
3. Uapkan sampel dengan oven pada suhu 180oC selama sampai seluruh air teruapkan, lalu didinginkan di desikator lalu ditimbang (W2) (Maiti, 2004).

Perhitungan:

$$\text{TDS (mg/L)} = \left(\frac{W_2 - W_1}{\text{Volume Sampel (mL)}} \right) \times 1000 \times 1000 \text{ (Maiti, 2004)}$$

4.2.2 Karakterisasi Kimia

Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD didefinisikan sebagai jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri dalam penguraian bahan organik yang terdapat dalam sampel limbah. Penentuan BOD dalam suatu bahan limbah cair bertujuan untuk (1) menentukan nilai kandungan oksigen dalam stabilitas limbah, (2) mengukur jumlah bahan organik yang dapat teroksidasi secara biologis, (3) parameter utama dalam pengendalian pencemaran air, (4) menilai kapasitas bahan pencemar sebelum dibuang ke lingkungan dan sebagai acuan standar. Proses penguraian (biodegradasi) utama BOD dibedakan menjadi dua yaitu dekomposisi senyawa karbon (CBOD) dan dekomposisi senyawa nitrogen (NBOD). Pengukuran BOD dapat menggunakan BOD test dan BOD non tes (pereaksi kimia). Penentuan kandungan BOD yang terdapat dalam limbah cair dilakukan selama 5 hari (Maiti, 2004).

Chemical Oxygen Demand (COD)

Analisis COD diperlukan untuk mengetahui tingkat toksik dan adanya senyawa organik yang tahan secara biologis. Penentuan COD dapat dilakukan dalam waktu 3 jam, proses pengerjaan relatif lebih muda dan memberikan hasil direproduksi dan tidak terpengaruh oleh interferensi tes BOD. Pengukuran COD dapat dilakukan dengan metode proses refluks, pereaksi kimia (Maiti, 2004).

Dissolved Oxygen (DO)

DO merupakan parameter kualitas air. Tingkat DO dalam air sangat tergantung aktivitas fisik, kimia dan biologis yang terdapat dalam limbah cair. Disamping itu DO juga sangat bergantung pada keadaan tekanan dan suhu. Keberadaan DO dalam air merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya oksidasi logam, disamping itu keberadaan DO juga sangat vital; untuk menjaga kondisi aerobik di perairan yang menerima material pencemar (limbah cair) (Maiti, 2004). Ada dua metode dalam penentuan DO yaitu (1) modifikasi Azide dari metode Winkler dan (2) metode elektrometri menggunakan elektroda membran (Maiti, 2004).

Kekeruhan

Air yang tidak jernih "limbah cair" akan menyebabkan transmisi cahaya terhambat dianggap keruh. Kekeruhan disebabkan banyaknya material yang

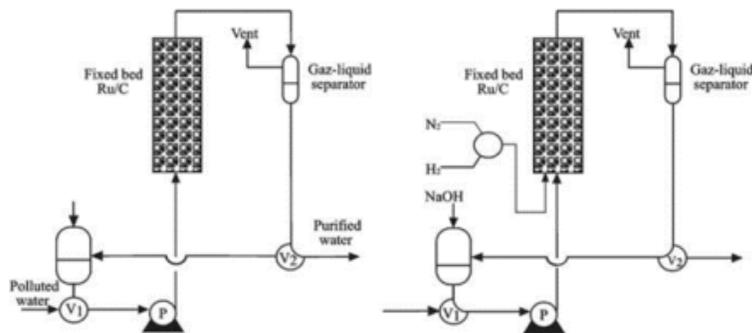
terlarut dalam sampel limbah. Pengukuran tingkat kekeruhan dapat dilakukan dengan alat turbidimetri (Peirce, Weiner, & Vesilind, 1997).

Ammoniak (NH₃)

Amonia secara alami hadir di permukaan air dan air limbah. Konsentrasinya di permukaan air memiliki konsentrasi rendah karena diserap oleh partikel tanah dan lempung. Jika melakukan pengukuran amonia dari sampel segera diambil dan didinginkan pada suhu 4oC. Ada beberapa metode berbeda dalam penentuan kandungan amonia dalam suatu sampel yaitu (1) metode kolorimetri yang termasuk metode Nesslerisasi dan fenat, (2) metode volumetri dan (3) metode instrumentasi menggunakan elektroda selektif terhadap amonia (Maiti, 2004).

Fenol

Fenol merupakan senyawa organik yang menjadi bahan pencemar yang umum dari limbah cair yang dibuang ke lingkungan oleh berbagai pabrik kimia, petrokimia, kertas, kayu dan metalurgi. Disamping itu juga dari emisi penggunaan pestisida termasuk turunannya misalnya herbisida, fungisida (dinitro ortho cresol dan pentaklorofenol). Selain itu limbah senyawa fenol juga bisa ditemukan dari pabrik penyulingan anggur, zaitun dan pengolahan tomat. Proses pengukuran fenol yang terdapat dalam limbah cair dengan metode adsorpsi konsentrasi dan dehidrogenasi katalitik (Gambar 4.2) (Lichtfouse, Schwarzbauer, & Robert, 2005). Keberadaan senyawa fenol sangat beracun bagi organisme akuatik. Bagi manusia fenol bersifat toksik jika tertelan atau terhirup (Maiti, 2004).



Gambar 4.2: Peralatan yang digunakan dalam pengukuran fenol yang terdapat dalam sampel limbah cair dengan metode dehidrogenasi katalitik. (Lichtfouse, Schwarzbauer, & Robert, 2005)

Kekuatan Asam (power of Hydrogen/ pH)

pH pada kondisi alami suatu air yaitu di kisaran 4-9. Sebagian besar berada sedikit basa. Berdasarkan penerapan rumus perhitungannya maka, pH didefinisikan logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen lebih tepatnya aktivitas ion hidrogen yang menunjukkan kekuatan sifat asamnya.

$$\begin{array}{c} \text{pH} = -\log [\text{H}^+] \text{ atau } \text{pH} = \log \frac{1}{[\log \text{H}^+]} \\ \leftarrow \text{pH asam} \quad \text{pH Netral} \quad \text{pH Biasa} \rightarrow \end{array}$$

Penentuan pH dari limbah cair dilakukan ditempat. Jika tidak memungkinkan untuk dilakukan pengukuran di tempat, maka sampel dapat dilakukan setelah sampel diperoleh yang dikemas dalam wadah yang bersih. Dua metode pengukuran yang umum digunakan yaitu:

1. penggunaan kertas indikator pH: sederhana, murah, namun tidak akurat
2. penggunaan pengukuran pH elektronik; akurat dan bebas dari gangguan memberikan pembacaan yang lebih akurat $\pm 0,005$ pH (Maiti, 2004).

Logam Berat

Logam berat sering diistilahkan sebagai logam yang beracun. Kandungan logam ini jika masuk kedalam tubuh akan di filter di bagian ginjal. Ginjal memiliki jutaan unit ekskresi yang disebut dengan nefron. Bahan kimia yang beracun bagi ginjal disebut dengan nefrotoksik seperti logam Cd, Pb, dan Hg. Proses analisis kandungan logam yang terdapat dalam sediaan limbah cair dapat dilakukan dengan alat atomik absorpsi spektroskopi (AA) (Maiti, 2004).

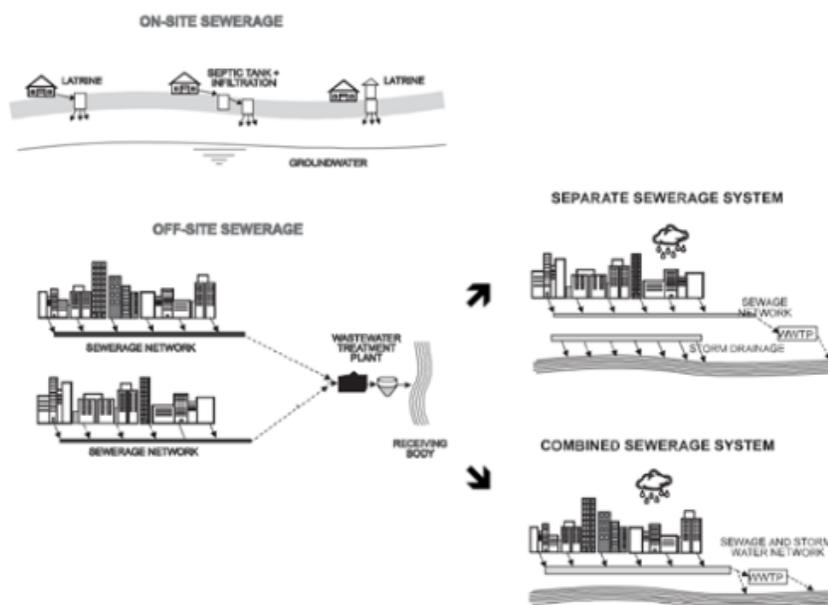
4.2.3 Karakterisasi Biologi

Karakteristik biologis merupakan mengukur kandungan mikroorganisme dalam air limbah terdiri dari bakteri, fungi, alga, protozoa, virus dan cacing (Rahmat & Mallongi, 2018). Dasar dari keseluruhan proses biologis adalah kontak yang efektif antara organisme ini dan bahan organik yang terkandung dalam limbah, sedemikian rupa sehingga dapat digunakan sebagai makanan bagi mikroorganisme. Mikroorganisme mengubah bahan organik menjadi karbon dioksida, air dan bahan seluler (Sperling, 2007).

4.3 Laju Alir Limbah Cair

Diberbagai negara sistem pengolahan limbah cairnya berbeda-beda sesuai dengan kondisi alam lingkungan yang ada. Sistem saluran pembuangan limbah cair/air limbah pada umumnya mengacu pada pengumpulan, pengolahan dan pembuangan dengan sebagai alternatif dan mendasar jalan pengolahannya (instalasi pengolahan air limbah/IPAL (wastewater treatment plant/WWTP) antara lain (Gambar 4.3):

1. Saluran air limbah di luar lokasi
 - a. Sistem pembuangan limbah terpisah
 - b. Sistem pembuangan limbah gabungan, dan
2. Saluran pembuangan ditempat (Sperling, 2007)



Gambar 4.3: Jenis sistem pembuangan limbah (Sperling, 2007)

Limbah cair di daerah perkotaan yang mengalir dalam sistem pembuangan limbah di luar lokasi dan berkontribusi pada IPAL berasal dari tiga sumber yaitu:

1. Limbah rumah tangga (termasuk rumah pemukiman, institusi dan perdagangan)

2. Infiltrasi
3. Limbah industri (berbagai asal dan jenis industri)

Untuk karakterisasi kuantitas dan kualitas influen ke IPAL, perlu dilakukan analisis secara terpisah dari ketiga item tersebut.

4.3.1 Alir Limbah Cair Rumah Tangga

Persiapan

Konsep laju alir limbah domestik mencakup dari rumah tangga serta kegiatan dan institusi komersial yang tergabung dari wilayah tersebut. Nilai yang lebih ekspresif (jumlah limbah cair yang lebih besar) harus dihitung secara terpisah dan ditambah dengan nilai global. Laju alir limbah dihitung berdasarkan konsumsi air di wilayah masing-masing sebagai fungsi populasi desain dan nilai yang dikaitkan dengan konsumsi rata-rata air harian per kapita. Akan tetapi, penting juga diperhitungkan laju alir minimum dan maksimum dari limbah yang dihasilkan, karena alasan hidrolis dan proses (Sperling, 2007).

Perkiraan Populasi

Populasi yang berkontribusi pada instalasi pengolahan merupakan area yang termasuk ke dalam desain yang ditampung dalam sistem pembuangan limbah. Akan tetapi, populasi desain hanya sebagian kecil dari total populasi karena tidak semua populasi yang terhubung ke dalam sistem saluran air limbah. Rasio (populasi yang dilayani/ total populasi) disebut dengan indeks cakupan. Indeks cakupan ini dapat ditentukan saat ini atau diperkirakan untuk dimasa yang akan datang (memperkirakan aliran desain). Indeks cakupan merupakan fungsi dari aspek-aspek:

1. Kondisi fisik, geografis atau topografis lokalitas. Tidak memungkinkan semua rumah tangga terlayani dengan sistem pembuangan limbah dalam desain, sehingga yang tidak terlayani harus mengadopsi solusi lain dalam sistem pembuangan limbah yang terbawa air keluar lokasi
2. Indeks adhesi, merupakan rasio antara populasi yang benar-benar terhubung ke sistem dan populasi yang berpotensi dilayani oleh saluran limbah di sepanjang desain (yang terhubung tidak semua mematuhi aturan sistem pembuangan limbah).

3. Tahap implementasi sistem saluran air limbah. Pengoperasian IPAL kemungkinan tidak semua sistem pengumpul dan pengangkut dirancang telah benar-benar dipasang dan ini sangat memengaruhi laju awal limbah. Dengan demikian desain pengolahan limbah perlu diketahui final populasi serta populasi awal dan evolusinya harus diperkirakan untuk memungkinkan pendefinisian implementasi. Perkiraan populasi harus koheren dengan populasi kepadatan di area yang dianalisis (Sperling, 2007).

Konsumsi air rata-rata

Laju alir limbah rumah tangga merupakan fungsi dari konsumsi air. Kisaran konsumsi air berbeda-beda berdasarkan ukuran komunitas antara lain permukiman perdesaan, desa, kota kecil, kota sedang dan kota besar. Disamping itu juga faktor yang dipertimbangkan dalam konsumsi air antara lain ketersediaan air, iklim, komunitas, tingkat ekonomi masyarakat, tingkat industrialisasi, biaya air, dan debit/ketersediaan air (Sperling, 2007).

Laju Limbah rata-rata

Secara umum, produksi limbah kurang lebih sama dengan konsumsi air. Namun, fraksi limbah yang masuk kedalam sistem pembuangan limbah bisa berbeda karena fakta sebagian dari air yang dikonsumsi dimasukkan kedalam sistem air hujan atau infiltrasi (misalnya menyiram kebun dan lain-lain). Laju alir limbah rumah tangga dapat diperhitungkan dengan menggunakan formulasi berikut ini:

$$Q_w = \frac{\text{Populasi} \times L_{pcd} \times R}{1000} \text{ (m}^3/\text{d)}$$

$$Q_w = \frac{\text{Populasi} \times L_{pcd} \times R}{86400} \text{ (L/s)}$$

Di mana: Q_w = laju rata-rata alir limbah rumah tangga (m³/d atau L/s)

L_{pcd} = konsumsi air per kapita (L/ penduduk d)

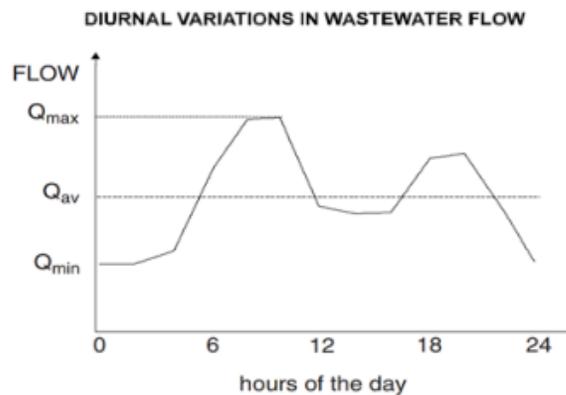
R = koefisien laju alir limbah (Sperling, 2007)

Variasi laju alir limbah rata-rata (maksimum dan minimum)

Konsumsi air dan produksi air limbah di suatu wilayah bervariasi di sepanjang hari (variasi jam), selama seminggu (variasi hari) dan sepanjang tahun (variasi musim). Gambar 4.4 menyajikan variasi aliran influen tipikal per jam dalam IPAL. Berdasarkan gambar dua puncak utama diamati pada pagi hari dan

dimalam hari banyak didistribusikan. Laju alir harian rata-rata sesuai dengan garis yang memisahkan area yang sama dibawah dan diatas garis (Sperling, 2007). Koefisien berikut sering digunakan untuk memperkirakan laju alir air minimum dan maksimum dari limbah cair:

- $K_1 = 1.2$ (koefisien puncak untuk hari dengan konsumsi air tertinggi)
- $K_2 = 1,5$ (koefisien puncak untuk jam dengan konsumsi air tertinggi)
- $K_3 = 0,5$ (koefisien reduksi untuk jam dengan konsumsi air terendah)



Gambar 4.4: Variasi aliran tipikal per jam dalam pekerjaan pengolahan limbah (Sperling, 2007)

Tabel 4.1: Koefisien variasi aliran limbah per jam (Sperling, 2007).

Q_{max}/Q_c	Q_{min}/Q_c
$1 + (14/(4 + P^{0.75}))$	-
$5P^{0.16}$	$0,2P^{0.16}$

Catatan:

P = populasi, dalam ribuan

Formula Giffit diindikasikan untuk $P < 200$ (populasi < 200.000 jiwa)

Dengan demikian laju aliran air maksimum dan minimum dapat diberikan dengan rumus:

$$Q_{max} = Q_c \cdot K_1 \cdot K_2 = 1,8 Q_c$$

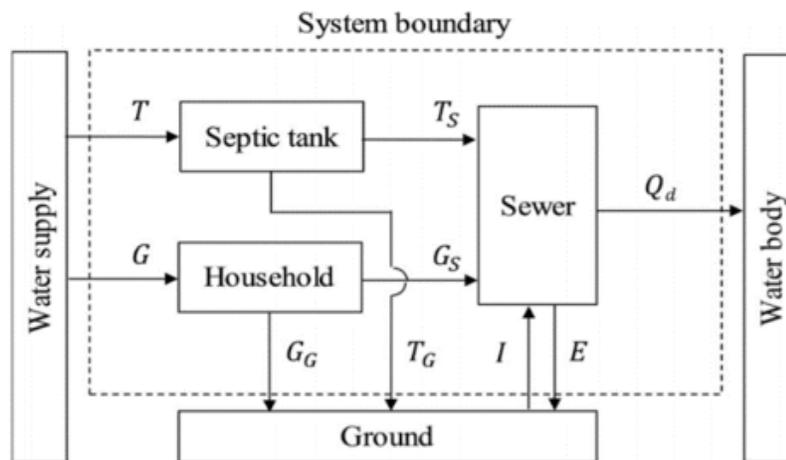
$$Q_{min} = Q_c \cdot K_3 = 0,5 Q_c$$

Jika memungkinkan untuk melakukan pengukuran laju alir dalam menetapkan variasi alir real, data aktual harus digunakan dalam desain. Koefisien K1, K2 dan K3 digeneralisasikan, sehingga memungkinkan reproduksi akurat dari variasi aliran di lokasi yang dianalisis. Nilai yang terlalu tinggi atau terlalu rendah memengaruhi secara langsung kinerja teknis dan ekonomis dari desain pengolahan limbah. Saat mempertimbangkan variasi alir air limbah per jam, harus dipertimbangkan bahwa fluktuasi diserap dan dikurangi amplitudo di sepanjang sistem saluran air limbah. Mudah untuk dipahami bahwa semakin besar populasi, semakin rendah kemungkinan alir puncak untuk tumpang tindih secara bersamaan di pintu masuk pengolahan. Dengan demikian waktu tinggal di sistem pembuangan limbah memiliki pengaruh besar terhadap penyerapan alir puncak (Sperling, 2007).

4.3.2 Laju alir Infiltrasi

Infiltrasi dalam sistem pembuangan limbah terjadi melalui pipa, sambungan, sambungan atau lubang got. Jumlah infiltrasi air tergantung pada berbagai faktor, seperti perluasan jaringan penampung, diameter pipa, luas drainase, jenis tanah, kedalaman muka air tanah, topografi dan kepadatan penduduk (jumlah sambungan per satuan luas). Laju alir infiltrasi biasanya dinyatakan dalam aliran per perpanjangan sistem saluran air limbah atau per area yang dilayani. Pemanfaatan bahan yang baik dan prosedur konstruksi membantu mengurangi tingkat infiltrasi.

Dalam perhitungan aliran influen total ke IPAL, nilai infiltrasi rata-rata dapat digunakan untuk perhitungan debit aliran rata-rata dan maksimum. Untuk kondisi aliran minimum, infiltrasi dapat dikecualikan, sebagai ukuran keamanan (dalam kasus aliran minimum, keamanan dalam desain mengarah pada pembentukan laju alir terendah) (Sperling, 2007). Gambar 4.4 contoh desain pengolahan limbah cair dengan sistem pengolahan infiltrasi di Vietnam (Watanabe, Harada, Yusuf, Le, & Fujii, 2019).



Gambar 4.4: Batas sistem dan komponen model neraca air untuk saluran pembuangan target pada hari-hari tanpa hujan. T: air siram toilet, G: greywater, T_S dan T_G : limbah septic tank dibuang ke selokan dan tanah masing-masing, G_S dan G_G : greywater dibuang ke selokan dan tanah masing-masing, I: infiltrasi, E: eksfiltrasi, dan Q_d : limbah dibuang dari saluran pembuangan tunggal (Watanabe, Harada, Yusuf, Le, & Fujii, 2019)

4.3.3 Laju alir limbah industri

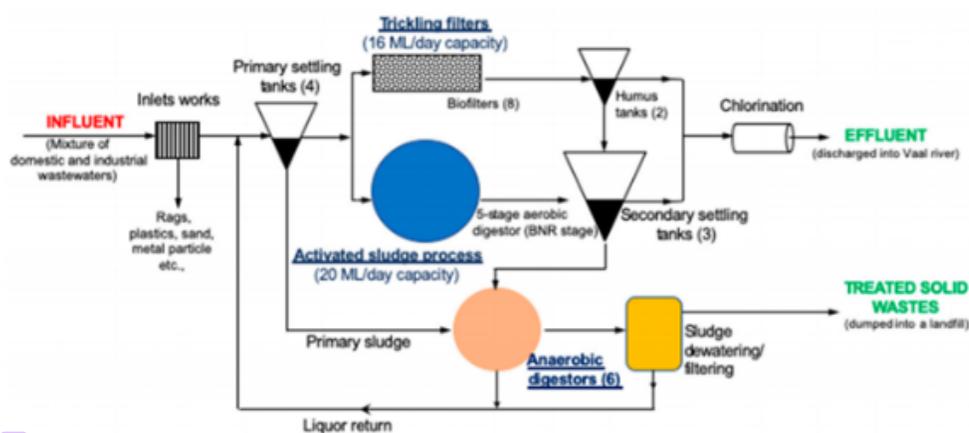
Laju air limbah industri merupakan fungsi jenis dan ukuran industri, proses pembuatan, tingkat daur ulang, keberadaan pra-pengolahan, dll. Jika ada industri besar yang berkontribusi pada sistem pembuangan limbah umum dan kemudian ke IPAL, evaluasi yang memadai terhadap laju alir masing-masing sangat penting. Air limbah industri memiliki pengaruh besar dalam perencanaan dan pengoperasian IPAL. Data spesifik penting harus diperoleh untuk setiap industri, melalui survei industri, sehingga memungkinkan penyediaan data yang menarik untuk proyek tersebut. Terkait dengan konsumsi air dan produksi air limbah, informasi berikut setidaknya harus diperoleh untuk industri utama (Sperling, 2007):

1. Konsumsi air
 - a. Total volume yang dikonsumsi (per hari atau bulan)
 - b. Volume yang dikonsumsi dalam berbagai tahapan proses
 - c. Sirkulasi internal
 - d. Sumber air (pasokan umum, sumur, dll.)
 - e. Sistem internal pengolahan air

2. Produksi air limbah

- Arus total
- Jumlah titik pembuangan (dengan proses industri terkait yang terkait dengan setiap titik)
- Pola pembuangan (kontinu atau intermiten; durasi dan frekuensi) di setiap titik pembuangan
- Tujuan pembuangan (sistem pembuangan limbah, anak sungai)
- Kadang-kadang pencampuran air limbah dengan limbah rumah tangga dan air hujan

Selain itu, jika memungkinkan, pengukuran laju alir limbah harus dilakukan sepanjang hari kerja, untuk mencatat pola dan variasinya. Jika tidak ada informasi khusus yang tersedia untuk industri. Ada banyak variasi nilai konsumsi untuk jenis industri yang sama. Jika tidak ada data khusus yang tersedia untuk industri tersebut, referensi literatur khusus yang terkait dengan proses industri yang menjadi fokus harus dirujuk. Pola pembuangan harian untuk laju alir limbah industri tidak mengikuti variasi aliran domestik, berubah secara substansial dari berbagai industri (Sperling, 2007), berikut contoh proses pengolahan dan diagram laju alir limbah cair industri yang diterapkan di Afrika (Gambar 4.5).



Gambar 4.5: Diagram alir instalasi pengolahan air limbah (IPAL) Leeuwkuil yang menunjukkan tahapan pengolahan air limbah, kapasitas dan jumlah fasilitas di dalam pabrik industri di Afrika (Iloms, Ololade, Ogola, & Selvarajan, 2020)

Bab 5

Sasaran, Metode, dan Implementasi Pengelolaan Limbah Cair

5.1 Pendahuluan

Merupakan Peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001, limbah cair adalah sisa dari suatu usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair. Limbah cair berupa dari rumah tangga (domestik) maupun industri. Limbah cair dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain:

5.1.1 Limbah cair domestik

Adalah hasil kegiatan manusia dan faktor alam yang berasal dari buangan dari perumahan (rumah tangga), bangunan perdagangan atau pusat perbelanjaan, perkantoran, dan sarana sejenisnya. Contoh limbah cair domestik pada perumahan adalah: air deterjen sisa cucian, air tinja, air bekas dapur (Setiyono, 2018). Limbah cair yang dihasilkan rumah tangga tergantung pola hidup dan kegiatan manusia, sekitar 70% air yang digunakan untuk kegiatan domestik akan kembali menjadi air buangan atau limbah cair. Limbah cair domestik mengandung bahan pencemar organik, anorganik, dan bakteri. Jenis bahan

14
pencemar adalah BOD, lemak, nitrogen, fosfor, deterjen, dan bakteri koli tinja, sehingga terjadinya pencemaran lingkungan. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Limbah cair Domestik, maka parameter kunci untuk limbah cair domestik adalah pH, BOD, COD, TSS, Lemak & Minyak, Amonia Total, dan Total Koliform (Domestik, 2012).

15 5.1.2 Limbah cair industri

Adalah limbah berwujud cair yang dihasilkan dalam suatu proses produksi suatu bahan dalam pengolahan industri. Proses produksi yang menggunakan air berperan sebagai media dan ikut dalam berproses. Oleh karena itu, air yang ikut dalam berproses tersebut mengalami reaksi dan perubahan komposisi dan kualitas limbah cair (Kaswinarni, 2008). Limbah cair dalam kegiatan industri bervariasi yang dipengaruhi oleh jenis bahan baku, jenis barang yang diproduksi, kapasitas produksi, proses produksi, teknologi pengolahan limbah yang dihasilkan, jumlah sumber daya manusia, serta manajemen yang diterapkan dalam industri tersebut.

14
Bahan pencemar pada limbah cair industri adalah garam anorganik yang menyebabkan kesadahan, asam alkali yang menyebabkan kehidupan biota air, bahan organik yang menyebabkan BOD dan COD tinggi, padatan tersuspensi yang menyebabkan bau dan oksigen terlarut rendah, kekeruhan yang mengganggu penetrasi sinar matahari, serta bahan beracun dan berbahaya (B3) yang menyebabkan penurunan kesehatan hewan dan manusia (Siagian, 2014).

5.1.3 Limbah cair pertanian

Adalah limbah yang dihasilkan dengan menggunakan bahan kimia atau sintetik seperti pestisida secara berlebihan yang masuk ke badan air. Secara alamiah limbah cair pertanian tidak mengganggu atau merusak lingkungan, tetapi menggunakan bahan sintetik atau pestisida secara berlebihan yang menyebabkan kerusakan lingkungan, yaitu terganggunya keseimbangan ekosistem air dan badan penerima air. Kegiatan pertanian yang menggunakan pestisida dan pupuk secara langsung menyebabkan pencemaran, baik tanah dan air. Sehingga sisa pestisida dan pupuk terbawa oleh air hujan dan drainase sawah atau daerah pertanian menuju Daerah Aliran Sungai (DAS) dan waduk.

Berdasarkan komposisi kimia pestisida terdiri dari organoklorin, organofosfat, dan karbamat. Golongan organoklorin lebih berbahaya karena proses

pencuciannya lebih lama, sedang pupuk mengandung unsur hara nitrogen dan fosfor dapat merangsang pertumbuhan gulma air di waduk, yang menyebabkan proses pembusukan dan pengendapan. (Kencanawati, 2016)

5.1.4 Limbah cair pertambangan

Adalah limbah cair yang berasal dari kegiatan atau proses pengolahan pertambangan mineral logam. Pada umumnya volume sangat besar, variasinya terbatas, dan tergantung pada curah hujan dan aliran air tanah, dan seringkali sangat berbahaya. Limbah terbentuk dari proses pelarutan atau leaching tailing (batuan atau tanah yang telah dihancurkan dan diambil bijinya). Pada kegiatan eksplorasi minyak dan gas bumi limbah berasal dari cutting (batuan yang hancur karena proses pemboran) dan lumpur pemboran. Limbah umumnya berupa air formasi dan hidrokarbon yang terperangkap dalam batuan, serta lumpur pemborannya sendiri. Pada kegiatan tambang batubara limbah berasal dari proses leaching timbunan batubara atau lapisan batubara yang telah dikupas penutupnya (Febiary, Irfan dan Agnes Fitria W, 2016).

5.1.5 Limbah cair Rumah Sakit dan Hotel

Limbah cair rumah sakit dan hotel bagian dari limbah cair domestik, yang membedakan komposisi dan karakteristik. Limbah cair rumah sakit merupakan hasil kegiatan RS yang tidak digunakan, mengandung mikroorganisme bahan beracun dan radioaktif serta darah yang berbahaya bagi kesehatan. Sedangkan limbah cair hotel merupakan limbah cair yang berasal dari kegiatan hotel, seperti laundry, toilet, dan dapur. Pencemaran lingkungan akibat limbah cair dan limbah bahan berbahaya dan beracun (limbah B3) rumah sakit dan hotel dapat mengganggu aktivitas masyarakat jika langsung dialirkan ke drainase tanpa melalui proses pengolahan di IPAL (Instalasi Pengolahan Limbah cair).

Limbah cair rumah sakit umumnya berasal dari semua aktivitas rumah sakit seperti: ruang rawat jalan, ruang rawat inap, ruang administrasi/instalasi, ruang poliklinik, ruang gizi, ruang laundry, ruang radiologi, dan ruang laboratorium. Sumber limbah cair hotel umumnya berasal dari semua aktivitas hotel seperti: ruang kamar, toilet kamar, dapur, laundry dan kolam renang (Andini and Arida, 2019).

5.2 Metode

12

5.2.1 Pengolahan limbah cair secara fisika

Pengolahan secara fisika memisahkan partikel yang tidak larut dalam air, sehingga pengotoran yang kasat mata serta berukuran cukup besar. Jenis pengolahan secara fisika meliputi:

1. Sedimentasi
Proses pengolahan limbah cair menggunakan gaya gravitasi bumi untuk menghilangkan padatan tersuspensi dari air.
2. Filtrasi
Filtrasi merupakan penyaringan dengan cara pemisahan campuran yang didasarkan pada campuran-campuran partikel yang tidak larut dalam air, dan ukuran yang berbeda-beda dengan menggunakan media berpori.
3. Flotasi
PENGAPUNGAN merupakan pemisahan campuran zat padat atau partikel dengan air dengan pembahasan yang lebih besar akan tenggelam, dan pembahasan kecil akan mengapung seperti busa.
4. Absorpsi
Absorpsi merupakan penyerapan atau peresapan zat cair ke zat cair lain atau padat, sehingga kedua menyatu. (Kencanawati, 2016)

5.2.2 Pengolahan limbah cair secara kimia

Pengolahan secara kimia dengan menambahkan bahan kimia untuk mengendapkan, memisahkan, serta menghilangkan zat-zat pengotor dalam limbah cair tersebut.

Jenis pengolahan secara kimia meliputi:

1. Koagulasi
Merupakan proses pengolahan air di mana zat padat yang melayang dipermukaan air atau partikel kecil yang telah melewati media berpori-pori dan koloid digabungkan dan membentuk flog-glog dengan menambahkan zat kimia, misalnya tawas dan PAC.

2. Oksidasi
Oksidasi adalah interaksi antara molekul oksigen dan semua zat yang berbeda. Oksidasi merupakan pelepasan elektron oleh sebuah molekul, atom, atau ion.
3. Penukar ion
Merupakan proses pemurnian, pemisahan, dan dekontaminasi larutan dengan penukar ion padat bersifat polimerik.
4. Degradasi
Merupakan suatu penurunan kualitas dan kuantitas air. Penurunan kualitas air ditandai berkurangnya debit air dan daya tampung, terjadi perbedaan yang tajam antara musim penghujan dengan musim kemarau.
5. Ozonisasi
Merupakan akhir proses pengolahan air setelah berbagai zat dalam air seperti logam dan zat yang lain. (., 2013)

5.2.3 Pengolahan limbah cair secara biologi

Pengolahan secara biologi menggunakan biota hidup atau mikroba untuk membantu proses penguraian zat-zat pencemar dalam limbah cair.

Jenis pengolahan secara biologi meliputi:

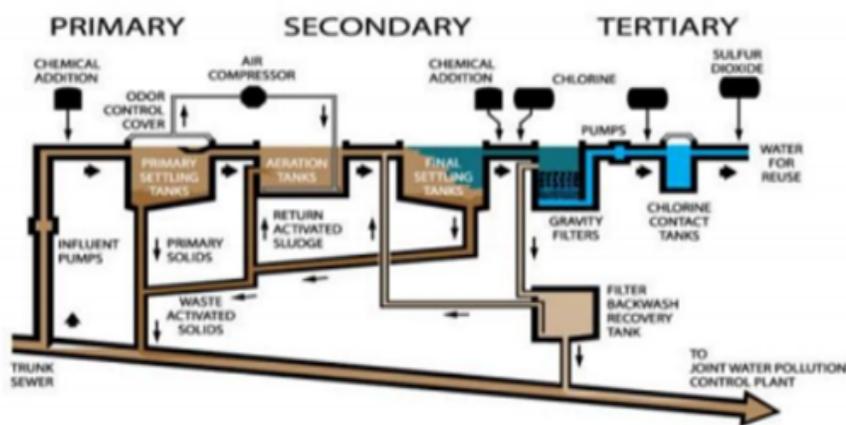
1. Aerobik
Proses pengolahan air secara aerobik merupakan pengolahan yang menggunakan mikroorganisme yang hidup dalam kondisi aerobik atau kondisi yang memerlukan keberadaan oksigen bebas.
2. Anaerobik
Proses pengolahan air yang menggunakan beban organik yang tinggi. Pengolahan ini menggunakan bakteri yang hidup dalam kondisi anaerob yaitu bakteri hidrolisa, bakteri asetogenik, dan metanogenik.
3. Fakultatif
Fakultatif menunjukkan gabungan kondisi aerobik dan an anaerobik. Kondisi aerobik terjadi di lapisan di lapisan atas sedangkan kondisi anaerobik berlangsung di bagian dasar.

5.3 Implementasi Pengelolaan Limbah Cair

Tujuan utama pengolahan limbah cair ialah untuk mengurai kandungan bahan pencemar di dalam air terutama senyawa organik, padatan tersuspensi, mikroba patogen, dan senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang terdapat di alam.

Tingkatan sistem pengolahan limbah cair diklasifikasikan menjadi ;

1. Primary Treatment System,
2. Secondary Treatment System,
3. Tertiary Treatment System.



Gambar 5.1: Wastewater treatment

Setiap tingkatan treatment terdiri atas sub-sub treatment yang satu dengan lainnya berbeda, tergantung pada jenis parameter pencemar dalam limbah cair, volume limbah cair, dan kondisi fisik lingkungan. Ada beberapa proses yang dilalui limbah cair agar limbah ini benar-benar bebas dari unsur pencemaran. Pada mulanya limbah cair harus dibebaskan dari benda terapung atau padatan melayang. Untuk itu diperlukan treatment pendahuluan (pretreatment). Pengolahan selanjutnya adalah mengendapkan partikel-partikel halus kemudian menetralsirnya. Demikian tingkatan ini dilaksanakan sampai seluruh parameter pencemar dalam air buangan dapat dihilangkan.

8

Primary Treatment system

Pada dasarnya, masih memiliki tujuan yang sama dengan pengolahan awal. Letak perbedaannya ialah pada proses yang berlangsung. Proses yang terjadi pada pengolahan tahap pertama adalah *neutralization, chemical addition and coagulation, flotation, sedimentation, dan filtration*.

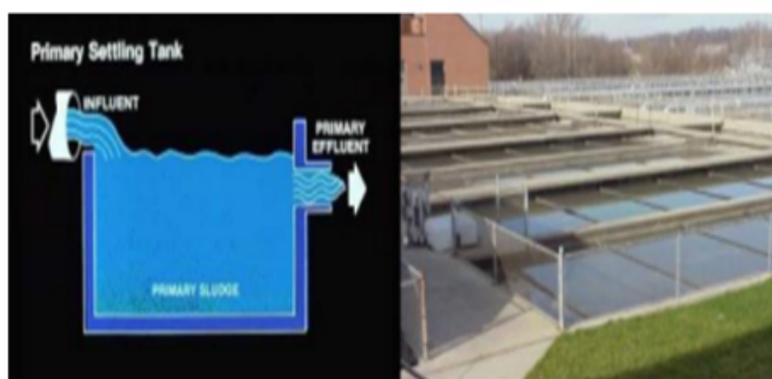
8

1. Pengolahan Awal (Pretreatment)

Tahap pengolahan ini melibatkan proses fisik yang bertujuan untuk menghilangkan padatan tersuspensi dan minyak dalam aliran limbah cair. Beberapa proses pengolahan yang berlangsung pada tahap ini adalah screen and grit removal, equalization and storage, serta oil separation.

2. Pengolahan Tahap Pertama (Primary Treatment)

Pada dasarnya, pengolahan tahap pertama ini memiliki tujuan yang sama dengan pengolahan awal. Letak perbedaannya adalah pada proses yang berlangsung. Proses yang terjadi pada pengolahan tahap pertama adalah menghilangkan partikel-partikel padat organik dan organik melalui proses fisika, yakni *neutralization, chemical addition and coagulation, flotation, sedimentation, dan filtration*. Sehingga partikel padat akan mengendap sedangkan partikel lemak dan minyak akan berada di atas/permukaan. Dengan adanya pengendapan ini, maka akan mengurangi kebutuhan oksigen pada proses pengolahan biologis dan pengendapan yang terjadi adalah pengendapan secara gravitasi, seperti yang terlihat pada gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 5.2: Primary Setting Tank

3. Aerasi

Teknik Pengolahan limbah cair banyak ragamnya, salah satu dari teknik limbah cair adalah proses lumpur aktif dengan aerasi oksigen murni. Pengolahan ini termasuk pengolahan biologi, karena menggunakan bantuan mikroorganisme pada proses pengolahannya.

Cara kerja alat ini adalah sebagai berikut: limbah cair setelah dilakukan penyaringan dan equalisasi dimasukkan kedalam bak pengendap awal untuk menurunkan padatan tersuspensi (suspended solid). Air limpasan dari bak pengendap awal dialirkan ke kolam aerasi melalui satu pipa dan dihembus dengan udara sehingga mikroorganisme bekerja menguraikan bahan organik yang ada di limbah cair. Dari bak aerasi limbah cair dialirkan ke bak pengendap akhir, lumpur diendapkan, sebagian lumpur dikembalikan ke kolam aerasi.

Keuntungannya:

- a. Daya larut oksigen dalam limbah cair lebih besar;
- b. Efisiensi proses lebih tinggi;
- c. Cocok untuk pengolahan limbah cair dengan debit kecil untuk polutan organik yang susah terdegradasi. (Febiary, Irfan dan Agnes Fitria W, 2016)

8

Secondary Treatment

Pada tahap ini limbah cair menggunakan bahan-bahan kimia agar senyawa senyawa tercemar dalam limbah cair diikat melalui reaksi kimia. Karena itu sistem operasinya disebut juga dengan cara kimiawi yaitu metoda pengolahan dengan menghilangkan atau mengubah senyawa pencemar dalam limbah cair dengan menambahkan bahan kimia. Zat-zat pencemar pada umumnya berada pada jenis suspensi padatan terlarut dalam kolidal. Padatan ini tidak mengalami pengendapan secara alami walaupun dalam jangka waktu relatif lama.

Oleh karena itu, diperlukan bahan kimia yang direaksikan agar terjadi peningkatan senyawa pencemar baik dalam bentuk gumpalan atau pengapungan. Menggunakan bahan kimia membutuhkan perkiraan dari sudut biaya mengingat di antara bahan-bahan tersebut harganya cukup mahal. Dengan menggunakan bahan kimia berarti akan timbul unsur bau dalam air

8 buangan dan diharapkan semakin mudah mengambilnya, atau bahan tersebut berfungsi sebagai katalisator. Proses ini mempunyai kelemahan yaitu bagaimana mengambil unsur baru yang terjadi akibat reaksi terjadi. Pengendapan dengan kapur akan menimbulkan lumpur yang harus direncanakan cara mengambil dan sarana pembuangannya. Pengolahan limbah dengan tingkatan kedua atau menggunakan bahan kimia bertujuan mengendapkan bahan, mematikan bakteri patogen mengikat dengan cara oksidasi atau reduksi menetralkan konsentrasi larutan asam dan desinfektan.

8 Tiga cara pendekatan yang umum digunakan pada tahap mengurangi bahan kimia pencemar dalam limbah cair;

1. Perlakuan pertama, penambahan bahan kimia koagulasi dengan pengadukan cepat 1000 rpm, bahan yang umum digunakan adalah alum (tawas), poly aluminium chlorida.
2. Perlakuan kedua, menambahkan bahan flokulan melalui pengadukan lambat 200 rpm, bahan yang digunakan poly electrolit.
3. Perlakuan ketiga, klasifikasi pemisahan padatan lumpur yang telah terjadi flok-flok dan mulai mengendap. (Setiyono, 2018)

Tertiary Treatment System.

Pengolahan tersier merupakan pengolahan tambahan yang dilakukan setelah pengolahan sekunder. Proses ini membuang lebih dari 99% zat lain (impurities) dalam air limbah, sehingga menghasilkan air hasil limbah yang paling baik kualitasnya. Teknologi yang digunakan dalam proses ini sangatlah mahal dan membutuhkan operator pabrik pengolahan yang berpengalaman dan berpengetahuan teknis (Iskandar et al., 2016).

Bab 6

Implementasi Program Manajemen

6.1 Pendahuluan

Limbah adalah sisa suatu usaha atau kegiatan, hal ini sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 85 tahun 1999, Limbah ini dapat berbentuk padat, cair maupun gas, baik yang termasuk B3 ataupun yang bukan. Hal yang menjadi perhatian dari limbah adalah dampak dari limbah tersebut baik yang secara langsung maupun tidak langsung. Limbah dikelompokkan ke dalam beberapa jenis berdasarkan dampak atau sifatnya, salah satunya apa yang disebut dengan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun atau biasa disebut dengan Limbah B3 adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk lain. Kekhawatiran akan limbah menjadi perhatian penting pemerintah sebagai bentuk perlindungan pada masyarakatnya. Berbagai regulasi baik di tingkat internasional hingga subnasional pun dibuat untuk mengatur dan

mengendalikan limbah B3 yang berasal dari segala bidang di masyarakat (Sidik, Konety and Aditiany, 2018). Keanekaragaman jenis limbah akan tergantung pada aktivitas industri dan penghasil limbah lainnya. Mulai dari penggunaan bahan baku, pemilihan proses produksi dan sebagainya akan memengaruhi karakter limbah yang tidak terlepas dari proses industri itu sendiri. Meskipun demikian, tidak semua limbah industri merupakan limbah B3, tetapi hanya sebagian saja. Pada kenyataannya, sebagian besar limbah B3 memang berasal dari kegiatan industri dan harus ditangani secara khusus. Bahwa penanganan limbah merupakan suatu keharusan guna terjaganya kesehatan manusia dan lingkungan pada umumnya, sudah tidak diragukan lagi. Namun pengadaan sarana pengolahan limbah ternyata masih dianggap memberatkan bagi sebagian industri maupun instansi.

Banyak industri yang masih membuang langsung limbah ke badan air sehingga menyebabkan pencemaran air. Menurut PP No. 18 Tahun 1999, maka perlu dilakukan adanya pengelolaan limbah B3 untuk mencegah dan menanggulangi kerusakan lingkungan. Bab ini akan membahas implementasi program manajemen dalam pengolahan limbah untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan (Ratman and Syafrudin, 2018).

Semua Negara termasuk Indonesia menghadapi masalah pencemaran lingkungan limbah B3. Oleh karena itu keikutsertaan Indonesia dalam konvensi Basel 1989 tentang pengawasan pergerakan limbah B-3 secara internasional, dan keikutsertaan Indonesia pada KTT Bumi di Rio de Janeiro, menunjukkan adanya kepedulian terhadap masalah lingkungan. Pemerintah dalam mengimplementasikan isi konvensi Basel dan KTT Bumi tersebut telah membuat perangkat hukum yang khusus mengatur masalah limbah di Indonesia, hukum tersebut adalah Peraturan Presiden No. 101 tahun 2014 dan Peraturan Presiden No. 85 tahun 1999. Sebagian dari limbah yang merupakan limbah dalam kategori Bahan Berbahaya dan Beracun (limbah B-3), penanganan yang tidak benar akan membahayakan lingkungan maupun kesehatan manusia, seperti terjangkitnya penyakit, keracunan dan akumulasi limbah di lingkungan. Pengelolaan limbah yang tidak benar bisa memicu bencana bagi kesehatan, polusi udara, pencemaran air, dan hambatan bagi kegiatan kota (Chotijah Siti, Muryati Dewi Tuti, 2011).

Oleh karena itu, permasalahan limbah harus dikelola oleh semua pihak, baik masyarakat maupun pemerintah sebagai pemegang otoritas pemerintahan dengan mengimplementasikan program manajemen pengelolaan limbah. Beberapa aspek yang termasuk dalam kegiatan pengelolaan limbah yaitu:

pewadahan (storage), pengumpulan (collection), pemindahan (transfer), pengangkutan (transport), pengolahan (processing) dan juga pembuangan akhir (disposal), ditegaskan oleh (Salvato 1982, dalam Chotijah Siti, Muryati Dewi Tuti, 2011).

6.2 Pengolahan Limbah Berdasarkan Wujud Limbah

Dalam Implementasi program manajemen limbah, limbah dibedakan atas wujudnya. Menurut (Helmayunita, Serly and Honesty, 2019) pengelompokan limbah berdasarkan bentuk atau wujudnya dapat dibagi menjadi empat di antaranya yaitu: limbah cair, limbah padat, limbah gas dan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun).

Limbah cair

Menurut Peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air menjelaskan pengertian dari limbah yaitu sisa dari suatu hasil usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair (Nasir, Saputro and Handayani, 2015). Pengertian limbah cair lainnya adalah sisa hasil buangan proses produksi atau aktivitas domestik yang berupa cairan. Limbah cair dapat berupa air beserta bahan-bahan buangan lain yang tercampur (tersuspensi) maupun terlarut dalam air.

Limbah cair dapat diklasifikasikan dalam empat kelompok di antaranya yaitu:

1. Limbah cair industri (industrial wastewater), yaitu limbah cair hasil buangan industri. Contohnya yaitu: sisa pewarnaan kain/bahan dari industri tekstil, air dari industri pengolahan makanan, sisa cucian daging, buah, atau sayur.
2. Limbah cair domestik (domestic wastewater), yaitu limbah cair hasil buangan dari perumahan (rumah tangga), bangunan, perdagangan dan perkantoran. Contohnya yaitu: air sabun, air detergen sisa cucian, dan air tinja.
3. Luapan dan rembesan (inflow and infiltration), yaitu limbah cair yang berasal dari berbagai sumber yang memasuki saluran pembuangan

limbah cair melalui rembesan ke dalam tanah atau melalui luapan dari permukaan. Air limbah dapat merembes ke dalam saluran pembuangan melalui pipa yang pecah, rusak, atau bocor sedangkan luapan dapat melalui bagian saluran yang membuka atau yang terhubung ke permukaan. Contohnya yaitu: air buangan dari talang atap, pendingin ruangan (AC), bangunan perdagangan dan industri, serta pertanian atau perkebunan.

4. Air hujan (storm water), yaitu limbah cair yang berasal dari aliran air hujan di atas permukaan tanah. Aliran air hujan dipermukaan tanah dapat melewati dan membawa partikel-partikel buangan padat atau cair sehingga dapat disebut limbah cair.
5. Limbah cair bersumber dari pabrik yang biasanya banyak menggunakan air dalam sistem prosesnya. Selain itu, ada juga bahan baku mengandung air sehingga dalam proses pengolahannya air harus dibuang. Air terikut dalam proses pengolahan kemudian dibuang misalnya ketika dipergunakan untuk pencuci suatu bahan sebelum diproses lanjut. Air ditambah bahan kimia tertentu kemudian diproses dan setelah itu dibuang. Semua jenis perlakuan ini mengakibatkan buangan air.

Limbah cair yang tidak ditangani atau tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan dampak yang besar bagi pencemaran lingkungan serta dapat menjadi sumber penyakit bagi masyarakat. Industri primer pengolahan hasil hutan merupakan salah satu penyumbang limbah cair yang berbahaya bagi lingkungan. Bagi industri-industri besar, seperti industri pulp dan kertas, teknologi pengolahan limbah cair yang dihasilkannya mungkin sudah memadai, namun tidak demikian bagi industri kecil atau sedang. Selain itu, limbah cair domestik biasanya tidak terlalu diperhatikan dengan baik padahal kalau dibiarkan terus menerus dalam jangka waktu lama dapat menjadi masalah bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Sebagai contoh, limbah air deterjen sisa cucian apabila dibiarkan dalam jangka panjang akan menjadi sumber pencemaran lingkungan dan menjadi sumber penyakit bagi masyarakat. Mengingat penting dan besarnya dampak yang ditimbulkan oleh limbah cair bagi lingkungan, sehingga penting bagi sektor

6 industri maupun domestik untuk memahami dasar-dasar teknologi pengolahan limbah cair.

Teknologi pengolahan air limbah adalah kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan. Apapun macam teknologi pengolahan air limbah domestik maupun industri yang dibangun harus dapat dioperasikan dan dipelihara oleh masyarakat setempat. Teknologi pengolahan yang dipilih harus sesuai dengan kemampuan teknologi masyarakat yang bersangkutan. Pengolahan limbah cair dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu: pengolahan secara biologi, pengolahan secara fisika, dan pengolahan secara kimia (Setiyono, 2017).

Limbah padat

Limbah padat adalah sisa hasil kegiatan industri maupun aktivitas domestik yang berbentuk padat. Contoh dari limbah padat di antaranya yaitu: kertas, plastik, serbuk besi, serbuk kayu, kain, dll.

Limbah padat dapat diklasifikasikan menjadi enam kelompok sebagai berikut:

1. Limbah industri (industrial waste), yaitu semua limbah padat yang berasal dari buangan industri. Komposisi sampah ini tergantung dari jenis industrinya.
2. Limbah organik mudah busuk (garbage), yaitu limbah padat semi basah, berupa bahan-bahan organik yang mudah membusuk atau terurai mikroorganisme. Contohnya yaitu: sisa makanan, sisa dapur, sampah sayuran, kulit buah-buahan.
3. Limbah anorganik dan organik tak membusuk (rubbish), yaitu limbah padat anorganik atau organik cukup kering yang sulit terurai oleh mikroorganisme, sehingga sulit membusuk. Contohnya yaitu: selulosa, kertas, plastik, kaca, logam.
4. Limbah abu (ashes), yaitu limbah padat yang berupa abu, biasanya hasil pembakaran. Sampah ini mudah terbawa angin karena ringan dan tidak mudah membusuk.
5. Limbah sapuan (street sweeping), yaitu limbah padat hasil sapuan jalanan yang berisi berbagai sampah yang tersebar di jalanan, seperti dedaunan, kertas dan plastik.

6. Limbah bangkai binatang (dead animal), yaitu semua limbah yang berupa bangkai binatang, seperti tikus, ikan dan binatang ternak yang mati.

10 Penanganan limbah padat bisa dibedakan dari kegunaan atau fungsi limbah padat itu sendiri. Limbah padat ada yang dapat didaur ulang atau dimanfaatkan lagi serta mempunyai nilai ekonomis seperti plastik, tekstil, potongan logam, namun ada juga yang tidak bisa dimanfaatkan lagi. Limbah padat yang tidak dapat dimanfaatkan lagi biasanya dibuang, dibakar, atau ditimbun begitu saja. Beberapa industri tertentu limbah padat yang dihasilkan terkadang menimbulkan masalah baru yang berhubungan dengan tempat atau areal luas yang dibutuhkan untuk menampung limbah tersebut (Isnaeni, 2020).

Limbah gas

Limbah gas adalah limbah yang memanfaatkan udara sebagai media. Secara alami udara mengandung unsur-unsur kimia seperti O₂, N₂, NO₂, CO₂, H₂ dll. Penambahan gas ke udara yang melampaui kandungan udara alami akan menurunkan kualitas udara. Limbah gas yang dihasilkan berlebihan dapat mencemari udara serta dapat mengganggu kesehatan masyarakat. Zat pencemar melalui udara diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu partikel dan gas. Partikel adalah butiran halus dan masih mungkin terlihat dengan mata telanjang seperti uap air, debu, asap, kabut dan fume. Sedangkan pencemaran berbentuk gas hanya dapat dirasakan melalui penciuman (untuk gas tertentu) ataupun akibat langsung.

Limbah gas yang dibuang ke udara biasanya mengandung partikel-partikel bahan padatan atau cairan yang berukuran sangat kecil dan ringan sehingga tersuspensi dengan gas-gas tersebut. Bahan padatan dan cairan tersebut disebut sebagai materi partikulat. Seperti limbah gas yang dihasilkan oleh suatu pabrik dapat mengeluarkan gas yang berupa asap, partikel serta debu. Apabila ini tidak ditangkap dengan menggunakan alat, maka dengan dibantu oleh angin akan memberikan jangkauan pencemaran yang lebih luas. Jenis dan karakteristik setiap jenis limbah akan tergantung dari sumber limbah. Gas di udara dengan reaksi fotokimia dapat membentuk bahan pencemar sekunder, misalnya peroxy radikal dengan oksigen akan membentuk ozon dan nitrogen dioksida berubah menjadi nitrogen monoksida dengan oksigen dan sebagainya (Ratnani, 2008).

Dalam pengolahan limbah gas ada beberapa metode yang telah dikembangkan untuk penyederhanaan buangan gas. Dasar pengembangan yang dilakukan adalah absorpsi, pembakaran, penyerap ion, kolam netralisasi dan pembersihan partikel. Pilihan peralatan dilakukan atas dasar faktor berikut: Jenis bahan, pencemar (polutan), Komposisi, Konsentrasi, Kecepatan air polutan, Daya racun polutan, Berat jenis, Aktivitas dan Kondisi lingkungan. Desain peralatan disesuaikan dengan variabel tersebut untuk memperoleh tingkat efisiensi yang maksimum (Arief, 2019).

Limbah B3

Bahan berbahaya dan beracun (B-3) didefinisikan sebagai bahan berbahaya dan / atau beracun yang karena sifatnya atau konsentrasinya baik secara langsung atau tidak langsung dapat mencemarkan lingkungan atau merusak lingkungan hidup, kesehatan hidup manusia serta, makhluk lain. Dari definisi tersebut di atas dapat ditafsirkan bahwa B-3 dapat berupa bahan baku (alamiah), atau bahan olahan (produk), atau sisa dari suatu proses (limbah) yang bersumber dari kegiatan industri atau domestik (rumah tangga). Ditinjau dari strukturnya, maka B-3 bisa berupa bahan yang memiliki sifat fisika dan kimia. Sifat fisika (fisik) pada umumnya dilihat karena bentuknya, seperti: runcing/tajam, keras, licin, gas dan lain-lain.

Sedangkan sifat kimia dilihat dari mudahnya bereaksi, baik dengan struktur tubuh makhluk hidup (manusia, hewan dan tumbuhan), maupun benda-benda mati. Dampak yang diakibatkan oleh sifat fisik pada umumnya berupa perusakan fisik, seperti luka, sesak napas, pingsan, bahkan sampai tak sadarkan diri. Adapun dampak dari sifat kimia antara lain: kebakaran, ledakan, keracunan, korosif terhadap benda (peralatan), dan lain-lain.

Berdasarkan dampak yang disebabkan, maka B-3, terutama berdasarkan sifat kimianya, dapat dikelompokkan sebagai berikut (Utomo, 2012):

1. Bahan beracun (toxic)
Dalam jumlah kecil, bahan ini menimbulkan keracunan dan bersifat bahaya terhadap kesehatan manusia atau makhluk hidup lainnya, bahkan dapat menyebabkan kematian apabila terserap ke dalam tubuh lewat pernapasan atau kulit.
2. Bahan oksidator
Bahan-bahan ini kaya dengan oksigen sehingga dapat membantu dan mempercepat proses pembakaran, karena bisa menghasilkan oksigen

yang dapat menyebabkan kebakaran bahan-bahan lain. Beberapa contoh bahan kimia oksidator seperti: permanganat, perklorat, dikromat, peroksida, persulfat. Oksida-oksida lain dapat terbentuk pula pada penyimpanan pelarut (solvent) organik seperti: eter, ester dan keton.

3. Bahan korosif

Bahan ini reaktif terhadap zat lain sehingga dapat mengakibatkan kerusakan apabila berkontak dengan jaringan hidup atau bahan lain. Bahan-bahan ini meliputi asam-asam, alkali-alkali dan bahan-bahan kuat lainnya.

4. Bahan yang reaktif terhadap air

Bahan ini mudah bereaksi dengan air dengan mengeluarkan panas dan gas mudah terbakar.

5. Bahan mudah terbakar

Bahan ini adalah bahan kimia yang mudah bereaksi dengan oksigen dan menimbulkan kebakaran. Tingkat bahaya ditentukan oleh titik bakarnya (titik nyala).

6. Bahan eksplosif (mudah meledak)

Bahan ini adalah padatan atau cairan atau campuran keduanya yang karena suatu reaksi kimia dapat menghasilkan gas dalam jumlah dan tekanan yang besar serta suhu tinggi, sehingga menimbulkan kerusakan yang dahsyat.

7. Gas bertekanan

Gas bertekanan disimpan dalam tekanan tinggi, baik gas yang ditekan, gas cair atau gas yang dilarutkan dalam pelarut di bawah tekanan. Gas bertekanan ini banyak digunakan dalam 41ermanga maupun laboratorium. Bahaya dari gas ini adalah efek dari tekanan tinggi dan juga mungkin bersifat racun, aspiksian, korosif dan mudah terbakar.

8. Bahan reaktif terhadap asam

Bahan yang mudah bereaksi dengan asam menghasilkan panas dan gas yang mudah terbakar atau gas beracun dan korosif serta eksplosif. Bahan-bahan ini adalah alkali-alkali atau senyawa-senyawa alkali.

9. Bahan radioaktif

Bahan ini mempunyai kemampuan memancarkan sinar-sinar radioaktif dari zat itu sendiri. Radiasi yang dipancarkan adalah sinar alfa, sinar beta, sinar gamma, sinar neutron dan lain-lain. Bahaya radioaktif terutama terkait dengan sinar radiasinya.

10. Logam berat

Keberadaan logam berat bisa berupa logam murni, paduan atau dalam bentuk senyawa. Dalam keadaan murni berupa padatan pada suhu kamar, dalam bentuk serbuk, bongkahan, atau dalam bentuk lain, kecuali merkuri (raksa) dalam bentuk cairan.

6.3 Komponen Pengolahan Limbah

Menurut Etty Murwaningsari, Sofie and Rachmawati (2015) beberapa aspek yang harus diperhatikan terkait urgensi pengolahan limbah hasil industri dengan konsep 3 R yaitu:

1. Reduce

Prinsip reduce adalah meminimalisasi limbah, terutama hasil akhir proses produksi. Meski demikian, bukan tidak mungkin tahap ini juga dapat dilakukan sedari awal yaitu bahan baku dan proses produksi. Hal ini menunjukkan semua proses produksi pada dasarnya mampu diupayakan untuk menghasilkan limbah seminimal mungkin. Tahapan ini biasanya dilakukan dengan sistem filterisasi sehingga semakin tinggi dari tingkatan filterisasi maka secara otomatis limbah yang dihasilkan semakin berkurang, begitu juga sebaliknya. Persoalan riil tahapan reduce yaitu minimnya etos pengusaha terhadap hal ini. Selain itu, harapan terhadap optimalisasi kapasitas produksi juga terkadang memicu sentimen negatif terhadap niat untuk mereduksi limbah hasil produksi. Oleh karena itu, kesadaran untuk mencapai tahapan ini adalah sangat penting.

2. Reuse

Prinsip reuse adalah upaya pemanfaatan kembali limbah yang dihasilkan selama proses produksi. Yang dimaksud pemanfaatan bisa dalam bentuk proses lanjutan atau pemanfaatan untuk kegiatan di bidang yang lain, misalnya pakan ternak atau pemanfaatan lainnya. Terkait hal ini inovasi dan eksplorasi terhadap pemanfaatan lain dari hasil proses produksi tahu menjadi sangat penting karena jumlah industri tahu di Indonesia cukup banyak. Artinya, ini menjadi peluang mencari potensi kemanfaatan dari melimpahnya limbah hasil produksi industri. Persoalan reuse banyak disebabkan karena tidak adanya kepentingan yang bersinergi antara limbah yang dihasilkan dengan tujuan pemanfaatan.

Hal ini mengindikasikan pentingnya mata rantai industri yang terbangun dari semua aspek, terutama hulu sampai hilir. Sinergi industri dari hulu ke hilir memberikan peluang yang sangat besar terhadap pemanfaatan semua limbah yang dihasilkan sehingga nilai potensi dari setiap limbah bisa diserap dan dimanfaatkan bagi kepentingan industri lanjutan tanpa mengurangi kuantitas dan kualitasnya. Oleh karena itu, semua industri seharusnya memikirkan pola seperti ini sehingga persoalan limbah industri bisa direduksi dan secara tidak langsung model sinergi ini mampu menciptakan zero waste di level industri apapun. Implikasi jangka panjang dari model sinergi ini mampu menciptakan green production.

3. Recycle

Prinsip recycle adalah proses daur ulang dari limbah yang telah dihasilkan sehingga bisa dimanfaatkan untuk kepentingan lain tanpa mengurangi produksi. Pemahaman recycle tidak bisa lepas dari kepentingan untuk optimalisasi semua hasil akhir proses produksi, baik itu berupa limbah padat, cair atau gas. Hal ini dapat dilakukan dengan proses kimia atau non-kimia. Selain itu, proses recycle juga bisa dilakukan dengan cara alami, meski ini membutuhkan waktu yang lebih lama terutama jika dibandingkan dengan cara yang menggunakan proses percepatan.

Selain itu, proses ini juga dimungkinkan dengan pemanfaatan yang bersifat non-ekonomi. Pemahaman daur ulang selama ini lebih menekankan aspek kepentingan ekonomi semata, padahal persepsian daur ulang tidak hanya terfokus kepada kepentingan ekonomi tapi juga kemanfaatan untuk aspek yang lebih luas. Oleh karena itu, pemanfaatan yang masih mengacu mata rantai industri tentu memberikan nilai positif, meski hal ini juga bisa berkaitan dengan pemanfaatan di luar mata rantai industri itu sendiri (Dewi, 2020).

4. Landfilling

Landfilling, adalah pilihan terakhir yang dapat dilakukan dalam pengelolaan limbah yakni pembuangan ke tempat penampungan akhir. Landfilling dilakukan hanya bila alternative alternatif yang lain sudah tidak dapat dilakukan (Nasir, Saputro and Handayani, 2015). Beberapa kegiatan pengelolaan sampah melalui 3R yang dapat dilaksanakan adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan identifikasi jenis sampah yang ada di sekitar usaha perusahaan yang mencakup dari sumber sampah, sifat sampah dan bentuk sampah.
- b. Melakukan identifikasi sampah yang dihasilkan dari eksternalitas perusahaan.
- c. Menyusun program pengelolaan sampah yang mengadopsi jenis sampah, eksternalitas perusahaan, prinsip 3R dan konsep tanggung jawab sosial dan lingkungan.
- d. Mengembangkan program pemberdayaan masyarakat melalui peningkatan nilai ekonomis sampah.
- e. Melaksanakan community based waste management, seperti pemilihan sampah bersama masyarakat dan pembuatan kompos bersama atau oleh masyarakat.
- f. Melakukan pengembangan produk masyarakat menggunakan konsep 3R.

Indikator yang dapat digunakan untuk mengukur keberhasilan kegiatan pengelolaan sampah melalui 3R adalah volume sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) berkurang, sampah memiliki nilai ekonomis

yang memberi kesempatan usaha bagi masyarakat, dan berkembangnya usaha mandiri berbasis daur ulang sampah. Saat ini, prinsip 3R tersebut harus mulai dikembangkan. Ada beberapa tulisan yang menyebut prinsip pengelolaan sampah 5R (Reuse, Recycle, Reduce, Replace, Rethink) (Ratman and Syafrudin, 2018).

6.4 Implementasi Pengolahan Limbah B3

Suatu limbah digolongkan sebagai limbah B3 bila mengandung bahan berbahaya atau beracun yang sifat dan konsentrasinya, baik langsung maupun tidak langsung, dapat merusak atau mencemarkan lingkungan hidup atau membahayakan kesehatan manusia. Yang termasuk limbah B3 antara lain adalah bahan baku yang berbahaya dan beracun yang tidak digunakan lagi karena rusak, sisa kemasan, tumpahan, sisa proses, dan oli bekas kapal yang memerlukan penanganan dan pengolahan khusus.

Bahan-bahan ini termasuk limbah B3 bila memiliki salah satu atau lebih karakteristik berikut:

1. Limbah mudah meledak adalah limbah yang melalui reaksi kimia dapat menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi yang dengan cepat dapat merusak lingkungan.
2. Limbah mudah terbakar adalah limbah yang bila berdekatan dengan api, percikan api, gesekan atau sumber nyala lain akan mudah menyala atau terbakar dan bila telah menyala akan terus terbakar hebat dalam waktu lama.
3. Limbah reaktif adalah limbah yang menyebabkan kebakaran karena melepaskan atau menerima oksigen atau limbah organik peroksida yang tidak stabil dalam suhu tinggi.
4. Limbah beracun adalah limbah yang mengandung racun yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Limbah B3 dapat menimbulkan kematian atau sakit bila masuk ke dalam tubuh melalui pernapasan, kulit atau mulut.

5. Limbah yang menyebabkan infeksi adalah limbah laboratorium yang terinfeksi penyakit atau limbah yang mengandung kuman penyakit, seperti bagian tubuh manusia yang diamputasi dan cairan tubuh manusia yang terkena infeksi.
6. Limbah yang bersifat korosif adalah limbah yang menyebabkan iritasi pada kulit atau mengkorosikan baja, yaitu memiliki pH sama atau kurang dari 2,0 untuk limbah yang bersifat asam dan lebih besar dari 12,5 untuk yang bersifat basa.

Setiap orang yang melakukan pengelolaan limbah B3 wajib melakukan pemberian simbol dan label Limbah B3 terhadap limbah yang dikelolanya. Pemberian Simbol Limbah B3 dilakukan pada Wadah atau Kemasan Limbah B3, Tempat Penyimpanan Limbah B3, dan Alat Angkut Limbah B3. Pemberian Simbol disesuaikan dengan Karakteristik Limbah B3. Kegiatan pengelolaan Limbah B3 merupakan suatu rangkaian kegiatan yang mencakup Reduksi Limbah B3, Penyimpanan Limbah B3, Pengumpulan Limbah B3, Pemanfaatan, Pengangkutan, dan Pengolahan Limbah B3 termasuk Penimbunan Limbah B3 hasil pengolahan tersebut. (Hilman and Kristiningrum, 2008).

Dalam rangkaian Pengelolaan Limbah B3 terkait beberapa pihak yang masing-masing merupakan mata rantai sesuai Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, diatur sebagai berikut (Presiden RI, 1999):

1. Reduksi Limbah B3: Suatu kegiatan pada penghasil untuk mengurangi jumlah dan mengurangi sifat bahaya dan racun limbah B3, sebelum dihasilkan dari suatu kegiatan
2. Penyimpanan Limbah B3: kegiatan menyimpan limbah B3 yang dilakukan oleh penghasil dan/atau pengumpul dan/atau pemanfaat dan/atau pengolah dan/atau penimbun limbah B3 dengan maksud menyimpan sementara
3. Pengumpulan Limbah B3: kegiatan mengumpulkan limbah B3 dari penghasil limbah B3 dengan maksud menyimpan sementara sebelum diserahkan kepada pemanfaat dan/atau pengolah dan/atau penimbun limbah B3

4. Pengangkutan Limbah B3: kegiatan pemindahan limbah B3 dari penghasil dan/atau dari pengumpul dan/atau dari pemanfaat dan/ atau dari pengolah ke pengumpul dan/atau ke pemanfaat dan/atau ke pengolah dan/atau ke penimbun limbah B3
5. Pemanfaatan Limbah B3: kegiatan perolehan kembali (recovery) dan/atau penggunaan kembali (reuse) dan/atau daur ulang (recycle) yang bertujuan untuk mengubah limbah B3 menjadi suatu produk yang dapat digunakan dan harus juga aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia
6. Pengolahan Limbah B3: proses untuk mengubah karakteristik dan komposisi limbah B3 untuk menghilangkan dan/atau mengurangi sifat bahaya dan/atau sifat racun
7. Penimbunan Limbah B3: kegiatan menempatkan limbah B3 pada suatu fasilitas penimbunan dengan maksud tidak membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan hidup

Pemerintah harus memastikan bahwa setiap mata rantai Pengelolaan Limbah B3 sebagaimana tersebut di atas dilakukan secara benar, tepat, dan sesuai dengan tujuan dan persyaratan Pengelolaan Limbah B3, sehingga Pengelolaan Limbah B3 wajib dilengkapi dengan berbagai izin.

Dengan pengolahan limbah sebagaimana tersebut di atas, maka mata rantai siklus perjalanan limbah B3 sejak dihasilkan oleh penghasil limbah B3 sampai penimbunan akhir oleh pengolah limbah B3 dapat diawasi. Setiap mata rantai perlu diatur, sedangkan perjalanan limbah B3 dikendalikan dengan system manifest berupa dokumen limbah B3. Dengan sistem manifest dapat diketahui berapa jumlah B3 yang dihasilkan dan berapa yang telah dimasukkan ke dalam proses pengolahan dan penimbunan tahap akhir yang telah memiliki persyaratan lingkungan.

6.5 Implementasi Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001

Untuk meningkatkan kualitas pengelolaan lingkungan hidup serta peningkatan peran serta dunia usaha secara proaktif dalam mengelola lingkungan, dilakukan implementasi ISO 14001. ISO 14001 adalah ISO 14000 series yang merupakan seperangkat standar internasional bidang manajemen lingkungan yang dimaksudkan untuk membantu organisasi di seluruh dunia dalam meningkatkan efektivitas kegiatan pengelolaan lingkungannya. Perumusan standar ISO 14000 series diprakarsai dunia usaha sebagai kontribusi terhadap pencapaian Pembangunan Berkelanjutan yang disepakati dalam KTT Bumi di Rio de Janeiro Tahun 1992 (Pratama, 2015).

⁹ Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001, merupakan bagian dari seri ISO 14000 yang merupakan suatu sistem yang mengorganisasikan kebijakan lingkungan, perencanaan, implementasi, pemeriksaan, tindakan koreksi dan tinjauan manajemen perusahaan dalam melaksanakan kegiatan pengelolaan lingkungan sehingga tercapai perbaikan lingkungan yang bersifat terus-menerus atau berkesinambungan.

Sistem Manajemen Lingkungan merupakan suatu bagian dari studi manajemen yang memasukkan unsur-unsur kepedulian lingkungan dalam aktivitas sehari-hari, dan merupakan suatu proses manajemen yang menekankan upaya peningkatan efisiensi perusahaan dengan meminimalisasi keluaran limbah melalui proses produksi atau teknologi bersih lingkungan. Tujuan secara menyeluruh dari penerapan Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001 sebagai standar internasional adalah untuk mendukung perlindungan lingkungan dan pencegahan pencemaran yang seimbang dengan kebutuhan sosial ekonomi.

Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001 merupakan pendekatan yang sistematis untuk mengidentifikasi aspek dan dampak lingkungan serta untuk perumusan objektif dan target. Untuk merespon hal tersebut, biasanya yang mengarah pada efisiensi proses, dan hal ini pula yang dirasakan manfaatnya oleh perusahaan di mana dengan menerapkan ISO 14001 terjadi peningkatan pada proses efisiensi (17%). Sistem Manajemen Lingkungan juga dimaksudkan untuk membantu perusahaan dalam memenuhi persyaratan dan mengikuti peraturan dan perundangan mengenai lingkungan, dalam hal ini

perusahaan mengalami peningkatan yang cukup pada tingkat pemenuhan peraturan (7%). Manfaat lain dari penerapan ISO 14001 yaitu peningkatan pada kinerja manajemen/moral kerja (17%), meningkatkan kepuasan konsumen (12%), dan meningkatkan penjualan (7%) (Hilman and Kristiningrum, 2008).

Sistem manajemen lingkungan akan membantu organisasi (perusahaan) dalam mengidentifikasi, mengelola, memantau dan mengendalikan masalah lingkungan dengan cara “holistik”. Disamping itu ISO 14001 secara umum bermanfaat dalam hal:

9

1. Manfaat terhadap lingkungan

Dampak positif terbesar terhadap lingkungan adalah berkurangnya limbah yang berbahaya. Bukan hanya pengelolaan limbah yang menjadi bagian utama dari sertifikasi ISO, tetapi juga meminimalisasi limbah. Minimalisasi limbah adalah langkah untuk masa depan dalam perlindungan lingkungan dan berlaku baik untuk limbah yang berbahaya atau tidak.

2. Menunjukkan kesesuaian dengan peraturan

Dengan memiliki sertifikasi ISO untuk pengelolaan lingkungan berupa dokumen tertulis yang diperlukan untuk menunjukkan bahwa organisasi tersebut telah bertindak sesuai peraturan yang berlaku, sehingga bukan saja dapat terhindar dari keharusan menanggung biaya kerusakan lingkungan melainkan juga mendapatkan kepercayaan dan pengakuan masyarakat internasional.

9

3. Pembentukan sistem pengelolaan yang efektif

Dengan adanya bermacam-macam tuntutan terhadap perusahaan sehubungan dengan pengelolaan lingkungan hidup dan sistem manajemen lingkungan, hal itu menuntut perusahaan untuk melakukan pengelolaan dengan lebih efektif sehingga mampu berkiprah dalam dunia peraturan internasional.

4. Penurunan biaya

Dasar utama dalam penghematan biaya adalah sedikitnya bahan kimia dan limbah yang perlu ditangani atau dibersihkan. Berkurangnya bahan kimia berarti berkurang pula penggunaan bahan kimia yang berkualitas rendah, berkurang pula tumpahan bahan

- 9 kimia, yang berarti mengurangi jumlah limbah yang berbahaya yang harus dilacak dan dibuang.
- 9 5. Penurunan kecelakaan kerja
- Seiring berkurangnya bahan kimia dan limbah berbahaya yang ada di lokasi dengan diberlakukannya sistem ini maka jumlah karyawan yang cedera Karena bahan-bahan tersebut akan menurun sehingga biaya yang berhubungan dengan kecelakaan kerja juga menurun. Karena pengelolaan lingkungan dan kesehatan serta keselamatan kerja saling berkait maka pada saat yang satu memperoleh manfaat dari perubahan yang ada, yang lainnya akan memperoleh keuntungan yang sama.
- 9 6. Peningkatan hubungan masyarakat
- Untuk mempertahankan atau meningkatkan kredibilitas dan hubungan dengan masyarakat, ada beberapa aktivitas yang berkaitan dengan lingkungan. Salah satu hal yang dapat dilakukan adalah dengan tidak membuang limbah dalam jumlah yang besar.
- 9 7. Peningkatan kepuasan konsumen
- Dengan melihat bahwa perusahaan tersebut memiliki ISO 14001, konsumen akan merasa bahwa lingkungannya telah terlindungi. Dengan ISO 14001, organisasi akan dapat meyakinkan konsumen mereka dan masyarakat luas bahwa mereka benar-benar melakukan kegiatan perlindungan terhadap lingkungan dan mempunyai dokumen-dokumen yang cukup untuk mendukung pernyataan tersebut.
- 9 8. Mengembangkan perhatian manajemen yang lebih tinggi
- Dengan ISO 14000, departemen lingkungan dipandang positif dan merupakan komponen penting dalam perusahaan. Keseluruhan proses dalam mencapai sertifikasi akan merangsang manajemen untuk lebih berkembang dan lebih menghargai pengelolaan lingkungan.

Menurut (Pratama, 2015) saat ini, diperkirakan terdapat lebih dari 230 sertifikat ISO 14001 yang diberikan oleh berbagai Lembaga Sertifikasi kepada beragam organisasi di Indonesia. Dibandingkan dengan negara lain, jumlah ini masih relatif kecil. Salah satu kendala yang dikemukakan oleh dunia usaha

adalah biaya sertifikasi. Terkait dengan hal ini, banyak organisasi usaha yang tertarik untuk mengembangkan Sistem Manajemen Lingkungan namun tidak melakukan sertifikasi. Sementara itu, dari pihak Pemerintah dan masyarakat pada umumnya masih belum memahami standar ISO 14000 dan sertifikasi ISO 14001. Oleh karena itu, program sosialisasi perlu semakin ditingkatkan.

Bab 7

Pemisahan Secara Gravitasi

3 7.1 Pendahuluan

Air limbah domestik merupakan air yang telah digunakan oleh masyarakat yang mengandung bahan material – material organik maupun anorganik yang berasal dari air bekas masak, mandi, cuci dan kakus, air limbah domestik dibagi menjadi dua yaitu *greywater* dan *blackwater*. Di Indonesia sebagian besar penyaluran air limbah domestik masih menggunakan *greywater* dan *blackwater* telah terpisah akan tetapi pengolahannya kurang tepat. Air limbah domestik ini tidak memenuhi persyaratan baku mutu badan air, maka diperlukan adanya penanganan yang berupa pengolahan yang optimal sebelum dialirkan ke badan air. Pada umumnya, pengolahan dilakukan secara optimal di suatu tempat yang disebut sebagai Bangunan Pengolahan Air Buangan (BPAB) (Marhadi, 2016).

Sistem penyaluran air buangan bertujuan untuk mengalir air buangan dari suatu pemukiman secara cepat ke suatu tempat atau BPAB yang tidak akan menimbulkan bahaya atau kerusakan bagi manusia dan lingkungan. Seiring dengan pertambahan kebutuhan akan penyediaan air untuk masyarakat, maka pihak pengelola air bersih dan limbah perkotaan, dalam hal ini perusahaan daerah air minum, tidak hanya memanfaatkan sumber daya air bersih dan air tanah dan mata air, melainkan mengambil air permukaan, seperti sungai sebagai alternatif untuk pemenuhan kebutuhan air bersih. Oleh karena itu,

3 perlu dilakukan pengolahan air limbah yang lebih seksama dan terpadu, agar kualitas air permukaan yang akan digunakan untuk pemenuhan kebutuhan air dapat memenuhi standar kualitas badan air sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan oleh Kepmen LH No. 112 Tahun 2003 tentang baku mutu air limbah domestik, mensyaratkan pH 6 – 9, BOD 100 mg/l, minyak dan lemak 10 mg/l serta TSS 100 mg/l (Marhadi, 2016). Air limbah sebagai sumber pencemar dapat berasal dari berbagai sumber yang pada umumnya karena hasil perbuatan manusia dan kemajuan teknologi.

Sumber-sumber air limbah tersebut dibedakan menjadi, sebagai berikut:

- 3 1. Air limbah rumah tangga (domestic wastewater), air limbah dari pemukiman ini umumnya mempunyai komposisi yang terdiri atas ekskreta (tinja dan urin), air bekas cucian dapur dan kamar mandi, di mana sebagian besar merupakan bahan organik.
2. Air limbah kotapraja (municipal wastewater), air limbah ini umumnya berasal dari daerah perkotaan, perdagangan, sekolah, tempat-tempat ibadah dan tempat-tempat umum lainnya seperti hotel dan restoran.
3. Air limbah industri (Industrial wastewater), air limbah yang berasal dari berbagai jenis industry akibat proses produksi ini pada umumnya lebih sulit dalam pengolahannya serta mempunyai variasi yang luas (Marhadi, 2016).

7.2 Sistem Penyaluran dan Pengolahan Air Limbah

Menurut Asal Air (F.Y, Cindy and M.I, 2020):

- 12 1. Sistem Pengolahan Setempat Sistem pengolahan setempat (On-site system) adalah sistem pembuangan air limbah di mana air limbah tidak dikumpulkan / disalurkan ke dalam suatu jaringan saluran yang akan membawanya ke suatu tempat pengolahan air buangan atau badan air penerima, melainkan dibuang di tempat.

- 12
2. Sistem Pengolahan Terpusat Sistem Pengolahan Terpusat (Off site system) merupakan sistem pembuangan air buangan rumah tangga (kamar mandi, cucian, kegiatan dapur) yang disalurkan keluar dari lokasi pekarangan masing-masing rumah ke saluran pengumpul air buangan dan selanjutnya disalurkan secara terpusat ke bangunan pengolahan air buangan sebelum dibuang ke badan perairan.
3. Sistem Penyaluran Terpisah Sistem Penyaluran terpisah atau biasa disebut separate system / full sewerage adalah sistem di mana air buangan disalurkan tersendiri dalam jaringan riol tertutup, sedangkan limpasan air hujan disalurkan tersendiri dalam saluran drainase khusus untuk air yang tidak tercemar.
4. Sistem Penyaluran Konvensional Sistem penyaluran konvensional (conventional Sewer) merupakan suatu jaringan perpipaan yang membawa air buangan ke suatu tempat berupa bangunan pengolahan atau tempat pembuangan akhir seperti badan air penerima. Sistem ini terdiri dari jaringan pipa persil, pipa lateral, dan pipa induk yang melayani penduduk untuk suatu daerah pelayanan yang cukup luas.
5. Sistem Riol Dangkal Shallow sewerage disebut juga Simplified sewerage atau Condominial Sewerage. Perbedaannya dengan sistem konvensional adalah sistem ini mengangkut air buangan dalam skala kecil dan pipa dipasang dengan slope lebih landai. Perletakan saluran ini biasanya diterapkan pada blok-blok rumah.
6. Sistem Riol Ukuran Kecil Saluran pada sistem riol ukuran kecil (small bore sewer) ini dirancang, hanya untuk menerima bagian-bagian cair dari air buangan kamar mandi, cuci, dapur dan limpahan air dari tangki septik, sehingga suaranya harus bebas zat padat.
7. Sistem Penyaluran Tercampur Sistem penyaluran tercampur merupakan sistem pengumpulan air buangan yang tercampur dengan air limpasan hujan. Kelebihan sistem ini adalah hanya diperlukannya satu jaringan sistem penyaluran air buangan sehingga dalam operasi dan pemeliharannya akan lebih ekonomis.
8. Sistem Kombinasi Pada sistem penyalurannya secara kombinasi dikenal juga dengan istilah interceptor, di mana air buangan dan air

12

hujan disalurkan bersama-sama sampai tempat tertentu baik melalui saluran terbuka atau tertutup, tetapi sebelum mencapai lokasi instalasi antara air buangan dan air hujan dipisahkan dengan bangunan regulator. Menurut Sistem Pengaliran (F.Y, Cindy and M.I, 2020):

- a. Sistem Pengaliran Gravitasi Sistem ini dipakai apabila badan air berada di bawah elevasi daerah penyerapan dan menggunakan potensial yang tinggi terhadap daerah pelayanan terjauh.
- b. Sistem Pemompaan Sistem ini digunakan apabila elevasi badan air di atas elevasi daerah pelayanan.
- c. Sistem Kombinasi Sistem ini digunakan apabila limbah cair dari daerah pelayanan dialirkan ke bangunan pengolahan menggunakan bantuan pompa dan reservoir.

22

Pada dokumen Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) tahun 2015-2019 telah disebutkan mengenai target 100:0:100. Target 100:0:100 meliputi 100% pelayanan air minum, 0% kawasan permukiman kumuh, dan 100% sanitasi yang layak. Sanitasi yang dimaksud mencakup air limbah, drainase dan persampahan. Untuk penanganan air limbah, sasaran yang direncanakan adalah penambahan infrastruktur, air limbah sistem terpusat, pengolahan air limbah komunal, dan peningkatan pengelolaan lumpur tinja melalui pembangunan IPLT di berbagai kota/kabupaten di Indonesia. Oleh karena itu, perlu adanya perencanaan sistem pengolahan air limbah komunal di kecamatan tersebut. Teknologi pengolahan limbah yang paling banyak digunakan di sistem pengolahan limbah skala kawasan di Indonesia adalah Anaerobic Baffled Reactor (ABR).

Teknologi ini dipilih karena memiliki beberapa kelebihan seperti biaya operasional yang rendah, efisiensi pengolahan tinggi, tidak memakan banyak lahan karena dapat dibangun di bawah tanah. Salah satu kelemahan dari ABR adalah penyisihan suspended solid yang rendah dan dapat terbawanya suspended solid ke outlet. Media filter diletakkan pada kompartemen akhir untuk menahan suspended solid agar tidak ikut terbawa keluar outlet. Unit pengolahan yang direncanakan adalah anaerobic baffled reactor dengan kombinasi anaerobic filter (Rahmanissa and Slamet, 2017).

7.3 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik

Masalah air limbah di Indonesia baik limbah domestik maupun air limbah industri sampai saat ini masih menjadi masalah yang serius. Di dalam proses pengolahan air limbah khususnya yang mengandung polutan senyawa organik, teknologi yang digunakan sebagian besar menggunakan aktivitas mikro-organisme yang menguraikan senyawa polutan organik tersebut. Pengelolaan air limbah dapat dilakukan secara alamiah maupun dengan bantuan peralatan. Pengolahan air limbah secara alamiah biasanya dilakukan dengan bantuan kolam stabilisasi. Kolam stabilisasi merupakan kolam yang digunakan untuk mengolah air limbah secara alamiah. Kolam stabilisasi sangat direkomendasikan untuk pengolahan air limbah di daerah tropis dan negara berkembang sebab biaya yang diperlukan untuk membuatnya relatif murah tetapi membutuhkan area yang luas retention time (waktu tinggal) yang cukup lama (20-50 hari) (Khaq and Slamet, 2017).

Salah satu sistem pengolahan air limbah domestik adalah dengan proses lumpur aktif di mana dalam proses ini pemisahan secara gravitasi sangat dimanfaatkan. Dari bak pengendap awal dialirkan ke bak aerasi secara gravitasi. Di dalam bak aerasi ini air limbah dihembus dengan udara sehingga mikro organisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah. Energi yang didapatkan dari hasil penguraian zat organik tersebut digunakan oleh mikroorganisme untuk proses pertumbuhannya. Dengan demikian di dalam bak aerasi tersebut akan tumbuh dan berkembang biomassa dalam jumlah yang besar. Biomassa atau mikroorganisme inilah yang akan menguraikan senyawa polutan yang ada di dalam air limbah. Dari bak aerasi, air dialirkan ke bak pengendap akhir.

Di dalam bak ini lumpur aktif yang mengandung massa mikro-organisme diendapkan dan dipompa kembali ke bagian inlet bak aerasi dengan pompa sirkulasi lumpur. Air limpasan (over flow) dari bak pengendap akhir dialirkan ke bak khlorinasi. Di dalam bak kontaklor ini air limbah dikontakkan dengan senyawa klor untuk membunuh mikroorganisme patogen. Air olahan, yakni air yang keluar setelah proses khlorinasi dapat langsung dibuang ke sungai atau saluran umum. Dengan proses ini air limbah dengan konsentrasi BOD 250 -300 mg/lit dapat di turunkan kadar BOD nya menjadi 20 -30 mg/lit (Said and Utomo, 2018).

13

Dengan seragamnya kualitas dan kuantitas air limbah diharapkan performa pengolahan khususnya pengolahan biologi dapat berjalan secara baik dan terhindar dari potensi shock loading. Air limbah domestik kemudian dialirkan melalui jaringan perpipaan secara gravitasi maupun aliran bertekanan (pemompaan) menuju ke inlet IPALD. Pada inlet terdapat screen yang berfungsi sebagai penyaring dari course material seperti sampah. Selanjutnya, air limbah domestik langsung masuk ke tangki aerasi. Di dalam tangki ini, air limbah akan diaduk dengan menggunakan aerator udara sekaligus untuk memenuhi kebutuhan oksigen bagi mikroorganisme sebagai bagian dari proses degradasi material organik karbon yang terkandung di dalam air limbah domestik (Kris, Widia and dkk, 2019).

Proses biologi di dalam tangki aerasi atau juga dapat disebut sebagai proses lumpur aktif (activated sludge) akan menghasilkan bioflok atau sel baru yang mudah untuk diendapkan. Air limbah domestik dari tangki aerasi akan dialirkan menuju ke tangki sedimentasi untuk mengendapkan bioflok yang telah terbentuk di dalam tangki aerasi. Pengendapan berlangsung secara gravitasi. Bioflok yang memiliki massa lebih berat akan terendapkan ke dalam dasar tangki atau ruang lumpur sedangkan air bersih akan mengalir keluar melalui pelimpah (weir) menuju ke pengolahan selanjutnya. Lumpur yang telah mengendap di dasar tangki sedimentasi atau clarifier akan dipompa keluar menuju digester. Digester merupakan tangki untuk proses digesting atau pematangan lumpur. Unit pengolahan lumpur ini dirancang untuk membunuh material organik yang masih cukup tinggi di dalam lumpur. Dalam beberapa kasus, pengolahan lumpur melalui unit pengolahan digester penting untuk dilakukan agar material organik dan bakteri patogen yang terkandung di dalam lumpur dapat dipisahkan secara aerob maupun anaerob sehingga aman untuk dilepas ke lingkungan (Kris, Widia and dkk, 2019).

13

Selain itu, lumpur yang telah diendapkan di tangki sedimentasi akan dialirkan sebagian ke tangki aerasi kembali sebagai lumpur resirkulasi. Proses ini merupakan bagian penting dalam sistem lumpur aktif. Lumpur yang kaya dengan kandungan mikroorganisme akan berguna dalam mempertahankan proses biologi yang optimal di tangki aerasi. Sebagian lumpur lainnya akan dibuang. *Efluen* atau *overflow* dari tangki pengendapan atau *clarifier* selanjutnya mengalir ke tangki aerasi lanjutan. Tangki aerasi lanjutan (Extended Aeration) ini dibangun untuk mendegradasi amonia yang masih ditemukan dengan konsentrasi yang relatif tinggi pada *efluen clarifier*. Proses nitrifikasi ini dilakukan pada kolam yang disuplai dengan pompa udara. Efluen

13

dari tangki aerasi lanjutan ini diharapkan dapat memiliki kualitas dengan konsentrasi amonia yang sudah memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku. Sebelum dialirkan keluar menuju badan air penerima, air limbah dibubuhkan desinfektan untuk membunuh mikroorganisme yang berbahaya yang berpotensi masih terkandung di dalam efluen (Kris, Widia and dkk, 2019).

7.4 Model IPAL Dengan Sistem Gravitasi

Indikasi pencemaran air dapat kita ketahui baik secara visual maupun pengujian. Perubahan pH (tingkat keasaman/konsentrasi ion hidrogen) Air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan memiliki pH netral dengan kisaran nilai 6.5-7.5. Air limbah industri yang belum terolah dan memiliki pH diluar nilai pH netral, akan mengubah pH air sungai dan dapat mengganggu kehidupan organisme di dalamnya. Hal ini akan semakin parah jika daya dukung lingkungan rendah serta debit air sungai rendah. Limbah dengan pH asam/rendah bersifat korosif terhadap logam. Perubahan warna, bau dan rasa air normal dan air bersih tidak akan berwarna, sehingga tampak bening/jernih. Bila kondisi air warnanya berubah maka hal tersebut merupakan salah satu indikasi bahwa air telah tercemar. Timbulnya bau pada air lingkungan merupakan indikasi kuat bahwa air telah tercemar. Air yang bau dapat berasal dari limbah industri atau dari hasil degradasi oleh mikroba. Mikroba yang hidup dalam air akan mengubah organik menjadi bahan yang mudah menguap dan berbau sehingga mengubah rasa (Anton, Hardiansyah and Nurhayati, 2016).

Timbulnya endapan, koloid dan bahan terlarut endapan, koloid dan bahan terlarut berasal dari adanya limbah industri yang berbentuk padat. Limbah industri yang berbentuk padat, bila tidak larut sempurna akan mengendap di dasar sungai, dan yang larut sebagian akan menjadi koloid dan akan menghalangi bahan-bahan organik yang sulit diukur melalui uji boD karena sulit didegradasi melalui reaksi biokimia, namun dapat diukur menjadi uji COD.

Adapun komponen pencemaran air pada umumnya terdiri dari:

1. Bahan buangan padat.
2. Bahan buangan organik.

3. Bahan buangan anorganik

Gravitasi adalah gaya tarik-menarik antara semua benda yang memiliki massa. Meskipun gravitasi berlaku untuk segala sesuatu yang memiliki massa, hanya benda dengan massa yang sangat besar yang akan memengaruhi apa saja yang ada di dekatnya. Sebuah medan gravitasi adalah area di sekitar benda yang menghasilkan tarikan gravitasi. Hal ini dapat didefinisikan sebagai gaya gravitasi yang dirasakan oleh benda yang ditempatkan di suatu titik dalam ruang. Gravitasi memiliki tiga efek yang sangat penting. Pertama, gravitasi membuat segala sesuatu tertarik atau jatuh ke benda yang memiliki gravitasi tersebut. Percepatan gravitasi di bumi adalah 9,8 meter per detik kuadrat. Itu berarti bahwa tidak peduli apa yang jatuh ke arah bumi, ia akan melakukannya dengan percepatan yang sama, kecuali hambatan udara diperhitungkan. Kedua, gravitasi menyebabkan adanya gaya berat pada setiap benda. Berat adalah gaya gravitasi untuk menarik sesuatu ke arah bumi. Massa dan berat merupakan hal yang berbeda (Anton, Hardiansyah and Nurhayati, 2016).

Massa digunakan untuk menentukan berat sesuatu. Massa suatu benda selalu sama, namun bobotnya bisa berubah berdasarkan kekuatan medan gravitasi. Sebagai contoh, massa suatu benda akan sama di bulan seperti itu di bumi, tetapi beratnya akan berbeda karena gaya gravitasi di bumi dan bulan berbeda. Ukuran gaya gravitasi mengikuti hubungan kuadrat terbalik. Jika gravitasi dari sebuah objek diukur, dan kemudian dipindahkan dua kali lebih jauh dari objek besar menyebabkan medan gravitasi, gaya gravitasi akan berkurang empat kali dibanding gaya gravitasi sebelumnya. Jika dipindahkan tiga kali lebih jauh, gaya gravitasi akan berkurang sembilan kali gaya sebelumnya. Begitu pula sebaliknya, jika jarak diperdekat, maka gaya gravitasi akan meningkat sebanyak seper kuadrat kali jarak sebelumnya. Berdasarkan penjelasan diatas dapat diambil kesimpulan Sistem Gravitasi adalah sistem yang menggunakan gaya tarik bumi untuk membawa atau mengalirkan salah satu contohnya zat cair dari atas kebawah atau dari permukaan tinggi ke permukaan yang lebih rendah. Sistem ini berfungsi untuk meminimalisasikan biaya operasional dan mempermudah dalam perawatan suatu sistem pengolahan air limbah (Anton, Hardiansyah and Nurhayati, 2016).

Standar kemiringan saluran pipa air kotor, akan kami bagi menjadi 3 yaitu: Pipa air kotor, air kotor yang dimaksud untuk air bekas cucian, dapur dan air kamar mandi. Minimal ukuran diameter pipa adalah 3'in dengan derajat kemiringan adalah minimal 1% hingga 2% yang dihitung dari panjang saluran

4
pipa yang terpasang datar (horizontal). Misalkan panjang pipa datar yang terpasang adalah 10 meter, maka $10 \text{ m} \times 1\% = 0,1 \text{ meter}$ atau jika dalam hitungan centimeter adalah 10 cm. Jika derajat kemiringan 2% maka tinggal dikalikan dengan panjang saluran pipanya. Pipa air kotor manusia atau sering kita sebut disposal/tinja. Untuk pipa saluran disposal pipa yang diijinkan minimal 4'in dengan sudut kemiringan saluran pipanya minimal 2% sampai dengan maksimal 3%, jika kurang dari 2% maka kotoran padat (tinja) akan lambat untuk turun/mengalir bersama dengan air siramannya alias tinja menjadi terhambat untuk mengalir sedangkan jika melebihi dari 3% maka air siraman akan mengalir terlebih dahulu dan kotoran padat tinja akan tertinggal di dalam saluran pipa. Kemiringan saluran pipa jika panjang saluran pipa yang terpasang adalah 8 meter maka dikalikan dengan standar kemiringan yang diijinkan, misalkan $2,5\% \times 8 \text{ meter} =$ kemiringan diujung sisi buang saluran datar adalah 0,2 m atau 20 cm. Pipa air hujan memiliki standar derajat kemiringan saluran pipa datar adalah minimal 0,5% sampai dengan 1% dan pipa yang diijinkan minimal dengan diameter 2'in sampai dengan 3'in (Anton, Hardiansyah and Nurhayati, 2016).

Bab 8

Metode Pengendapan Kimia

8.1 Pendahuluan

Limbah adalah buangan dari suatu proses produksi, rumah tangga (domestik) atau dari aktivitas masyarakat. Limbah berdasarkan wujudnya terdiri atas limbah padat sering dikenal dengan sampah dan jenis, limbah cair dan gas serta perpaduan dari dua atau tiga wujud limbah. Secara prinsip limbah termasuk zat yang tidak dikehendaki baik oleh lingkungan maupun oleh manusia dan makhluk hidup lainnya, karena sangat potensial menimbulkan masalah atau dampak yang merugikan baik terhadap makhluk hidup maupun terhadap lingkungan. Limbah yang tidak tertangani dengan baik, pada volume tertentu dalam waktu tertentu pula dapat berubah menjadi zat atau sumber pencemaran, baik terhadap lingkungan air, tanah dan ruang udara (Rahmah and Asti, 2015).

Beberapa masalah yang ditimbulkan oleh limbah sebagai zat pencemaran pada tanah, di antaranya merusak struktur tanah, menurunkan kualitas tanah, dapat mematikan komponen pengurai tanah, menempati ruang, mengurangi daya simpan/serat air pada tanah, menjadikan tanah miskin unsur hara untuk tanaman, perubahan tekstur tanah dan menjadi rawan longsor, terlebih jika limbah tersebut mengandung komponen-komponen tertentu, seperti bahan kimia yang beracun, karsinogenik, mutagenik dan sangat berbahaya bagi tumbuhan, bahkan sebagai ancaman terhadap kesehatan manusia. Limbah

pada lingkungan air juga potensial menimbulkan masalah serius, karena potensial menurunkan kualitas air, terutama kemampuan limbah merubah komposisi dan sifat air sehingga tidak layak digunakan untuk aktivitas MCK, sebagai air minum, dapat mematikan mikroorganisme air, ikan dan berbagai zat hayati dalam air. Jika limbah masuk ke dalam perairan yang lebih luas seperti pada sungai, danau, rawa, bahkan laut atau mencemari tempat penampungan air buatan seperti waduk, dam dan embung, sehingga semakin memberi penetrasi pada kehidupan manusia. Limbah yang mencemari ruang udara, misalnya bau dalam bentuk uap dan gas memiliki konsekuensi negatif pada kehidupan semua makhluk sekitarnya yang pada akhirnya mengancam kesehatan hewan, ternak dan manusia (Marzuki, 2009; Bangun et al., 2013).

Limbah ditinjau dari aspek komponen penyusunnya, dapat dibedakan menjadi limbah yang mengandung komponen hidrokarbon, komponen logam berat, mikroplastik, zat radioaktif dan komponen lainnya, sehingga menimbulkan masalah-masalah tertentu baik terhadap lingkungan maupun terhadap makhluk hidup termasuk manusia. Limbah yang mengandung komponen hidrokarbon apalagi jika komponen hidrokarbon tersebut golongan polisiklik aromatik, maka dipastikan bahwa sifat limbah tersebut sangat toksik, karsinogenik dan mutagenik (Amanda, Marufi and Moelyaningrum, 2019). Sifat limbah ini sangat rentan terhadap kesehatan ternak, hewan peliharaan, terlebih lagi terhadap manusia dan relatif berbahaya untuk semua jenis tumbuhan karena komponen aromatik ini sangat sulit terurai dan memiliki kemampuan kumulatif dalam tubuh. Pada dasarnya limbah merupakan material atau bahan berbahaya, beracun atau memenuhi keduanya. Sesuai dengan sifat, bahaya dan daya racunnya baik terhadap lingkungan dan makhluk hidup, maka hampir semua limbah masuk dalam kategori bahan berbahaya dan beracun (B3), artinya bahwa dalam berbagai aspek serta dampak yang dapat ditimbulkan terhadap lingkungan dan makhluk hidup maka semua jenis limbah kita dapat dikategorikan sebagai bahan berbahaya dan beracun (Anami, Maslahat and Arrisujaya, 2020).

Limbah mengandung komponen logam berat, juga menimbulkan masalah besar terhadap hampir semua tumbuhan, hewan dan manusia. Sifat limbah logam berat tidak terurai dan membentuk akumulasi dalam tubuh apabila terserap. Konsekuensi kesehatan yang diakibatkan oleh limbah mengandung logam berat bisa akut dan juga bisa kronik serta mengalami siklus atau dapat berpindah dari tubuh tumbuhan ke hewan atau ke manusia, dari hewan ke manusia, sehingga mengatasinya tentu sulit dilakukan. Demikian pula jika

limbah mengandung komponen mikroplastik, baik yang mengkontaminasi lingkungan perairan dan tanah juga sangat berbahaya bagi kebanyakan makhluk hidup terutama pada gangguan metabolisme. Sedangkan jika limbah mengandung komponen zat radioaktif juga menimbulkan masalah besar pada kesehatan baik yang sifatnya dampak langsung maupun dampak tidak langsung (Ananda et al., 2018).

Sesuai komponen penyusun limbah dan masalah yang ditimbulkan, maka penanganan dan pengelolaannya perlu dilakukan perhitungan cermat dan pemilihan metode yang tepat, agar dapat menyelesaikan permasalahan yang ditimbulkan. Paparan limbah terhadap suatu jenis makhluk hidup sulit ditelusuri secara pasti dengan pendekatan medis maupun pendekatan IpTek, mengingat bahwa efek yang ditimbulkan sangat bervariasi, bisa langsung maupun tidak langsung, mekanisme kerja air limbah dalam tubuh makhluk hidup juga beragam, sehingga penanganan dini limbah pada sumbernya merupakan cara lebih eksak dilakukan. Secara kemanusiaan cara ini lebih adil, karena konsekuensi atas masalah yang ditimbulkan dari limbah tersebut dapat dibebankan kepada mereka yang menghasilkan limbah, misalnya pada perusahaan atau pada suatu industri tertentu termasuk penerapan sanksi jika diperlukan. Hal ini penting dilakukan sebelum limbah dibuang/terbuang ke lingkungan yang dapat menimbulkan masalah yang lebih besar, rumit dan tidak menimbulkan korban pada makhluk hidup termasuk masyarakat sekitarnya (Bangun et al., 2013).

Beberapa metode yang dapat diterapkan dalam pengelolaan dan penanganan limbah, di antaranya cara fisika, kimia, biologi dan kombinasi dari dua atau tiga metode, tergantung karakteristik limbah, target yang akan dicapai serta dan sasaran atas pengelolaan tersebut. Pemilihan suatu metode dalam pengolahan limbah selain pertimbangan target capaian dan karakteristik limbah, juga perlu diperhatikan beberapa faktor lainnya, misalnya volume, jenis, sumber, biaya, kebutuhan keahlian pengelolaan, sarana pengolahan, termasuk kelemahan dan kelebihan setiap metode yang dipilih (Andaka, 2008).

Penerapan metode fisika dalam pengelolaan limbah umumnya untuk tujuan sementara yang sifatnya hanya memperlambat penyebaran limbah, namun tidak mengatasi masalah yang diakibatkan oleh limbah, apalagi untuk mengatasi terkait dengan sifat racun komponen limbah, Hal tersebut sebagai bentuk kelemahan dari metode fisika, namun tetap dibutuhkan untuk tujuan tertentu dan target yang akan dicapai. Beberapa cara fisika yang biasa

dilakukan dalam pengolahan limbah cair, misalnya pengaturan suhu, perluasan permukaan limbah agar lebih banyak terpapar cahaya matahari, pengaliran dan pemutaran agar terjadi aerasi pada limbah, penyekatan, pengendapan komponen kasar dari limbah. Kelebihan metode fisika adalah biaya yang dibutuhkan kecil, mudah dilakukan dan tidak memerlukan keahlian spesifik (Fitriyanti, 2017).

Metode biologi dalam pengolahan limbah khususnya limbah cair dan padat misalnya, metode fitoremediasi, Fitoremediasi juga terbagi atas beberapa macam, yakni fitoekstraksi atau hiperakumulasi untuk penarikan logam berat oleh akar tanaman, fitofiltrasi atau adsorpsi atau pengendapan kontaminan menggunakan akar tanaman tertentu, fitostabilisasi (penempelan komponen limbah pada akar tanaman), fitodegradasi yang mengurai zat-zat kontaminan menggunakan aktivitas mikroba, foto-transformasi, yaitu penguraian komponen kontaminan dalam limbah dengan cara memecah molekul kontaminan kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana dan fitovolatilisasi untuk mengurai zat berbahaya yang terlarut ditranspirasikan menjadi zat sederhana tidak berbahaya dan selanjutnya diuapkan. Metode kimia dan kombinasi metode kimia dengan metode lainnya secara rinci dibahas pada uraian berikut yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam bab ini. Keuntungan cara biologi adalah biaya relatif murah, lebih ramah lingkungan dan dapat dilakukan lebih cepat, namun kelemahan metode ini adalah dilakukan ada skala volume limbah yang kecil, proses sangat peka terhadap iklim dan cuaca (Hastutiningrum and Purnawan, 2017).

8.2 Sifat Kimia Limbah

Pengolahan limbah yang umum dilakukan dibedakan berdasarkan tingkat perlakuan terhadap limbah dan menurut karakteristik limbah. Tingkat perlakuan misalnya, jenis layanan yang dilakukan terhadap limbah, skala layanan, target layanan, sasaran layanan, frekuensi dan volume layanan. Pengolahan menurut karakteristik limbah, misalnya partikel mikro limbah, dinamisasi yang terjadi pada limbah, sebaran dan dampak sebaran limbah serta dampak jangka panjang. Limbah yang bersumber dari kegiatan industri tidak jarang ditemukan limbah golongan bahan berbahaya dan beracun (B3) dengan karakteristik B3 cair, padat, gas dan partikel (Indrayani, 2018).

Limbah B3 menurut sumbernya di antaranya, limbah yang berasal dari sumber yang tidak spesifik, sumber spesifik dan bahan kimia tumpahan, kedaluwarsa, bekas kemasan dan buangan yang bukan dari yang memenuhi spesifikasi.

Berdasarkan komponen dan sifatnya limbah dibedakan dalam beberapa kelompok, yakni:

1. Limbah yang mudah terbakar adalah jenis limbah yang memenuhi salah satu dari sifat berikut: limbah berupa cairan yang mengandung bahan alkohol yang dapat menimbulkan kebakaran apabila mencapai tekanan 760 mmHg atau suhu 60 0C, limbah bukan cairan, namun dapat menimbulkan kebakaran pada suhu standar 25 0C, 760 mmHg, masuk dalam golongan limbah pengoksidasi.
2. Limbah mudah meledak apabila pada tekanan standar standar 25 0C, 760 mmHg, atau dapat menghasilkan gas yang dengan cepat dapat mengkontaminasi lingkungan sekitarnya.
3. Limbah beracun jika mengandung zat pencemar yang bersifat racun bagi manusia atau terhadap lingkungan dengan efek menimbulkan kematian atau sakit serius jika terpapar dalam tubuh.
4. Limbah yang dapat menyebabkan terjadinya infeksi yang disebabkan karena mengandung kuman penyakit dan dapat menular, contohnya hepatitis, kolera, coronavirus dan lainnya.
5. Limbah yang memiliki sifat reaktif adalah jenis limbah yang memenuhi salah satu dari sifat berikut: dapat mengalami perubahan tanpa ledakan, dapat bereaksi hebat dengan air, jika bercampur dengan air berpotensi menimbulkan ledakan, golongan limbah sianida, sulfida, amonia yang menghasilkan gas pada pH 2-12, menyebabkan kebakaran karena menerima atau melepaskan oksigen.
6. Limbah korosif adalah jenis limbah yang menimbulkan iritasi, atau menimbulkan pengkaratan, dan limbah yang bersifat asam atau basa (Rahmah and Asti, 2015).

8.3 Indikator Pengolahan Limbah

Kegiatan Pengelolaan limbah tanpa melihat jenis, sifat, sumber dan volume dari limbah merupakan suatu rangkaian kegiatan yang mengikuti beberapa tahapan, di antaranya: tahap reduksi, penyimpanan, menyatukan atau pengumpulan, memanfaatkan, pemindahan dengan pengangkutan dan pengolahan serta penanaman limbah hasil pengolahan.

Rangkaian dan tahapan kegiatan tersebut berkaitan dengan beberapa pihak yang masing-masing sebagai mata rantai dalam pengelolaan limbah, yaitu:

1. Reduksi limbah: Suatu kegiatan yang bertujuan mengurangi jumlah, sifat, tingkat bahaya dan daya racun limbah
2. Penyimpanan: kegiatan yang dilakukan di tingkat pengumpul, penimbun limbah dengan tujuan menyimpan temporer dan sementara
3. Pengumpulan: kegiatan dari penghasil limbah untuk maksud penyimpanan sementara untuk selanjutnya diserahkan kepada pengguna atau pengolah limbah
4. Pengangkutan: kegiatan pemindahan limbah dari penghasil, pengumpul, pengolah ke pengumpul lainnya atau kepada pengguna limbah
5. Pemanfaatan: kegiatan perolehan kembali (recovery) atau penggunaan kembali (reuse) melalui proses daur ulang (recycle), bertujuan mengubah limbah menjadi produk yang dapat memperlambat pembentukan limbah atau penggunaan pada bentuk lain yang aman terhadap lingkungan dan kesehatan manusia
6. Pengolahan: proses mengubah karakteristik dan komposisi limbah dengan cara menghilangkan atau mengurangi sifat bahaya dan atau daya racun dari limbah
7. Penimbunan: kegiatan menempatkan limbah pada fasilitas penimbunan yang telah diisolasi, sehingga dijamin tidak membahayakan kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan hidup

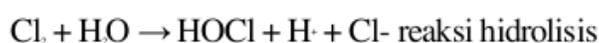
Pengolahan limbah sebagaimana di atas. Diharapkan rantai dan siklus serta proses perjalanan limbah sejak mulai dihasilkan sampai tahap penimbunan akhir harus dapat diawasi oleh pihak yang berwenang dan terkait. Proses

perjalanan limbah dari satu tahap ke tahapan berikutnya dikendalikan oleh sistem manifest dalam bentuk dokumen limbah. Penerapan sistem manifest bertujuan mengetahui berapa jumlah limbah yang dihasilkan, berapa yang telah sudah masuk proses pengolahan, proses penimbunan tahap akhir, dan semua tahapan dari proses tersebut harus memiliki persyaratan lingkungan (Salimin and Nurifitriyani, 2013; Marzuki et al., 2020).

Khusus pada pengolahan limbah cair yang umum dan sering dilakukan adalah pengendapan material terlarut (presipitasi), desinfeksi, koagulasi (destabilisasi) koloid, oksidasi dan ion exchange. Proses desinfeksi dilakukan apabila diinginkan penghambatan pertumbuhan mikroorganisme pada saluran-saluran pipa atau pada pengaliran limbah khususnya pada industri makanan dan minuman, sedangkan pada proses presipitasi limbah untuk tujuan pelunakan air, penghilangan zat besi, penghilangan ion terlarut misalnya ion fosfat, sulfat dan lainnya termasuk logam berat. Perlakuan destabilisasi atau metode koagulasi dilakukan untuk tujuan penangkapan partikel koloid melalui penambahan bahan kimia, sehingga terbentuk gumpalan dan akhirnya lapisan yang semakin berat sehingga mudah diendapkan.

Partikel koloid umumnya ada pada hampir setiap badan air termasuk pada air minum yang telah melalui proses produksi. Proses oksidasi kimia terhadap limbah dilakukan untuk tujuan pemecahan atau menghilangkan ion-ion seperti Fe^{2+} , Mn^{2+} , CN^- dan jenis ion lainnya. Proses ini dilakukan dengan cara klorinasi atau bisa juga ozonisasi, namun pada proses ozonisasi juga bertujuan untuk mengubah limbah agar memiliki masa simpan yang lebih lama pada tempat penampungan sementara, sehingga tidak memberi beban dan tekanan potensi pencemaran pada lingkungan (Tareqila and Supriyanto, 2017).

Metode desinfeksi yang dapat dilakukan terhadap limbah adalah dengan penambahan zat kimia, penggunaan material fisik seperti pemanasan dan pencahayaan, proses mekanik dan juga dengan cara proses elektromagnetik, cara akustik dan mungkin dengan cara radiasi. Pada metode klorinasi dilakukan dengan menambahkan Cl_2 dalam bentuk gas ke dalam badan limbah, sehingga terjadi reaksi ClO_2 , NaOCl , Ca(OCl)_2 . Ada dua reaksi yang terjadi jika gas klor (Cl_2) ditambahkan dalam badan air limbah, yaitu:



8.4 Chemical Oxygen Demand (COD)

Limbah cair umumnya dibagi dalam dua kelompok, yakni limbah cair yang mengandung material organik dan limbah cair material anorganik, namun tidak jarang ditemukan limbah cair yang mengandung kedua macam material tersebut bahkan terdapat limbah cair yang menghasilkan gas. Karakterisasi limbah cair umumnya dilakukan dengan tiga metode yakni fisika, kimia dan biologi. Sifat fisika limbah cair umumnya mengandung material-material padatan total, kekeruhan, suhu, bau, serta warna, di mana point-point tersebut juga menjadi parameter tertentu yang dipenuhi untuk menilai pemenuhan persyaratan fisika suatu limbah cair yang dikatakan aman baik terhadap kesehatan manusia maupun terhadap lingkungan (Sari, 2017).

Sifat biologis limbah cair dilihat pada golongan mikroorganisme yang ada dalam badan limbah. Jenis mikroorganisme yang terdapat dalam limbah cair merupakan penentu untuk memilih suatu metode dalam pengolahan limbah. Pemilihan metode pengolahan limbah cair dengan suatu perlakuan tertentu dilakukan sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan yang dipastikan syarat-syarat pembuangan limbah telah terpenuhi, sehingga limbah tersebut tidak menimbulkan masalah atau mengganggu bagi lingkungan penerima limbah termasuk area sekitarnya (Santi, 2015).

Karakterisasi sifat kimia limbah cair menjadi topik khusus yang diuraikan lebih rinci dalam pembahasan ini. Sifat kimia limbah cair didasarkan pada kandungan organik, anorganik dan gas. Karakteristik atau sifat organik limbah dengan melihat parameter BOD, COD, karbohidrat, protein, surfaktans, minyak dan lemak, apakah ada phenol, pestisida dan bahan kimia lainnya yang terkandung dalam limbah tersebut, sedangkan parameter anorganik dan gas dilihat beberapa besaran pH, kadar Klorida, Sulfur, Nitrogen, Fosfor, logam-logam berat, dan untuk besaran parameter kandungan gas limbah cair dengan melihat nilai kandungan DO, H₂S, gas metana (Salimin and Nurifitriyani, 2013).

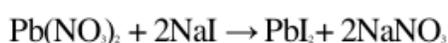
Pada dasarnya pengolahan limbah cair dilakukan dengan beberapa cara: Pengolahan fisika, pengolahan kimia, pengolahan biologis dan kombinasi dua atau tiga pengolahan yang dilakukan baik dengan cara terpisah maupun bersama-sama. Pengolahan limbah secara fisika dilakukan apabila mengandung bahan yang dapat dipisahkan secara mekanis langsung tanpa penambahan bahan kimia atau tanpa melalui penghancuran secara biologis.

Pengolahan secara fisika limbah cair pada umum dilakukan dengan tahapan: Penyaringan (Screening), Grit Chamber, Sieves, Sedimentasi, Equalisasi. Pengolahan tersebut merupakan proses penguraian dengan memisahkan bahan yang tidak diinginkan. Proses pemisahan berjalan dengan mekanisme reaksi kimia atau penambahan zat kimia ke dalam proses, meskipun proses tersebut merupakan bagian dari metode fisika (Rahmah and Asti, 2015).

Pengolahan limbah cair secara kimia meliputi: pengendapan secara kimia, Perpindahan gas, penyerapan atau adsorpsi, desinfeksi, de-klorinasi, sedangkan pengolahan limbah cair secara biologis didasarkan pada kandungan dan aktivitas mikroorganisme dalam kondisi aerobik atau anaerobik ataupun penggunaan jenis organisme air yang bertujuan mengabsorpsi komponen atau zat kimia yang ada dalam limbah. Pengolahan limbah cair secara biologis pada prinsipnya dibedakan dalam tiga model pengolahan, yakni: pengolahan secara aerob, pengolahan secara anaerob dan pengolahan secara fakultatif (Kuncoro and Bimano, 1998)

8.5 Reaksi-reaksi Pengendapan

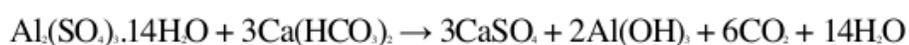
Reaksi pengendapan banyak diterapkan dalam pengolahan limbah khususnya jenis limbah cair. Reaksi pengendapan adalah jenis reaksi kimia yang berlangsung dalam cairan, misalnya air. Suatu reaksi dapat dikatakan reaksi pengendapan jika reaksi menghasilkan suatu endapan. Endapan adalah zat hasil pengendapan berupa padatan yang dihasilkan dan tidak larut kembali dalam cairan tersebut. Senyawa yang biasa digunakan dalam reaksi pengendapan, Umumnya senyawa-senyawa golongan ionik. Contoh reaksi antara timbal nitrat $[Pb(NO_3)_2]$ terlarut yang ditambahkan ke dalam larutan natrium iodida (NaI), terbentuk suatu endapan timbal iodida (PbI_2) berwarna kuning dengan reaksi.



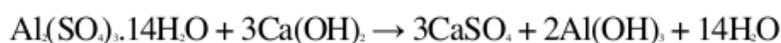
Terbentuknya endapan atau tidak, pada suatu reaksi kimia, tergantung pada kelarutan zat terlarut, umumnya membentuk perbandingan mol yang sama yaitu jumlah maksimum zat terlarut dan larut dalam sejumlah tertentu zat pelarut pada suhu yang sesuai. Kelarutan zat yang mungkin terjadi, yaitu larut, larut sebagian atau tidak larut sama sekali. Pengendapan terjadi jika konsentrasi tertentu senyawa melebihi nilai kelarutannya, sehingga disebut

pengendapan kimia. Kelarutan bahan dalam limbah diartikan sebagai konsentrasi bahan terlarut dalam suatu larutan jenuh pada suhu tertentu. Larutan merupakan campuran homogen bahan yang berlainan. Larutan dibedakan antara larutan dari gas, cairan dan bahan padat dalam cairan. Disamping itu terdapat larutan dalam keadaan padat (misalnya gelas pada pembentukan kristal campuran) (Indrayani, 2018).

Beberapa reaksi pengendapan terhadap limbah cair dapat dicontohkan pada pengendapan limbah dengan menggunakan bahan kimia pengendap seperti alum. Atau aluminium sulfat $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$ adalah salah satu bahan pengendap atau koagulan yang umum digunakan, disebabkan karena harganya relatif murah dan mudah diperoleh. Sifat alkalinitas yang ada di dalam badan air karena mengandung komponen seperti kalium, kalsium, magnesium umumnya bereaksi dengan alum, menghasilkan aluminium hidroksida sesuai dengan persamaan reaksi berikut:

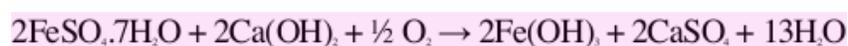


Bila air tidak mengandung sifat alkalinitas untuk bereaksi dengan alum, maka menunjukkan bahwa sifat alkalinitas air perlu ditambah. Biasanya alkalinitas dalam bentuk ion hidroksida ($Ca(OH)_2$). Jika bereaksi dengan alum dalam reaksi



Reaksi pengendapan untuk menurunkan sifat alkali terhadap limbah cair dapat dilakukan dengan penambahan ion karbonat, seperti penggunaan natrium karbonat. Nilai pH optimum untuk reaksi pengendapan yang menggunakan alum dalam range 4,5 - 8,4 (Bangun et al., 2013).

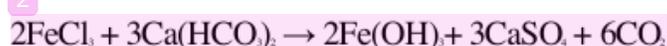
Reaksi pengendapan lainnya untuk menurunkan atau menghilangkan sifat alkali pada limbah cair agar pada saat dibuang ke lingkungan tidak menimbulkan masalah dengan mikroorganisme tanah atau lingkungan penampungan dan sekitarnya dapat dilakukan dengan menggunakan Ferrous Sulfate ($FeSO_4$). Kalsium hidroksida $Ca(OH)_2$ dan natrium hidroksida ($NaOH$) biasanya ditambahkan untuk tujuan meningkatkan nilai pH sampai titik tertentu. Ion Fe^{+2} diendapkan sebagai $Fe(OH)_3$ (Fitriyanti, 2017).



Reaksi di atas dapat berlangsung apabila nilai pH ditingkatkan menjadi 7.0 sampai dengan pH maksimum 9,5. Ferrous sulfat juga dapat digunakan pada reaksinya dengan klorin. Reaksi ini terjadi pada nilai pH relatif rendah sekitar



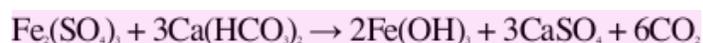
Reaksi pengendapan lainnya yang dapat diterapkan dalam pengolahan limbah cair adalah penggunaan *ferric chloride* dan *ferric Sulfate*. Reaksi sederhana ferric chloride untuk menurunkan sifat alkalis atau menghilangkan total alkalinitas bikarbonat (Andaka, 2008).



Jika alkalinitas tidak cukup untuk membentuk reaksi maka dapat ditambahkan dengan kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan reaksi



Reaksi pengendapan ferric sulfate dengan alkalinitas bikarbonat alam membentuk ferric hydroxide



Beberapa contoh reaksi alkalinitas di atas sering dilakukan dalam masyarakat untuk menyiapkan air memenuhi syarat untuk aktivitas MCK (Santi, 2015).

8.6 Koagulasi dan Flokulasi

8.6.1 Penentuan Kekeruhan Air Limbah

Air limbah adalah air tidak bersih karena mengandung berbagai komponen atau zat yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan makhluk hidup. Mengetahui lebih luas tentang air limbah, perlu dilakukan karakterisasi untuk mengetahui sifat, komponen, jenis zat kandungan apa saja yang ada di dalam air limbah. Tercemar atau tidaknya air limbah dipengaruhi oleh sifat fisik yang dapat diamati secara visual karena memiliki efek estetika, kejernihan, warna, bau dan temperatur pada air limbah. Air limbah umumnya mengandung zat organik, namun mudah terurai (degradable). Zat organik dalam air limbah bermanfaat sebagai sumber makanan dan media yang baik pertumbuhan mikroorganisme air untuk tujuan tertentu.

Zat organik dalam air limbah berdampak pada kekeruhan (turbiditas) air tersebut. Turbiditas air disebabkan oleh zat atau partikulat yang tersuspensi dalam air, seperti lumpur, plankton, fitoplankton, zat organik dan zat halus lainnya menyerupai koloid. Menentukan nilai turbiditas air atau tingkat kekerasannya ditentukan dengan metode Nefelometrik, Hellige turbidimetri (kekeruhan silika), Metode visual atau kekeruhan Jackson (candle turbidity meter) dan metode spektrofotometri (Salimin and Nurifitriyani, 2013)

Metode yang umum digunakan pada beberapa pengolahan air dalam menentukan tingkat kekeruhan adalah metode nefelometri dengan nilai satuan NTU (Nephelometric Turbidity Units). Prinsip analisisnya adalah pengukuran intensitas cahaya dihamburkan oleh partikel yang ada di dalam badan air limbah yang diukur. Semakin tinggi intensitas cahaya yang dihamburkan semakin tinggi pula turbidity atau kekeruhannya. Larutan yang digunakan sebagai pembanding pada metode Nefelometri adalah larutan suspensi polimer formazin disingkat FTU (Formazin Turbidity Units). Beberapa gangguan yang biasa terjadi pada pengukuran kekeruhan air limbah dengan metode Nefelometri adalah: warna sampel dapat memengaruhi nilai kekeruhan, disebabkan adanya penyerapan cahaya sehingga nilai turbiditasnya akan turun (Moelyo, 2012; Handoko et al., 2013).

8.6.2 Koagulasi Air Limbah

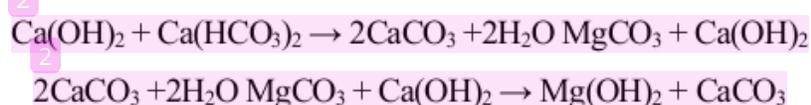
Koagulasi adalah proses destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi termasuk bakteri dan virus, dengan suatu koagulan. sehingga terbentuk flok halus yang dapat diendapkan. Pengadukan cepat (flash mixing) merupakan bagian integral dari proses koagulasi. Tujuan pengadukan adalah untuk mempercepat dan menyeragamkan penyebaran zat kimia melalui air yang diolah. Koagulan yang umum dipakai adalah aluminium sulfat, feri sulfat, fero sulfat dan PA. Koagulasi dan flokulasi adalah jenis proses kimia yang dapat digunakan untuk menghilangkan bahan cemaran yang tersuspensi atau bentuk koloid yang ada dalam badan air, partikel koloid ini tidak dapat mengendap dan sulit ditangani dengan perlakuan fisika (Amanda, Marufi and Moelyaningrum, 2019).

Metode koagulasi terhadap air limbah yang diolah dilakukan dengan mencampurkan dalam wadah, kemudian dilakukan pengadukan cepat agar diperoleh campuran distribusi homogen koagulan sehingga proses pembentukan gumpalan atau flok dapat terjadi secara merata. Tahap selanjutnya adalah proses flokulasi yang dilakukan setelah proses koagulasi, di

2 mana pada proses koagulasi partikel koloid membentuk flok-flok lembut, kemudian disatukan melalui proses flokulasi. Kestabilan partikel koloid dapat terjadi apabila elektrolit yang ditambahkan diserap oleh partikel koloid, sehingga muatan partikel menjadi netral (Anami, Maslahat and Arrisujaya, 2020).

Proses selanjutnya 2 adalah penetralan muatan partikel oleh koagulan dengan cara peningkatan muatan partikel pada konsentrasi cukup kuat agar terjadi gaya tarik menarik antar partikel koloid. Proses flokulasi berlangsung dengan pengadukan lambat agar campuran dapat membentuk flok yang berukuran lebih besar agar mudah diendapkan. Efektivitas proses koagulasi tergantung konsentrasi serta jenis koagulan dan flokulan, pH dan temperatur selama proses koagulasi berlangsung. Proses pengikatan partikel koloid oleh koagulan sangat penting ketika menggunakan koagulan logam seperti alum dan ferric chloride (Santi, 2015).

Penerapan dosis koagulan untuk partikel koloid dapat dilihat pada salah satu reaksi dasar di bawah.



8.6.3 Flokulasi Air Limbah

2 Flokulasi merupakan proses pembentukan flok. Pembentukan flok pada dasarnya merupakan pengelompokan atau aglomerasi antara partikel dengan koagulan, umumnya menggunakan proses pengadukan lambat (slow mixing). Flokulasi berarti terjadi penggabungan beberapa partikel koloid menjadi flok yang berukuran besar, sehingga partikel berukuran 2 besar agar mudah diendapkan. Tujuan dilakukan flokulasi pada air limbah adalah: meningkatkan penyisihan suspended Solid (SS) dan BOD dari pengolahan fisik, memperlancar proses conditioning air limbah, khususnya limbah industri, meningkatkan kinerja secondary clarifier pada lumpur aktif dan sebagai perlakuan awal untuk proses pembentukan secondary effluent dalam filtrasi (Salimin and Nurifitriyani, 2013).

2 Penerapan dosis flokulan tidak berubah baik untuk koagulasi koloid atau untuk menambah koagulasi menggunakan logam. Penetapan dosis flokulan pada prinsipnya juga untuk menghindari pembentukan zat inert. Flokulator terdiri atas beberapa tipe, yakni: tipe flokulator typical mixing Times, flokulasi

partikel koloid Paddle Mixers, flokulasi untuk partikel koloid Turbine Mixers, flokulasi partikel koloid pada air limbah industri. Penggunaan koagulan logam, misalnya aluminium dan garam besi secara umum diharapkan dapat mendekolorisasi air limbah dengan kandungan komponen-komponen organik. Flokulasi merupakan aglomerasi dari partikel yang terdestabilisasi dari tahap koloid menjadi partikel terendapkan.

Metode pemilihan jenis koagulan dan flokulan dilakukan dengan metode penapisan rancangan Taguchi. Jika koagulan direaksikan dengan air limbah, partikel-partikel koloid yang terdapat dalam limbah tersebut akan membentuk susunan agregasi atau penggabungan partikel kecil untuk membentuk gumpalan partikel yang lebih besar, disebabkan karena ada perbedaan muatan antara partikel koloid dengan koagulan. Proses koagulasi kadang-kadang belum memadai untuk mengendapkan hingga terbentuk agregat tersebut secara cepat, sehingga terkadang dilakukan penambahan polimer diharapkan memberi pengaruh pada kestabilan molekul dari agregat yang terbentuk (Rahmah and Asti, 2015).

Jika molekul dalam keadaan tidak stabil, biasanya polimer dengan mudah membentuk ikatan dengan agregat dan selanjutnya membentuk agregasi baru yang kita sebut dengan flok. Flok tersebut diharapkan dapat saling bergabung satu dengan lainnya membentuk flok lebih besar melalui proses koagulasi. Flok yang terbentuk mempunyai berat molekul yang lebih besar dibandingkan molekul air sebagai akibat dari penambahan polimer, sehingga flok tersebut akan dengan mudah mengendap di bagian dasar. Pada keadaan yang spesifik juga dimungkinkan penambahan bahan kimia tertentu untuk memberikan efek tarik menarik, sehingga pembentukan koagulan dapat berjalan lebih cepat. Pada kasus spesifik seperti ini sering dilakukan pada produk hasil pengolahan minyak bumi menjadi bahan bakar pada depo atau tangki penampungan atau dilakukan pada bahan bakar yang diangkut oleh kapal-kapal tanker. Bahan kimia yang dapat ditambahkan harus memiliki persyaratan khusus tidak menimbulkan reaksi apapun dengan bahan bakar dan tidak memberi efek perubahan struktur dan sifat dari bahan bakar (Handoko et al., 2013).

8.7 Pengendapan Kimia

Pengolahan limbah secara kimia umumnya melalui pengendapan, di mana penguraian, pemisahan atau ekstraksi material yang tidak diinginkan dalam

16
badan limbah dapat berlangsung dengan adanya mekanisme reaksi kimia (penambahan bahan kimia ke dalam proses). Pengolahan secara biologi juga pada prinsipnya menerapkan sistem pengolahan dengan cara kimia, meskipun mekanisme atau proses yang terjadi terhadap limbah berbeda, karena pada pengolahan secara biologi merupakan sistem pengolahan yang didasarkan pada aktivitas suatu mikroorganisme pada limbah cair dengan kondisi aerobik atau anaerobik ataupun penggunaan organisme air untuk mengabsorpsi senyawa kimia dalam limbah cair. Metode yang juga dapat dilakukan dalam pengolahan limbah adalah pencampuran yang dilakukan jika proses merupakan kombinasi dengan penambahan bahan kimia dengan menggunakan hidrolis air atau tangki. Pembentukan gumpalan untuk memperbesar ukuran partikel tak terlarut adalah prinsip dari pengendapan kimia, yang bertujuan menjadikan partikel menjadi lebih berat dan mudah mengendap pada bagian dasar dasar, sehingga pemisahan padatan tidak terlarut lebih mudah melalui proses dan tahap berikutnya (pengendapan) (Bangun et al., 2013).

Pengendapan (sedimentasi) komponen dalam badan limbah yang tidak diinginkan melalui pemisahan partikel-partikel tersuspensi yang lebih berat dari air, dimaksudkan agar komponen atau material pengotor limbah lebih mudah mengendap menggunakan gaya beratnya sendiri (gaya gravitasi). Terdapat tahapan pengapungan (flotation) untuk pemisahan partikulat dari air. Proses ini diperlukan jika densitas partikulat lebih kecil dibanding densitas air sehingga partikulat tersebut cenderung mengapung, untuk itu perlu dilakukan penambahan gaya ke atas dengan mengisi udara ke dalam badan limbah cair tersebut. Sebagai contoh pada proses pemisahan lemak dan minyak (Salimin and Nurifitriyani, 2013; Marzuki, 2010).

16
Tahapan penyaringan atau pemisahan (filtration), proses pengolahan limbah yang terlihat masih mengandung zat-zat tersuspensi melalui suatu media seperti pasir atau kerikil dalam ukuran tertentu.

Pengolahan secara kimia dengan tahapan-tahapan meliputi:

1. Pengendapan secara kimia, yaitu pengolahan dengan menambahkan bahan kimia pengendap, biasanya menggunakan alum ferrous sulfate bertujuan untuk mengubah bentuk fisik padatan yang tersuspensi tersuspensi, agar mudah dipisahkan

2. Perpindahan gas adalah proses perpindahan kontaminan dari fase gas ke fase lain, biasanya ke fase cair, misalnya pada proses aerob dengan menggunakan aerator
3. Adsorpsi merupakan proses pengambilan atau penyerapan suatu bahan terlarut di antara dua permukaan dari dalam larutan, misalnya dengan menggunakan karbon aktif
4. Desinfeksi yaitu dengan menambahkan bahan kimia seperti chlorine, dengan pemanasan, radiasi, bertujuan untuk menghambat aktivitas organisme patogen.
5. De-klorinasi yaitu penghilangan sisa chlorine setelah proses klorinasi selesai, dilakukan juga dengan menggunakan karbon aktif atau sodium sulfit.

Total padatan terlarut atau (Total Suspended Solid) disingkat TSS adalah total padatan yang tersuspensi, yaitu padatan yang menyebabkan kekeruhan kekeruhan badan air. Padatan ini tidak larut dan tidak mengendap langsung. Partikel ini adalah dalam air melakukan gerakan-gerakan acak, namun tidak mengendap dengan sendirinya. Oksigen terlarut (Dissolved Oxygen) disingkat DO adalah banyaknya oksigen terkandung di dalam badan air dan ditentukan dengan menggunakan satuan mg/l (Rahmah and Asti, 2015). Oksigen terlarut ini digunakan sebagai derajat pengotoran limbah. Semakin besar nilai oksigen terlarut dalam badan air, menunjukkan derajat pengotoran semakin kecil. Lumpur (sludge) adalah jumlah endapan tersisa setelah dilakukan penguapan pada suhu 103-105 °C terhadap air limbah. Lumpur aktif (activated sludge) adalah endapan lumpur yg berasal dari limbah cair yang telah mengalami penyuntikan udara (aerasi) secara teratur. Lumpur ini berguna untuk mempercepat laju proses stabilisasi limbah cair. Umumnya lumpur ini banyak mengandung bakteri pengurai, sehingga baik digunakan untuk menguraikan komponen zat organik yang terdapat dalam badan limbah cair (Moelyo, 2012).

Metode pengendapan kimia lainnya terhadap limbah cair dapat dilakukan dengan suatu metode Gravimetri. Metode Gravimetri merupakan bagian ilmu kimia yang merupakan bagian dari salah satu metode kimia analitik untuk menentukan kuantitas suatu zat atau komponen yang telah diketahui dengan cara mengukur berat komponen dalam keadaan murni setelah melalui proses pemisahan. Analisis gravimetri melalui tahapan atau proses isolasi dan

pengukuran berat suatu unsur atau senyawa tertentu. Metode gravimetri umumnya membutuhkan waktu yang cukup lama (Santi, 2015).

Analisis gravimetri adalah salah satu metode pengendapan secara kimia, namun belum dapat dilakukan untuk limbah pada skala besar. Metode ini berdasarkan pada bobot merupakan proses pengisolasian dan penimbangan suatu unsur atau senyawa tertentu dalam kondisi sempurna mungkin. Analisis gravimetri dapat digunakan pada analisis kadar air. Kadar air bahan bisa ditentukan dengan cara gravimetri evolusi langsung maupun tidak langsung (Marzuki, 2016).

Lain halnya dengan metode pengendapan menggunakan Jartest. Jartest adalah suatu metode dengan rangkaian tes untuk mengevaluasi proses-proses koagulasi dan flokulasi dan untuk tujuan penentuan dosis pemakaian bahan kimia. Tujuan metode Jartest pada pengolahan air bersih atau air limbah dengan proses kimia adalah menentukan kebutuhan bahan kimia yang akan digunakan untuk menurunkan kadar polutan yang ada dalam badan air atau air limbah. Penambahan bahan kimia harus dilakukan dengan cermat sesuai dengan kebutuhan dalam ukuran satuan dosis yang tepat dan bahan kimia yang sesuai serta harus memperhatikan pH limbah air yang akan di proses melalui metode pengendapan kimia. Pada prinsipnya Jartest digunakan untuk mengoptimalkan pengurangan polutan, mengevaluasi koagulan dan flokulan, serta menentukan dosis bahan kimia yang diperlukan dan juga dapat memberikan informasi terkait pH optimal yang sesuai (Rahmah and Asti, 2015; Marzuki et al., 2015).

Metode Jartest dalam industri adalah untuk membentuk koagulasi pada air yang mengandung partikel-partikel koloid dan sulit mengendap dalam waktu singkat. Partikel-partikel koloid tersebut tidak dapat menyatu menjadi partikel yang lebih besar karena pada umumnya partikel-partikel bermuatan listrik yang sama, memiliki kemampuan melakukan gerakan acak, sehingga dibutuhkan penambahan bahan kimia seperti koagulan tertentu dengan dosis tertentu pula untuk tujuan mendestabilkan partikel-partikel koloid tersebut. Koagulasi adalah proses adsorpsi dari koagulan berupa bahan kimia spesifik terhadap partikel koloid sehingga menyebabkan destabilisasi partikel. Proses ini biasa disebut proses netralisasi (Santi, 2015).

Proses koagulasi Jartest bertujuan mencari bahan kimia yang sesuai dengan karakteristik air limbah serta menentukan berapa dosis bahan kimia tersebut yang diperlukan untuk memperoleh hasil yang optimal dalam proses

pengendapan limbah. Proses koagulasi umumnya disertai dengan pengadukan cepat agar terjadi turbulensi yang baik, sehingga bahan kimia dapat menangkap partikel-partikel koloid. Pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu $\pm 40-60$ detik (Bangun et al., 2013).

Material dan Peralatan yang digunakan dalam metode pengendapan kimia untuk air limbah menggunakan Jarrest yang umum dan sering dilakukan di antaranya:

1. Air limbah Turbidity (FTU)
2. Aluminium sulfat dengan kemurnian tinggi
3. Fero sulfat kemurnian 99 %
4. Poly aluminium chloride kemurnian 30 %
5. Flokulan kationik, Polyethylene-Imine dengan kemurnian tinggi
6. Flokulan anionik berupa Polyacrylic acid juga dengan kemurnian tinggi
7. NaOH
8. Air bersih Hardness dalam satuan mg/l (Santi, 2015).

Pada pengendapan Kimia terhadap air limbah dilakukan untuk menentukan kualitas dan efektivitas pengendapan umumnya menggunakan alat analisa Jarrest dengan parameter analisis meliputi: 1) nilai turbidity menggunakan turbidity meter pada panjang gelombang maksimum umumnya di kisaran 890 nm, 2) nilai absorbansi diukur biasanya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang standar yang sering dipakai yakni $\lambda = 600$ nm (Handoko et al., 2013).

Teknik pengambilan sampel untuk analisis air limbah metode pengendapan kimia dengan Jarrest dilakukan dengan cara pengambilan sampel harus dilakukan secara acak. Sampel umumnya diperoleh dari limbah industri dengan jumlah sampling dapat dilakukan setiap hari, mingguan atau menurut pertimbangan tertentu untuk tujuan tertentu pula. Pengambilan sampel air limbah biasanya dilakukan pada empat waktu sampling dengan selang enam jam, yakni pagi (pukul 06-07), siang (pukul 12-13), sore pada pukul 18-19 waktu setempat dan malam hari pukul 23-24. Sampel yang diperoleh dan telah dilabel, selanjutnya dicampurkan dalam suatu wadah agar homogen.

Untuk keperluan satu tahap proses dilakukan pengambilan sampel air limbah sebanyak 60 liter. Pengukuran dan pencatatan sampel ditempat sampling

temperatur, koordinat jika diperlukan, pH, turbidity dan absorbansi. Setelah analisis dengan semua parameter, maka langkah selanjutnya adalah dilakukan interpretasi data. Umumnya data penelitian disajikan dalam bentuk tabel atau diagram serta grafik. Pada analisis ini biasanya dilakukan mengikuti model matematika dengan proses melalui regresi grafik pada kondisi optimum (Hastutiningrum and Purnawan, 2017).

Bab 9

Adsorpsi Pertemuan

9.1 Pendahuluan

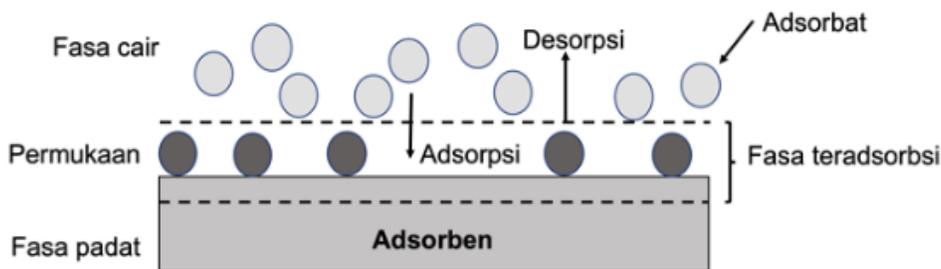
Proses pemisahan merupakan bagian yang terpenting dalam suatu kegiatan industri. Munculnya berbagai permasalahan terkait limbah menjadikan proses pemisahan sangat menarik untuk dikaji lebih dalam. Dalam ilmu kimia, proses pemisahan didefinisikan sebagai proses yang digunakan atau diaplikasikan untuk memperoleh dua atau lebih produk yang lebih murni dari suatu campuran senyawa kimia. Dalam bidang lingkungan, pemisahan digunakan sebagai teknik untuk menurunkan jumlah atau konsentrasi spesies yang bersifat toksik dalam limbah sehingga tidak memberikan dampak buruk dan membahayakan bagi lingkungan.

Beberapa contoh teknik pemisahan yang sering digunakan adalah ekstraksi, kromatografi, destilasi, adsorpsi dsb. Namun demikian, adsorpsi adalah salah satu teknik pemisahan yang paling banyak digunakan baik dalam skala laboratorium, skala rumah tangga bahkan skala industri. Adsorpsi dinilai sebagai teknik pemisahan yang efektif, mudah diaplikasikan, tidak memakan biaya tinggi dan tidak membutuhkan energi yang besar (Sharma, 2017). Oleh sebab itu, adsorpsi banyak diaplikasikan untuk pemurnian limbah cair, gas dan pemurnian air untuk layak konsumsi.

9.2 Definisi Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses transfer fasa yang digunakan untuk menurunkan atau menghilangkan konsentrasi suatu spesies molekul atau ion baik dalam fasa cair atau gas menggunakan suatu zat padat. Proses ini dinilai sangat efektif diaplikasikan dalam skala laboratorium atau industri khususnya dalam teknologi pengolahan air bersih atau limbah cair. Adsorpsi sering diklasifikasikan ke dalam proses penyerapan (adsorption process) yang di dalamnya termasuk ada proses pemisahan kromatografi dan penukaran ion (ion exchange) (Worch, 2012).

Dalam teori adsorpsi, ada dua peran utama yaitu material padatan yang mempunyai permukaan untuk mengadsorpsi atau gugus fungsi untuk mengikat disebut sebagai adsorben. Spesies molekul atau ion yang akan diadsorpsi oleh permukaan adsorben disebut adsorbat. Beberapa parameter dalam fasa cair atau gas (adsorbat) yaitu konsentrasi, pH dan suhu menjadi faktor utama proses adsorpsi dapat berlangsung secara optimal. Perubahan dari ketiga parameter tersebut dapat menyebabkan adsorbat terserap dengan baik oleh permukaan adsorben atau sebaliknya terjadi proses pelepasan adsorbat yang sudah terikat pada permukaan adsorben ke fasa cair atau gas kembali. Proses demikian disebut dengan desorpsi (Gambar 9.1).



Gambar 9.1: Proses adsorpsi dan desorpsi (Worch, 2012)

Proses serapan ion atau molekul melalui proses adsorpsi terjadi ketika adsorbat dalam fasa air atau gas berinteraksi dengan permukaan adsorben akibat adanya interaksi elektronik atau gaya kapilaritas. Terdapat dua jenis penyerapan yang terjadi dalam proses adsorpsi yaitu penyerapan secara fisika di mana adsorbat terjatuh di permukaan adsorben akibat adanya proses difusi atau daya kapilaritas. Sementara penyerapan kimiawi terjadi ketika molekul atau ion terikat pada permukaan adsorben akibat adanya interaksi elektronik terhadap gugus fungsi yang ada pada permukaan adsorben. Dikarenakan proses

adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben, maka luas permukaan menjadi kunci parameter kualitas dari suatu adsorben.

9.3 Tinjauan Termodinamika

Secara termodinamika, suatu sistem digambarkan dengan persamaan matematis di mana energy Gibbs (G) adalah salah satu parameter tinjauan termodinamika. Dalam kaitannya dengan adsorpsi di mana interaksi permukaan, energy Gibbs tidak hanya sebagai fungsi suhu (T), Tekanan (P) dan komposisi dari sistem (mol , n) tetapi juga sebagai fungsi permukaan (A). Sehingga secara matematis dapat ditulis persamaan berikut:

$$dG = -SdT + Vdp + \sum_i \mu_i dn_i + \sigma dA$$

Di mana S adalah entropi, V adalah volume, μ adalah potensial kimia dan σ ada energi bebas permukaan yang dapat ditulis secara matematis sebagai berikut:

$$\sigma = \left(\frac{\sigma G}{\sigma A} \right)_{T,p,n_i}$$

Pada proses adsorpsi energi bebas permukaan adalah selisih dari σ_{ws} (tegangan permukaan antarmuka fasa air dengan fasa padat) dengan σ_{as} (tegangan permukaan pada antarmuka adsorbat dengan permukaan adsorben). Selisih dari w_s dan a_s tergantung dari jumlah adsorben dan didefinisikan sebagai.

$$\sigma_{ws} - \sigma_{as} = \pi > 0$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa panas adsorpsi adalah perubahan energi bebas (energy Gibbs) yang berhubungan langsung dengan perubahan entalpi dan entropi. Secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$\Delta G_{ads} = \Delta H_{ads} - T\Delta S_{ads} < 0$$

Perubahan entropi adsorpsi merupakan perubahan derajat kebebasan system. Khususnya, pergerakan atau imobilisasi adsorbat mengarah ke penurunan derajat kebebasan dari adsorbat atau sistem adsorbent. yang mengindikasikan bahwa perubahan entropi adsorpsi bernilai negative. Berdasarkan persamaan

9.4, jika nilai perubahan entropi negatif maka adsorpsi harusnya terjadi secara eksotermis (ΔH negatif).

Berdasarkan dari nilai entalpi adsorpsi, adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu adsorpsi fisika (physisorption) dan adsorpsi kimiawi (chemisorption). Adsorpsi fisika disebabkan karena adanya gaya Van der Waals (interaksi dipol-dipol, gaya dispersi dan gaya induksi) yang mana termasuk interaksi lemah. Entalpi adsorpsi secara fisika mempunyai nilai dibawah 50 kJ/mol. Adsorpsi kimia terjadi karena adanya interaksi kimiawi adsorbat dengan permukaan adsorbent (interaksi ionic dan kovalen). Interaksi kimiawi ini tergolong interaksi yang kuat di mana entalpi adsorpsi mempunyai nilai diatas 50 kJ/mol (Worch, 2012).

9.4 Adsorpsi Isoterm

Isoterm adsorpsi diperoleh berdasarkan persamaan termodinamika persamaan termodinamika energi bebas Gibbs yang diturunkan dengan mengasumsikan bahwa molekul atau ion adsorbat masuk ke dalam permukaan adsorbent membentuk lapisan adsorbat. Oleh sebab itu menyatunya adsorbat yang teradsorpsi dan sistem adsorben, dan kesetimbangan adsorpsi merupakan kesetimbangan antara sistem dan adsorbat dalam larutan yang kontak dengan sistem (Yang, 2003).

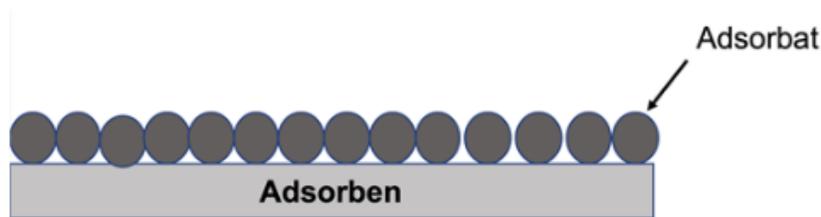
9.4.1 Isoterm Langmuir

Isoterm langmuir merupakan isoterm yang paling banyak digunakan untuk mengolah dan mempresentasikan data hasil proses adsorpsi. Ada beberapa ciri khas proses adsorpsi yang dapat mengikuti persamaan isoterm langmuir:

1. Adsorpsi dari adsorben hanya terjadi satu lapisan saja (monolayer)
2. Semua situs adsorpsi mempunyai energi yang sama dan masing masing situs hanya memfasilitasi satu molekul atau ion adsorbat saja
3. Tidak terjadi interaksi lateral antar molekul atau ion adsorbat

Model Langmuir merupakan model yang paling sederhana dan mudah diaplikasikan sehingga banyak digunakan dalam berbagai bidang industri. Namun model Langmuir ini hanya berasumsi bahwa adsorpsi yang terjadi adalah monolayer, sedangkan di beberapa aplikasi terutama pada proses

adsorpsi secara fisika yang banyak terjadi adalah adsorpsi multilayer (Tien, 2019).



Gambar 9.2: Adsorpsi satu lapis (monolayer)

Secara matematis, persamaan isoterm langmuir dapat dituliskan sebagai berikut:

$$q_e = \frac{Q_m k_L C_e}{1 + k_L C_e}$$

diperoleh bentuk linear sebagai berikut:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{Q_m} + \frac{1}{k_L Q_m}$$

Di mana q_e dan C_e adalah jumlah ion atau molekul adsorbat dan konsentrasi ion atau molekul adsorbat pada saat setimbang, Q_m dan k_L adalah konstanta Langmuir yang mengindikasikan kapasitas maksimum adsorpsi dan energi adsorpsi. Dalam menentukan pola adsorpsi isoterm Langmuir dari data adsorpsi dapat dibuat grafik, linear C_e/q_e terhadap C_e . Konstanta Langmuir dapat diperoleh melalui intersep dan kemiringan dari persamaan linear (4) (Langmuir, 1918).

9.4.2 Isoterm Freundlich

Isoterm freundlich sama dengan isoterm Langmuir di mana model isoterm ini sering dipakai sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan pola isoterm adsorpsi. Namun demikian, tidak sedikit proses adsorpsi mengikuti isoterm freundlich. Secara matematis, persamaan isoterm langmuir dapat dituliskan sebagai berikut:

$$q_e = k_F C_e^{1/n}$$

diperoleh bentuk linear sebagai berikut:

$$\log q_e = \log k_F + \frac{1}{n} \log C_e$$

k_F dan n adalah konstanta Freundlich yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi dan intensitas adsorpsi. Konstanta ini dapat dihitung dari kemiringan dan intersep grafik persamaan linear $\log q_e$ terhadap $\log C_e$ (Freundlich, 1908).

9.4.3 Isoterm BET (Brunauer-Emmet-Teller)

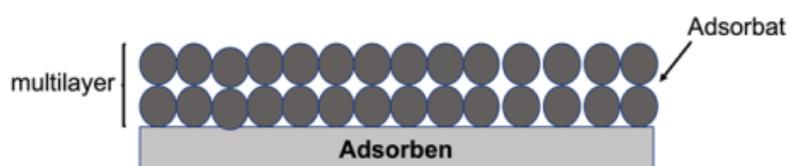
Model BET merupakan pengembangan dari model *isoterm langmuir*. Hal ini dikarenakan pada model *isoterm langmuir* masih ditemukan kekurangan yaitu adsorpsi terjadi hanya membentuk satu lapisan pada permukaan adsorben (monolayer). Namun demikian, kenyataannya bahwa secara fisika, adsorpsi tidak terjadi secara monolayer melainkan multilayer. Sehingga model isoterm BET ini dapat menyempurnakan dan merepresentasikan model adsorpsi secara fisika yang terjadi secara multilayer (Gambar 9.3).

Teori BET ini merupakan adsorpsi fisika yang termasuk dalam isoterm tipe II-V monolayer, sehingga isoterm adsorpsi BET dapat diaplikasikan untuk adsorpsi multilayer (Tien, 2019). Isoterm adsorpsi BET dapat dinyatakan dengan persamaan 9.9. Keseluruhan proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai:

1. Penempelan molekul pada permukaan padatan (adsorben) membentuk lapisan monolayer
2. Penempelan molekul pada lapisan monolayer membentuk lapisan multilayer

$$\theta = \frac{n}{n_m} = \frac{cz}{(1-z)(1-z+cz)}$$

Di mana c adalah konstanta, n dan n_m adalah jumlah mol gas teradsorpsi per satuan massa adsorben dan jumlah mol gas yang diperlukan untuk membentuk lapisan monolayer serta z adalah P/P_0 , yang mana P_0 adalah tekanan murni adsorbat.



Gambar 9.3: Adsorpsi berlapis (multilayer)

9.5 Adsorben dan Karakterisasinya

9.5.1 Definisi adsorben dan jenis adsorben

Adsorben didefinisikan sebagai zat padat atau padatan yang digunakan untuk menyerap adsorbat molekul atau ion dalam fasa cair atau gas pada proses adsorpsi. Karakter fisik menjadi bagian paling penting suatu adsorben dapat digunakan untuk proses adsorpsi dari pada karakter kimia. Karakteristik adsorben meliputi volume pori, luas permukaan dan distribusi ukuran pori.

Berdasarkan struktur dan karakteristik air, adsorben dibedakan menjadi dua yaitu hidrofilik dan hidrofobik. Adsorben yang termasuk dalam kategori hidrofilik adalah karbon aktif, polimer seperti resin dan silikat. Sementara jenis hidrofobik di dalamnya termasuk silica gel, alumina dan zeolit. Selain itu IUPAC juga telah mengklasifikasikan adsorben berdasarkan ukuran diameter pori. Pengklasifikasian adsorben berdasarkan diameter ukuran pori dibedakan menjadi 3 yaitu mesopori, mikropori dan makropori (Dermawan, 2008). Tabel 1 merupakan hasil pengklasifikasian adsorben yang dilakukan oleh IUPAC.

Tabel 9.1: Kalsifikasi adsorben berdasarkan diameter pori

Tipe	Diameter pori (ω)
Mikropori	$\omega < 2$ nm
Mesopori	$2 \text{ nm} < \omega < 50$ nm
Makropori	$\omega > 50$ nm

Pemilihan adsorben menjadi kunci utama keberhasilan dalam proses adsorpsi. Hal yang menjadi utama sebagai pertimbangan dalam pemilihan adsorben adalah kesetimbangan isotherm. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam memilih kesetimbangan isotherm adsorben yaitu komponen campuran

khususnya gas, temperatur dan tekanan operasi (Dermawan, 2008). Adapun faktor-faktor yang memengaruhi penggunaan adsorben dalam suatu proses adsorpsi, yaitu:

1. Kapasitas adsorben, pada rentang temperatur dan tekanan operasi
2. Metode regresi dari adsorben
3. Kemurnian produk yang diinginkan.
4. Temperatur aktivasi dan regenerasi adsorben.

9.5.2 Adsorben alam

Karbon aktif

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang terbuat dari bahan alam seperti kayu, arang, dan tempurung kelapa. Terdapat tiga langkah yang dibutuhkan untuk membuat karbon aktif yaitu preparasi bahan dasar, karbonisasi pada suhu rendah dan aktivasi. Aktivasi merupakan bagian terpenting dari proses pembuatan karbon aktif. Hal ini dikarenakan pada proses aktivasi ini terjadi pengaturan distribusi pori karbon sehingga dapat tercapai distribusi pori yang diinginkan.

Ada dua metode yang digunakan untuk aktivasi karbon aktif yaitu gasifikasi dan bahan kimia. Proses aktivasi secara gasifikasi melibatkan gas untuk mengatur pendistribusian ukuran pori karbon. Gas digunakan pada tahap awal bertujuan untuk menghilangkan bagian-bagian pengotor bahan dasar yang bersifat volatil pada suhu 400-500 °C. Pada tahap kedua, gas terlibat kembali secara parsial bertujuan untuk menaikkan porositas dan luas permukaan pada suhu 800-1000 °C. Pada proses gasifikasi ini, gas yang biasa digunakan adalah karbon dioksida dan oksigen sebagai gas katalis.

Metode aktivasi kedua yaitu dengan melibatkan bahan kimia. Peran dari bahan kimia disini bertujuan untuk mendegradasi, menghilangkan dan mendehidrasi bahan dasar selulotik. Bahan dasar yang biasanya digunakan pada metode aktivasi bahan kimia adalah lignin yaitu dari serbuk kayu. Bahan dasar akan dicampur dengan aktivator bahan kimia seperti asam fosfat, seng klorida, kalium sulfida dan kalium tiosianat yang kemudian dikarbonisasi pada temperatur 500-900 °C. Sisa bahan kimia yang tercampur, dihilangkan dengan pencucian menggunakan air dan asam (Dermawan, 2008).

Karbon aktif termasuk adsorben yang memiliki luas permukaan yang paling besar jika dibandingkan dengan adsorben lainnya. Luas permukaan karbon

aktif teramati 300 sampai 4000 m²/g. Karbon aktif banyak digunakan pada proses pemurnian air, gas dan penghilangan zat warna (Ghaedi, 2014 dan Karanfil, 2006).

Zeolit alam

Zeolit merupakan kristal berpori yang paling utama tersusun oleh mineral silika dan alumina yang membentuk struktur tetrahedral. Adanya rongga yang terbentuk dari susunan tetrahedral silika dan alumina menjadi ciri khas dari zeolit. Tiap struktur tetrahedral memiliki 4 anion oksigen dengan kation alumina atau silika ditengahnya. Akibat adanya substitusi silika dan alumina, zeolit memiliki situs asam bronsted yang dapat mendonorkan proton yang digunakan untuk proses adsorpsi melalui pertukaran ion atau proses katalis. Zeolit memiliki pori-pori berukuran molekular sehingga mampu menyaring dan memisahkan molekul dengan ukuran tertentu.

Zeolit secara alami terbentuk dari batuan vulkanik yang mengandung banyak mineral dan bahan organik lainnya. Oleh sebab itu, perlu dilakukan aktivasi terhadap zeolit sebelum digunakan sebagai adsorben. Metode aktivasi zeolit terdapat dua jenis yaitu secara bahan kimia dan secara fisik atau pemanasan. Aktivasi secara kimiawi dilakukan dengan menggunakan larutan asam atau basa. Hal ini bertujuan untuk melarutkan pengotor organik yang mana pengotor asam akan larut dan hilang dengan basa dan sebaliknya pengotor yang bersifat basa akan larut dan hilang dengan larutan asam. Metode aktivasi secara fisik atau pemanasan dilakukan dengan memanaskan zeolit pada suhu 300-600 °C (Dermawan, 2008). Hal ini bertujuan untuk menghilangkan molekul air dan mendegradasi pengotor senyawa organik yang terjatrat di dalam pori-pori zeolit sehingga pori-pori zeolit akan lebih terbuka.

Biomasa (Biopolimer)

Biomasa atau yang lebih umum dikenal dengan biopolimer adalah polimer dari bahan alam yang biasanya diperoleh dari limbah bahan organik seperti kertas, kayu dan hasil pertanian (selulosa). Umumnya golongan biomassa yang sering digunakan sebagai adsorben adalah golongan polifenolik seperti tanin (Wang, 2005). Biopolimer dilakukan preparasi sederhana untuk dapat dilakukan aplikasi secara langsung proses adsorpsi dengan cara pencucian menggunakan lauran asam atau basa. Namun untuk meningkatkan efektivitas adasorben maka dilakukan preparasi lebih lanjut yaitu salah satunya dengan cara *cross linking* menggunakan asam sulfat (Dan, 2019). *Cross linking* ini digunakan untuk meningkatkan rigiditas dari biopolimer sehingga material

biopolimer akan tahan dalam kondisi pH tinggi dan rendah. Sehingga biopolimer sangat efektif digunakan untuk proses adsorpsi ion logam berat maupun logam mulia dalam fasa air.

9.5.3 Adsorben sintesis

Oksida logam

Oksida logam merupakan padatan kristal yang mengandung kation logam dan anion oksida. Permukaan oksida logam menjadi bagian paling penting agar terjadi interaksi efektif dengan target suatu molekul. Kemajuan terkini di bidang nanoteknologi membuka kemungkinan baru aplikasi metal oksida. Salah satu keuntungan mereduksi ukuran oksida logam menjadi skala nano yaitu dapat meningkatkan luas permukaan. Hal inilah yang menyebabkan oksida logam dapat digunakan sebagai adsorben.

Beberapa contoh oksida logam yang sering digunakan sebagai adsorben adalah Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan MnO_2 . Alumina oksida (Al_2O_3) atau yang lebih dikenal dengan alumina teraktivasi merupakan oksida logam yang disintesis dari dehidrasi termal aluminium hidroksida (Ravenscroft, 2009). Alumina oksida mempunyai luas permukaan 200 m^2/g serta memiliki ukuran pori beragam yaitu makro dan mikropori. Al_2O_3 merupakan golongan adsorbent murah bahkan lebih ekonomis dibandingkan membran pemisahan sehingga banyak diaplikasikan untuk adsorben logam beracun arsenik (Dambies, 2005).

Besi oksida salah satu contoh adsorben oksida logam yang digunakan untuk pemurnian air (Ren, 2011). Adsorben ini termasuk material adsorben ekonomis dan ramah lingkungan. Besi hidroksida dan oksida Fe^{3+} adalah salah satu oksida besi yang sangat populer digunakan untuk adsorpsi logam arsenik (Su, 2001). Mekanisme besi oksida dalam mengadsorpsi logam arsen yaitu dengan membentuk kompleks yang stabil dengan ion arsenik pada permukaan besi oksida (Oscarson, 1981).

Oksida logam lainnya yang dapat digunakan sebagai adsorben logam beracun dalam mangan dioksida (MnO_2). Oksida logam ini sudah lebih dari 75 tahun digunakan untuk pengolahan air serta sangat efektif digunakan sebagai adsorben ion logam besi, mangan dan arsenik pada pH 5-9 (Gladysz-Plaska, 2017). MnO_2 mengadsorpsi ion arsenik melalui mekanisme reaksi reduksi oksidasi (redoks). MnO_2 mengoksidasi arsenik menjadi H_3AsO_4 dengan mentransfer oksigen kemudian membentuk lapisan pada permukaan MnO_2

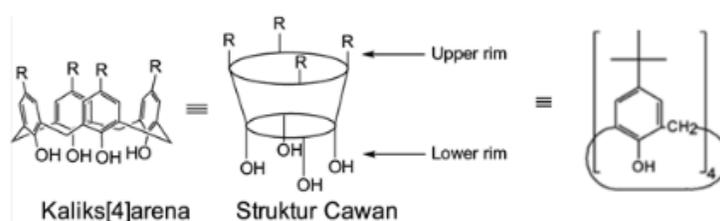
(Oscarson dkk, 1982). Ada lima tahap reaksi yang dilalui oleh MnO_2 dalam mengadsorpsi ion logam arsenik dalam air (Gambar 9.4).



Gambar 9.4: Tahap reaksi oksidasi reduksi arsenik oleh MnO_2 (Oscarson, 1982)

Supramolekular organik

Supramolekul adalah kumpulan dua atau lebih molekul yang membentuk satu “spesies” melalui interaksi antar molekul dengan ikatan non kovalen (ikatan hidrogen, interaksi π - π , Van der Waals, dsb.). Senyawa supramolekul organik adalah senyawa supramolekul yang umumnya tersusun dari atom C, H, O, N dan atau S yang termasuk di dalamnya adalah kaliksarena, kaliksresorsinarena dan kalikspirogalolarena.

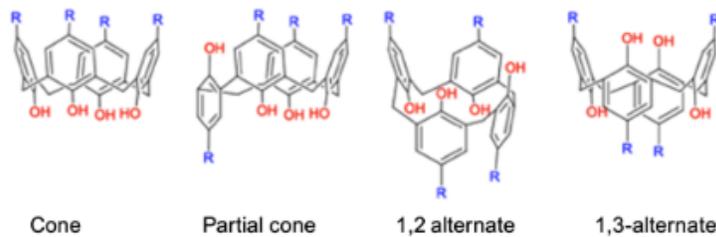


Gambar 9.5: Struktur 3 dimensi dan 2 dimensi kaliksarena

Kaliksarena adalah senyawa makrosiklik berbentuk 3 dimensi seperti cawan yang memiliki gugus hidroksil pada bagian bawah (lower rim) serta gugus alkil pada bagian atas (upper rim) (Gambar 9.5) (Gutsche, 1989). Kaliksresorsinarena dan Kalikspirogalolarena merupakan anggota makrosiklik kaliksarena yang berbentuk cawan dengan gugus hidroksil pada bagian atas yang dapat membentuk ikatan hidrogen.

Senyawa kaliks memiliki 4 konformasi yaitu cone, partial cone, 1,3 alternate dan 1,4 alternate (Gambar 9.6) (Gutsche, 1989). Konformasi kaliksarena bersifat fleksibel sehingga mudah untuk dilakukan modifikasi gugus fungsi yang dapat disesuaikan dengan tujuan aplikasinya (Jumina, 2019). Gugus fungsi tersebut menyebabkan senyawa kaliks banyak diaplikasikan untuk

penyerapan atau pemisahan molekul atau ion. beberapa ion logam berat seperti Cu(II), Cr(III), Pb(II) yang sangat beracun di lingkungan dapat diadsorpsi atau dihilangkan secara efektif oleh kaliksresorarena dan kalikspirogalolarena (Jumina, 2019 dan Jumina, 2020).



Gambar 9.6: Konformasi kaliksarena (Espanol, 2019)

Resin

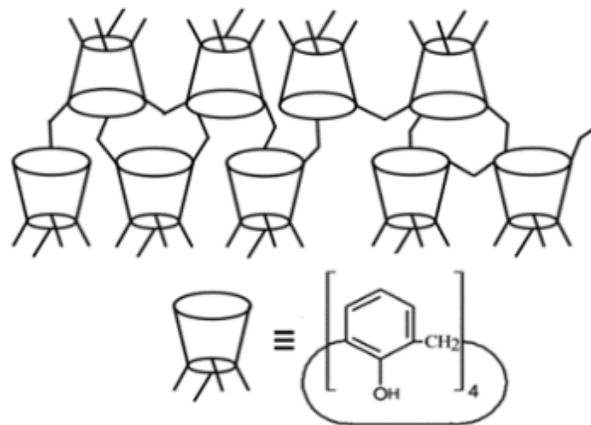
Resin merupakan makroporus polimer sintesis yang digunakan sebagai adsorben pada bidang pertanian, industri farmasi dan lingkungan. Resin dinilai sangat efektif mengurangi konsentrasi dan jumlah polutan dalam perairan atau gas dengan melalui mekanisme adsorpsi fisika, adsorpsi kimia atau pertukaran ion. Beberapa contoh resin komersial yang sudah banyak diaplikasikan sebagai adsorben yaitu amberlite, tulsion A-23, Lewatit Monoplus MP 800, dan resin basa lemah Guanidine.

Resin dapat digunakan sebagai adsorben dikarenakan terdapat gugus fungsi sebagai situs aktif untuk berinteraksi dengan adsorbat. Berdasarkan gugus fungsi yang terikat, resin digolongkan menjadi 2 jenis yaitu resin kation dan anion. Resin penukar kation mengandung gugus fungsi seperti sulfonat ($-\text{SO}_3\text{H}$), fosfat ($-\text{PO}_3\text{H}_2$), fenolat ($-\text{OH}$), atau karboksilat ($-\text{COOH}$). Gugus fungsi pada resin penukar ion asam kuat adalah asam kuat seperti sulfonat, fosfat, atau fenolat, dan gugus fungsi pada resin penukar asam lemah adalah karboksilat. Gugus fungsi pada resin penukar anion adalah senyawa amina (primer/ $-\text{NH}_2$, sekunder/ $-\text{N}_2\text{H}$, tersier/ $-\text{R}'_3\text{N}$) dan gugus ammonium kuartener ($-\text{NR}'_4$ /tipe I, $-\text{R}'_3\text{N}^+\text{OH}^-$ /tipe II), dengan R' menyatakan radikal organik seperti CH_2 .

Pada saat ini, telah dikembangkan resin baru yang disintesis dari monomer kaliks arena (Gambar 9.7). Resin tipe ini digolongkan kedalam resin jenis makrosiklis yang mana disintesis melalui reaksi *methylene cross linking* antara turunan kaliksarena dengan s-trioksan terkatalisis asam sulfat (Shinohara, 2000 dan Ohto, 2003). Resin jenis ini tidak hanya mampu efektif dalam

mengadsorpsi ion logam berat namun juga efektif untuk mengadsorpsi ion logam mulia seperti platina dan paladium (Adikari, 2011 dan Priastomo, 2019).

Penelitian menunjukkan bahwa mekanisme yang terjadi bahwa jenis resin kaliksarena ini mengadsorpsi ion logam dengan cara pertukaran ion. Di mana gugus fenolik atau gugus yang terikat pada monomer resin terjadi deprotonasi dan membentuk ikatan koordinasi dengan ion logam melalui reaksi pertukaran ion. Selain itu adanya interaksi π - π pada struktur aromatis monomer resin, dapat juga memfasilitasi interaksi resin dengan ion logam sehingga ion logam mampu teradsorpsi dengan baik oleh material resin kaliksarena.



Gambar 9.7: Struktur hipotesis resin kaliksarena (Priastomo, 2019)

Daftar Pustaka

- Adhikari, B.B., Gurung, M., Kawakita, H., Jumina, Ohto, K. (2011) "Methylene Crosslinked Calix[6]arene hexacarboxylic acid Resin: A highly Efficient Solid Phase Extractant for Decontamination of Lead Bearing Effluent", *Journal Hazardous Material*, Vol. 193, Hal.200-208
- Adhikari, B.B., Kanemitsu, M., Kawakita, H., Jumina, Ohto, K. (2011) "Synthesis and Application of A Highly Efficient Polyvinylcalix[4]arene tetraacetic acid Resin for Adsorptive Removal of Lead from Aqueous Solutions", *Chemistry Engineering Journal*, Vol. 172, Hal. 341-353.
- Agustiningih, D. (2012) 'Analisis Kualitas Air dan Beban Pencemaran Berdasarkan Penggunaan Lahan di Sungai Blukar Kabupaten Kendal', in *Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*.
- Alaerts, G. and Santika, S. S. (1987) 'Metode penelitian air', *Usaha Nasional*. Surabaya, 309.
- Amanda, Y. T., Marufi, I. and Moelyaningrum, A. D. (2019) 'Pemanfaatan Biji Trembesi (Samane Saman) sebagai Koagulan Alami untuk Menurunkan BOD, COD, TSS dan Kekeruhan pada Pengolahan Limbah Cair Tempe', *Teknologi Pertanian*, 2(3), pp. 92–96.
- Anami, W. R., Maslahat, M. and Arrisujaya, D. (2020) 'Presipitasi Logam Berat Limbah Cair Laboratorium Menggunakan Natrium Sulfida dari BelerangAlam', *Sains Natural Univ. Nusa Bangsa*, 10(2), pp. 61–70.
- Ananda, E. R. et al. (2018) 'Pembuatan Alat Pengolah Limbah Cair dengan Metode Elektrokoagulasi untuk Industri Tahu Kota Samarinda', *Teknologi Terpadu*, 6(1), pp. 54–59.

- Andaka, G. (2008) 'Penurunan kadar tembaga pada limbah cair industri kerajinan perak dengan presipitasi menggunakan natrium hidroksida', *Teknologi*, 1(2), pp. 127–134.
- Andini, S. A. and Arida, I. N. S. (2019) 'Pengelolaan Air Limbah Hotel Dan Pemanfaatannya Dalam Pembangunan Pariwisata Berkelanjutan', *Jurnal Destinasi Pariwisata*, 7(2), p. 339. doi: 10.24843/jdepar.2019.v07.i02.p19.
- Anton, S., Hardiansyah and Nurhayati (2016) 'Model Grouping IPAL Dengan Sistem Gravitasi Pada Skala Kawasan Menggunakan Logika Fuzzy', *Jurnal Teknik Sipil*, 16(2).
- Arief, L. M. (2019) 'PENGOLAHAN LIMBAH GAS', *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), pp. 1689–1699.
- Armus, R, A. Noor, A. Ahmad, dan M. Lukman. (2018). "Surface Temperature Distribution Analysis Using Remote Sensing System in Spermonde Estuary." *Hasanuddin University Vol 19, No 2 (2018)*. [http:](http://)
- Armus, Rakhmad. (2014). *Pengantar Teknik Lingkungan*. 1 ed. Vol. 1. 1. Yogyakarta: Sibuku Media.
- Bangun, A. R. et al. (2013) 'Pengaruh Kadar Air, Dosis dan Lama Pengendapan Koagulan Serbuk Biji Kelor sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu', *Teknik Kimia USU*, 2(1), pp. 7–13.
- Burton, F. L. and Tchobanoglous, G. (2018) *Wastewater Engineering: treatment, disposal, and reuse*. McGraw-Hill.
- Chandra, B. (2007) 'Pengantar kesehatan lingkungan', Jakarta: Egcc.
- Chitnis, S. et al. (2020) 'Transient and persistent energy efficiency in the wastewater sector based on economic foundations', *The Energy Journal*, 41(6).
- Chotijah Siti, Muryati Dewi Tuti, M. T. (2011) 'IMPLEMENTASI KEBIJAKAN PENGELOLAAN LIMBAH RUMAH SAKIT DI RUMAH SAKIT ISLAM SULTAN AGUNG KOTA SEMARANG', *Prosiding Seminar Nasional & Internasional*, 1(1), pp. 163–172. Available at: <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/psn12012010/article/view/420>.
- Dermawan, P. (2008) "Evaluasi Persamaan BET dan Hasil Modifikasinya dalam Mempresentasikan Data Eksperimen Adsorpsi Gas Pada Tekanan Tinggi", *Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia*.

- Dewi, N. M. N. B. S. (2020) 'MANAJEMEN PENGELOLAAN LIMBAH INDUSTRI TAHU (Studi pada Sentra Industri Tahu di Kelurahan Abian Tubuh Kota Mataram)', *Ganec Swara*, 14(1), p. 426. doi: 10.35327/gara.v14i1.117.
- Diaz, E. (2008) 'Microbial Degradation, Bioremediation and biotransformation', Cited on, 17.
- Domestik, L. (2012) *Teknologi Pengolahan Air Sumber Pustaka* :
- Eddy, M. & et al. (2003) *Wastewater engineering: treatment and reuse*. McGraw Hill.
- Eddy, M. & et al. (2014) *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*. McGraw Hill Education.
- Eddy. (2008). Karakteristik Limbah Cair. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, Vol. 2 (2) p. 20.
- Effendi, H. (2003) *Telaah kualitas air, bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*. Kanisius.
- environment-indonesia.com. (2021). Von <https://environment-indonesia.com/articles/4-jenis-limbah-berdasarkan-wujudnya/>: Online tanggal 15 Februari 2021 abgerufen
- Espanol, E.S. dan Villamil, M.M. (2019) "Calixarenes: Generalities and Their Role in Improving the Solubility, Biocompatibility, Stability, Bioavailability, Detection, and Transport^(SEP) of Biomolecules", *Biomolecules*, Vol. 9(10).
- F.Y, D. C., Cindy, S. J. and M.I, J. (2020) 'Perencanaan Sistem Jaringan Pengolahan Air Limbah', *Jurnal Sipil Statik*, 8(3), pp. 431–442.
- Fardiaz, S. (1992) *Polusi air dan udara*. Kanisius.
- Fardiaz, S. (1992). *Mikrobiologi Pangan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Febiary, Irfan dan Agnes Fitria W, S. Y. (2016) 'EFEKTIVITAS AERASI, SEDIMENTASI, DAN FILTRASI UNTUK MENURUNKAN KEKERUHAN DAN KADAR BESI (Fe) DALAM AIR', *Journal of Chemical Information and Modeling*, 8(9), pp. 32–39.

- Firmansyah R, M. A. (2009). *Mudah dan Aktif Belajar Biologi 1*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Fitriyanti, R. (2017) 'Penggunaan Aluminium Sulfat untuk Menurunkan Kekeruhan dan Warna Pada Limbah Cair Stockpile Batubara dengan Metode Koagulasi dan Flokulasi', *Teknologi Palembang*, 2(1), pp. 42–47.
- Freundlich, H. (1906) "Über die Adsorption in Losungen", *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, Vol. 57, Hal.387–470.
- Galinha, C. F., Sanches, S., & Crespo, J. G. (2018). *Membrane bioreactors. Fundamental Modelling of Membrane Systems*, hal. 209-249.
- Ghaedi, M., Golestani Nasab, A., Khodadoust, S., Rajabi, M., Azizian, S. (2014) "Application of Activated Carbon as Adsorbents for Efficient Removal of Methylene Blue: Kinetics and Equilibrium Study", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 20, Hal. 2317–2324.
- Gładysz-Płaska, A., Skwarek, E., Budnyak, T.M., Kołodyn'ska, D. (2017) "Metal ions Removal Using Nano Oxide Pyrolox™ Material", *Nanoscale Research Letter*, Vol. 12, Hal. 1–9.
- Grady, C., G. Daigger, dan H.-C. Lim. 1999. "Biological waste-water treatment." Dalam .
- Gutsche, C.D. (1989) "Calixarenes", Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Hackenberger, J. 1983. "S. J. Arceivala: Wastewater Treatment and Disposal. — 892 pp. New York and Basel: Marcel Dekker Inc. 1981. ISBN 0-8247-6973-2. SFr. 215.—." *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 68 (6): 895–96. <https://doi.org/10.1002/iroh.3510680618>.
- HAMMER, M. J., & HAMMER, M. J. (2008) *Water and wastewater technology*. 6th edn. Upper Saddle River, N.J., Pearson/Prentice Hall.
- Handoko, C. T. et al. (2013) 'Penggunaan Metode Presipitasi untuk Menurunkan Kadar Cu dalam Limbah Cair Industri Perak di Kotagede', *Penelitian Saintek*, 18(2), pp. 51–58.
- Hastutiningrum, S. and Purnawan (2017) 'Pra-Rancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Industri Batik (Studi Kasus Batik Sembung , Sembungan Rt . 31 / Rw . 14 , Gulurejo , Lendah , Kulonprogo) Preliminary design of Waste Water Treatment Plant (WWTP) fr Batik Industry', *Eksergi*, 14(2), pp. 52–62.

- Hatmanto, B. P., & Junaidi. (2006). Analisis Teknologi Pengolahan Limbah Cair Pada Industri Tekstik (Studi Kasus PT. Iskandar Indah Printing Textile Surakarta). *Jurnal Presipitasi*, 1(1), hal. 1-6.
- Helmayunita, N., Serly, V. and Honesty, H. N. (2019) 'PKM Peningkatan Kompetensi Guru SMK Dalam Bidang Komputer Akuntansi', Environment Indonesia Center. Available at: <https://environment-indonesia.com/training/4-jenis-limbah-berdasarkan-wujudnya/>.
- Hendrasari, Ratna Septi. 2016. "Kajian Penurunan Kadar BOD Limbah Cair Tahu Pada Berbagai Variasi Aliran." *Semesta Teknik*, no. Vol 19, No 1 (2016): MEI 2016: 26–36.
- Hendrickx, C. et al. (2006) 'Sustainable Nitrogen Management in Agriculture: An Action Programme towards Protecting Water Resources in Walloon Region (Belgium)', *Water and Agriculture*, p. 469.
- Hilman, M. S. and Kristiningrum, E. (2008) 'KAJIAN MANFAAT PENERAPAN ISO 14001 PADA 12 PERUSAHAAN', *Jurnal Standardisasi* Vol. 10, No. 3 Tahun 2008: 136 – 140', 1(1), pp. 54–59.
- Ibeh, I. N. and Omoruyi, M. I. (2011) 'Seasonal Dynamics in the physiochemical parameters of hospital effluent from a university teaching hospital based in Southern Nigeria', *Journal of Asian Scientific Research*, 1(1), p. 7.
- Iloms, E., Ololade, O. O., Ogola, H. J., & Selvarajan, R. (2020). Investigating Industrial Effluent Impact on Municipal Wastewater Treatment Plant in Vaal, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, hal. 1-18.
- Indrayani, L. (2018) 'Pengolahan Limbah Cair Industri Batik sebagai Salah Satu Percontohan IPAL Batik di Yogyakarta', *Ecotrophic*, 12(2), pp. 173–184.
- Iskandar, S. et al. (2016) 'Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik - Terpusat Skala Permukiman', Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya, pp. 1–64. Available at: <https://www.iuwashplus.or.id/cms/wp-content/uploads/2017/04/Buku-San2-SPALD-Terpusat.pdf>.
- Isnaeni, H. H. (2020) 'POTENSI PENCEMARAN LIMBAH CAIR RUMAH PEMOTONGAN AYAM X DI DUSUN BETAKAN', PRODI DIPLOMA TIGA SANITASI JURUSAN KESEHATAN

LINGKUNGAN POLITEKNIK KESEHATAN KEMENTERIAN KESEHATAN YOGYAKARTA’.

- Jumina, Priastomo, Y., Setiawan, H.R., Mutmainah, Kurniawan, Y.S., Ohto, K. (2020) “Simultaneous Removal of Lead (II), Chromium (III) and Copper (II) Heavy Metal Ions Through an Adsorption Process using C-phenylcalix[4]pyrogalolena Material”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 8(4)
- Jumina, Siswanta, D., Nofiati, K., Imawan, A. C., Priastomo, Y. and Ohto, K. (2019) “Synthesis of C-4-Hydroxy-3-Methoxyphenylcalix[4]Resorcinarene and Its Application as Adsorbent for Lead(II), Copper(II) and Chromium(III)”, *Bulletin of The Chemical Society of Japan*, 2019, Vol. 92, Hal. 825-831.
- Karanfil, T. (2006) “ Activated Carbon Adsorption in Drinking Water Treatment”, Elsevier Ltd.: Amsterdam Hal. 345-373
- Kaswinarni, F. (2008) ‘Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat Dan Cair Industri Tahu’, *Majalah Ilmiah Lontar*, 22(2), pp. 1–20. Available at: <https://www.neliti.com/publications/146461/kajian-teknis-pengolahan-limbah-padat-dan-cair-industri-tahu#cite>.
- Kencanawati, C. I. P. K. (2016) ‘Sistem Pengelolaan Air Limbah’, *Sistem Pengolahan Air Limbah*, (7473), pp. 1–55.
- Khaq, F. A. and Slamet, A. (2017) ‘Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik di Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo’, *Jurnal Teknik ITS*, 6(2).
- Kistinnah I, L. E. (2009). *Biologi 1*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Kris, P., Widia, P. R. and dkk (2019) ‘Teknologi Lumpur Aktif Dalam Pengolahan Air Limbah Pemukiman Karyawan dan Perkantoran PT. Kaltim Prima Coal’, *Indonesian Mining Professionals Journal*, 1(November), pp. 61–66.
- Kristanto, P. (2004). *Ekologi Industri*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Kuncoro, A. H. and Bimano, M. D. (1998) ‘Kajian Proses Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Hasil Olah-Ulang Bahan Bakar Nuklir Bekas dengan Metode Pengendapan Kimia’, *Prosiding Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir II*, 1, pp. 301–311.

- Langmuir, I. (1918) "The Adsorption of Gases on Plane Surface of Glass, Mica and Platinum", *Journal American Chemical Society*, Vol. 40, Hal. 1361–1368.
- Le, C. et al. (2010) 'Eutrophication of lake waters in China: cost, causes, and control', *Environmental management*, 45(4), pp. 662–668.
- Lichtfouse, E., Schwarzbauer, J., & Robert, D. (2005). *Environmental Chemistry "Green Chemistry and Pollutants in Ecosystems"*. Germany: Springer.
- Lud, W. (2010) 'Teknik metode dasar dalam Mikrobiologi', Universitas Muhamadiyah Malang.
- Maiti, S. K. (2004). *Handbook of Methods in Environmental Studies "Water and Wastewater Analysis"*. Jaipur: ABD Publishers .
- Marhadi, M. (2016) 'Analisis Sistem Penyaluran Air Buangan Domestik Dengan Off Site System', *Jurnal Civronlit Unbari*, 1(1), p. 1.
- Marzuki, I. (2009) 'Analisis Penambahan Additive Batu Gamping Terhadap Kualitas Komposisi Kimia Semen Portland', *Jurnal Chemica*, 10(1), pp. 64–70.
- Marzuki, I. (2010) 'Pemanfaatan Zeolit dan Bokashi Sampah Domestik untuk Memperbaiki Beberapa Sifat Kimia Tanah Podsolik Merah Kuning di Soroako', *Multi Teknik*, 5(2), pp. 15–29.
- Marzuki, I. (2016) 'Analisis Chromium Hexavalent dan Nikel Terlarut dalam Limbah Cair Area Pertambangan PT VALE Tbk . Soroako-Indonesia', *Jurnal Chemica*, 17(2), pp. 1–11. doi: 10.17605/OSF.IO/YF9QJ.
- Marzuki, I. et al. (2015) 'Sponge Role In Alleviating Oil Pollution Through Sludge Reduction , A Preliminary Approach', *International Journal of Applied Chemistry*, 11(4), pp. 427–441.
- Marzuki, I. et al. (2020) 'The power of biodegradation and bio-adsorption of bacteria symbiont sponges sea on waste contaminated of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 584, p. 012013. doi: 10.1088/1755-1315/584/1/012013.

- Masduqi, A. and Apriliani, E. (2008) 'Estimation of Surabaya river water quality using Kalman filter algorithm', *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 19(3).
- Metcalf, L., Eddy, H. P. and Tchobanoglous, G. (1991) *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. McGraw-Hill New York.
- Moelyo, M. (2012) 'Pengkajian Epektifitas Proses Koagulasi dalam Memperbaiki Kualitas Limbah Industri Penyamakan Kulit- Sukaregang, Garut', *Teknik Hidraulik*, 3(2), pp. 169–182.
- Mohd-Asharuddin, S., Othman, N., Mohd-Zin, N. S., & Tajarudin, H. A. (2018). Removal of total suspended solid by natural coagulant derived from cassava peel waste. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 995, hal. 1-9.
- Nasir, M., Saputro, E. P. and Handayani, S. (2015) 'MANAJEMEN PENGELOLAAN LIMBAH INDUSTRI BENEFIT *Jurnal Managemen dan Bisnis* Volume 19, Nomor 2, Desember 2015: 143-149', pp. 1–32.
- Naushad, M., & Lichtfouse, E. (2020). *Green Materials for Wastewater Treatment*. France: Springer.
- Nemerow, N. L. (1974) *Scientific stream pollution analysis*.
- Nyabakken, J. W. (1992) 'Biologi Laut: suatu pendekatan ekologis.[Terjemahan dari *Marine Biologi; an ecological approach*]', Eidman HM, Bengen DG, Hutomo M, & Sukardjo S (penerjemah). PT Gramedia. Jakarta.
- Ohto, K., Yamasaki, T., Wakisaka, S., Shinohara, T., Inoue, K. (2003) "Preparation of Novel Crosslinking Type Resins Based on Calix[4]arene Tetracarboxylate with High Selectivity and High Loading Capacity for Lead Ion", *Journal Ion Exchange*, Vol. 14 supplement, Hal. 301-304.
- Oscarson, D.W., Huang, P.M., Defosse, C., Herbillon, A. (1981) "Oxidative Power of Mn(IV) and Fe(III) Oxides with Respect to As(III) in Terrestrial and Aquatic Environments", *Nature*, Vol. 291, Hal. 50–51.
- Oscarson, D.W., Huang, P.M., Hammer, U.T., Liaw, W.K. (1982) "Oxidation and sorption of Arsenite by Manganese Dioxide as Influenced by Surface Coatings of Iron and Aluminum Oxides and Calcium Carbonate", *Water Air Soil Pollution*, Vol. 20, Hal. 233–244.

- Peirce, J. J., Weiner, R., & Vesilind, P. A. (1997). *Environmental Pollution and Control, Fourth Edition*. United States of America : Elsevier Science & Technology Books .
- Philip, K. (2002) 'Ekologi Industri', Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Pratama, Y. (2015) 'Kupas Tuntas ISO 14000', *Environment Article*'.
- Presiden RI (1999) Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 Tentang : Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun.
- Priastomo, Y., Morisada, S., Kawakita, H., Ohto, K. and Jumina. (2019) "Synthesis of Macrocyclic Polypnenol Resin by Methylene Crosslinked Calix[4]arene for The Adsorption of Palladium and Platinum Ions", *New Journal of Chemistry*, Vol. 43, Hal. 8015-8023.
- Rahmah and Asti, M. S. (2015) 'Pengaruh Metode Koagulasi , Sedimentasi dan Variasi Filtrasi terhadap Penurunan Kadar TSS , COD dan Warna pada Limbah Cair Batik', *Chemica*, 2(1), pp. 7–12.
- Rahmanissa, A. and Slamet, A. (2017) 'Perencanaan Sistem Penyaluran dan Pengolahan Air Limbah Domestik Kecamatan Semarang Barat Kota Semarang', *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), pp. 147–151.
- Rahmat, B., & Mallongi, A. (2018). Studi Karakterisasi dan Kualitas BOD dan COD Limbah Cair Rumah Sakit Umum Daerah Lanti DG. Pasewang Kabupaten Jeneponto. *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan*, 1, hal. 1-19.
- Rao, S. M. and Mamatha, P. (2004) 'Water quality in sustainable water management', *Current science*, pp. 942–947.
- Ratman, C. R. and Syafrudin (2018) 'PENERAPAN PENGELOLAAN LIMBAH B3 DI PT. TOYOTA MOTOR MANUFACTURING INDONESIA', (Februari), pp. 114–121.
- Ratna, Dian sari Puspa, Ganjar Samudro, dan Sri Sumyati. 2017. "Pengaruh Kadar Air Terhadap Proses Pengomposan Sampah Organik Dengan Metode Takakura." *Universitas Mercu Buana Vol 6, No 2 (2017): JTM Edisi Spesial 2017*. [http:](http://)
- Ratnani, R. D. (2008) 'TEKNIK PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA YANG DIAKIBATKAN OLEH PARTIKEL', *Momentum*, Vol. 4, No. 2, Oktober 2008 : 27 - 32', pp. 27–32.

- Ravenscroft, P., Brammer, H., Richards, K. (2009) "Arsenic Pollution Environmental Chemistry" West Sussex: UK. [1]
- Ren, Z., Zhang, G., Paul Chen, J. (2011) "Adsorptive Removal of Arsenic from Water by An Iron-Zirconium Binary Oxide Adsorbent", *Journal Colloid Interface Science*, Vol. 358, Hal. 230–237.
- Rohman, Abdur; Negara, M. Agung Prawira; Supeno, Bambang. 2017. "Sistem Pengaturan Laju Aliran Air pada Plant Water Treatment Skala Rumah Tangga dengan Kontrol Fuzzy-Pid." *BERKALA SAINSTEK*, no. Vol 5 No 1 (2017): 29–34.
- Sahubawa, L. (2011). Analisis dan Prediksi Beban Pencemaran limbah Cair Pabrik Pengalengan Ikan. *J. Manusia dan Lingkungan*, 18(1), hal. 9-18.
- Said, N. I. and Utomo, K. (2018) 'Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Proses Lumpur Aktif Yang Diisi Dengan Media Bioball', *Jurnal Air Indonesia*, 3(2), pp. 160–174.
- Salimin, Z. and Nurifitriyani, I. (2013) 'Pengolahan Limbah Industri Elektroplating Dengan Proses Koagulasi Flokulasi', *Valensi*, 3(1), pp. 41–48.
- Salmin. (2005). Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Oseana*, Vol. XXX (3). Hal 21-26. .
- Santi, S. S. (2015) 'Kajian Pemanfaatan Limbah Cair Proses Pemasakan Bleaching Earth sebagai Koagulan', *J. Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1), pp. 33–40.
- Sari, M. (2017) 'Optimalisasi Koagulan Serbuk Biji Kelor (*Moringa oleifera*) pada Limbah Cair Industri Tahu', *Agritepa*, IV(1), pp. 25–37.
- Sastrawijaya, T. (2000) 'Pencemaran Lingkungan'. Jakarta Rineka Cipta.
- Sawyer, C. N. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science* 5th edition. Singapore: Mc. Graw Hill Book Co.
- Semadi Antara, Nyoman; Suryawan Wiranatha, A.A.P. Agung; Sarasdewi, Ayu Putu. 2015. "PENGARUH LAJU ALIRAN TERHADAP PENURUNAN CEMARAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK DENGAN SISTEM BIOFILTER." *JURNAL REKAYASA DAN MANAJEMEN AGROINDUSTRI*, no. Vol 3 No 2 (2015): Juni: 17–29.

- Setiyono (2017) 'TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DAN DAUR ULANG AIR LIMBAH Prosiding Seminar Nasional dan Konsultasi Teknologi Lingkungan Jakarta, 20 September 2018'.
- Setiyono (2018) 'Teknologi Biotur (Pengolahan dan Daur Ulang Air Limbah Rumah Tangga)', Prosiding Seminar Nasional dan Konsultasi Teknologi Lingkungan, (September), pp. 89–98.
- Sharma, S., Kumar, S. K. A. dan Rajesh, N. (2017) "A Perspective on Diverse Adsorbent Materials to Recover Precious Palladium and The Way Forward", RSC Advances, Vol.7, Hal.52133
- Shinohara, T., Wakisaka, S., Ohto, K. dan Inoue, K. (2000) "Synthesis of Novel Type Resin Based on Calix[4]arene Carboxylate and Selective Separation of Lead from Zinc", Chemistry Letter, Vol. 29, Hal. 640–641.
- Siagian, L. (2014) 'Dampak Dan Pengendalian Limbah Cair Industri', Jurnal Teknik Nommensen, pp. 98–105.
- Sidik, H., Konety, N. and Aditany, S. (2018) 'MEMBANGKITKAN SEMANGAT PEDULI LINGKUNGAN MELALUI PENGOLAHAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN (B3) RUMAH TANGGA DI RANCAEKEK', Kumawula, Vol. 1, No.1, April 2018, Hal 62 – 74 DOI:<http://10.24198/kumawula.v1i1.19485>, Jurnal SOLMA, 9(2), pp. 316–322. doi: 10.22236/solma.v9i2.4892.
- Siregar, S. A. (2005) Instalasi pengolahan air limbah. Kanisius.
- Soeparman, S. (2002) 'Pembuangan tinja & limbah cair', Jakarta: Penerbit Kedokteran EGC.
- Sperling, M. v. (2007). Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. India: IWA Publishing, Alliance House.
- Su, C., Puls, R.W. (2001) "Arsenate and Arsenite Removal by Zerovalent Iron: Effects of Phosphate, Silicate, Carbonate, Borate, Sulfate, Chromate, Molybdate, and Nitrate, Relative to Chloride", Environmental Science Technology, Vol. 35, Hal. 4562–4568. [11]
- Suherman, Suherman; Diyono, Diyono. 2002. "Pemodelan Dan Studi Eksperimental Laju Alir Fluida Pada Fluidisasi Minimum." Reaktor, no. Volume 6 No. 1 Juni 2002: 40–43.

- Sulistiyorini, A. (2009). *Biologi 1*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Sutamiharja, R. T. M. (1978) 'Kualitas dan Pencemaran Lingkungan', Fakultas Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, 92.
- Sy, S., Sofyan, S., Muchtar, H., & Kasman, M. (2017). Pengaruh Laju Alir Inlet Reaktor MSL terhadap Reduksi BOD, COD, TSS, dan Minyak/Lemak Limbah Cair Industri Minyak Goreng. *Jurnal Litbang Industri*, 7(1), hal. 41-51.
- Sy, Salmariza; Sofyan, Sofyan; Muchtar, Hendri; Kasman, Monik, Sofyan Sofyan, dan Hendri Muhtar. 2017. "Pengaruh Laju Alir Inlet Reaktor MSL terhadap Reduksi BOD, COD, TSS, dan Minyak/Lemak Limbah Cair Industri Minyak Goreng." *Jurnal Litbang Industri*, no. Vol 7, No 1 (2017): 41-51.
- Tareqila, I. K. and Supriyanto (2017) 'Sedimentasi Hydro Anti Waste Pipe Route System (SHa-PRS): Instalasi Pipa Bawah Tanah Bebas Limbah Berprinsip Geokatalis Sedimentasi', in Seminar Nasional Kebumihan, pp. 202-214.
- Tien, J.C. (2019) "Introduction to Adsorption Basics, Analysis and Applications, Elsevier: Amsterdam.
- Utomo, S. (2012) 'Bahan Berbahaya Dan Beracun (B-3) Dan Keberadaannya di Dalam Limbah', *KONVERSI* Vol. 1 No. 1 April 2012', pp. 1-50.
- Wang, R., Liao, X. dan Shi, B. (2005) "Adsorption Behaviors of Pt(II) and Pd(II) on Collagen Fiber Immobilized Bayberry Tannin", *Industrial & Engineering Chemical Research*, Vol. 44, Hal. 4221-4226.
- Wardhana, W. A. (2004) 'Dampak Pencemaran Lingkungan (Edisi Revisi)', Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Watanabe, R., Harada, H., Yusuf, H., Le, T. V., & Fujii, S. (2019). Exfiltration and infiltration effect on sewage flow and quality: a case study of Hue, Vietnam. *Environmental Technology*, hal. 1-11.
- Widjajanti, E. (2009) 'Penanganan limbah laboratorium kimia', Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Widyaningsih, V. (2011) 'Pengolahan limbah cair kantin Yongma FISIP UI'.

- Willey, J. M., Sherwood, L. and Woolverton, C. J. (2009) 'Prescott's principles of microbiology'.
- Winarno, F. G. and Fardiaz, J. M. (1974) 'Populasi dan Analisa Air', Departemen Teknologi. Hasil Pertanian Fateta IPB. Bogor.
- Winarno, Tri, Yeremia Billy Agusta, Gunawan Gunawan, Merin, dan Jenian. 2019. "Analisis Mineralogi Dan Kandungan Kimia Endapan Lumpur Sidoarjo Dan Arah Pemanfaatannya." *Diponegoro University Vol 40, No. 2* (2019). <https://doi.org/10.26418/jtllb.v1i1.1990>.
- Worch, E. (2012) "Adsorption Technology in Water Treatment. Fundamentals, Processes and Modeling", Hubert & Co. GmbH & Co. KG, Gottingen: Germany.
- Y. M. R. P. B. (2013) 'Pengolahan Limbah Cair Domestik untuk Penggunaan Ulang (Water Reuse)', *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 1(1), pp. 1–10. doi: 10.26418/jtllb.v1i1.1990.
- Yang, T.R. (2003) "Adsorbents: Fundamentals and Applications", John Wiley & Sons, Inc., Hoboken: New Jersey.
- Yaqout, A. F. (2003). Assessment and analysis of industrial liquid waste and sludge disposal at unlined landfill sites in arid climate. *Waste Management*, 23, hal. 817-824.
- Yenti, Silvia Reni, Riki Irwandi, dan Chairul Chairul. 2015. "Penentuan Massa dan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Karbon Aktif Dari Ampas Tebu sebagai Adsorben Logam Berat Pb." *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, no. Vol 2, No 2 (2015): Wisuda Oktober Tahun 2015: 1–9.
- Yeon, K.-M. et al. (2009) 'Quorum sensing: a new biofouling control paradigm in a membrane bioreactor for advanced wastewater treatment', *Environmental science & technology*, 43(2), pp. 380–385.
- Yu, D., Morisada, S., Kawakita, H., Ohto, K., Inoue, K., Song, X. dan Zhang, G. (2019) "Selective Cesium Adsorptive Removal on Using Crosslinked Tea Leaves", *Processes*, Vol. 7, Hal. 412.

Biodata Penulis



Efbertias Sitorus, S.Si., M.Si. Lahir di Medan, 22 Mei 1992, Sumatera Utara, Indonesia, merupakan anak dari Drs. Edward Sitorus, M.Si dan Juliana Tarigan, S.Pd. Menyelesaikan studi Sarjana Kimia dari Universitas Negeri Medan, Magister Kimia (bidang analitik) di Universitas Sumatera Utara. Menulis buku sejak tahun 2019. Kegiatan saat ini melaksanakan tri dharma perguruan tinggi dan aktif sebagai staff pengajar di Fakultas Pertanian Universitas Methodist Indonesia. Penulis dapat dihubungi melalui email:

efbertias.s92@gmail.com



Eko Sutrisno, saat ini tinggal di Lamongan Jawa Timur, belajar ilmu alam di prodi Biologi Universitas Islam Malang dan ilmu lingkungan Universitas Riau, saat ini mengabdikan diri di prodi Teknologi Hasil Pertanian Universitas Islam Majapahit. Selain mengajar, penulis aktif di komunitas yang melakukan pendampingan masyarakat di wilayah lereng Pegunungan Anjasmoro Mojokerto Jawa Timur "Sahabat Anjasmoro", dan sejak tahun 2018 aktif di kegiatan Pendamping Desa, Program

Inovasi Desa dan Penanggulangan Stunting di Kecamatan Glagah Lamongan Jawa Timur



Dr. Rakhmad Armus, ST., M.Si, lahir di Enrekang, Sulawesi Selatan. Beliau menyelesaikan pendidikan Ahli Madya pada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Universitas Hasanuddin pada 1995, melanjutkan pendidikan sarjana dari Jurusan Teknik Kimia Universitas "45" Makassar. Pernah bekerja di Industri Plastik sebagai quality control (1995-1998), pernah

bekerja bekerja pada Industri Pengolahan Air minum (1998-2004), pernah bekerja pada industri tambang emas sebagai quality controll (2010). Beliau menyelesaikan program Magister bidang Teknik lingkungan Universitas Hasanuddin (2008-2010). Sebagai dosen tamu dalam bidang laboratorium limbah Industri dan laboratorium Kimia fisika pada jurusan teknik kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang. Saat ini sebagai Dosen tamu pengampu mata kuliah Instalasi Pengolahan Air Limbah di Universitas Fajar Makassar (2013-2020), beliau juga telah menyelesaikan studi pada program doktor ilmu Kimia di Universitas Hasanuddin (2020). Saat ini beliau bekerja sebagai peneliti dan dosen di Stitek Nusindo Makassar.



Kasta Gurning, S.Pd., M.Sc., M.Pd., lahir di Simpang Tiga, 11 Juli 1989. Anak ke sepuluh dari duabelas bersaudara pasangan Alm G. Gurning dan S. Sitorus. Gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd.) diperoleh dari Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Negeri Medan di tahun 2011. Gelar Master of Science (M.Sc.) diperoleh dari Program Studi Ilmu Kimia dengan Konsentrasi Kimia Organik di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Gadjah Mada Tahun 2014. Gelar Magister Pendidikan (M.Pd.) diperoleh dari Program Pascasarjana (PPs) Universitas Negeri Yogyakarta Program Studi Pendidikan Sains dengan Konsentrasi Pendidikan Kimia Tahun 2015 dengan Konsentrasi Pendidikan Kimia. Sejak Tahun 2015 bekerja sebagai Dosen di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Senior Medan sampai sekarang dan aktif menulis jurnal ilmiah yang dipublikasi pada jurnal nasional dan internasional.



Fitria Fatma, SKM, M.Kes, Penulis dilahirkan di Kota Bukittinggi tanggal 15 Juni 1986. Penulis sebagai Dosen Tetap Prodi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan, Universitas Fort De Kock Bukittinggi. Lulus S1 di Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat Universitas Fort De Kock Kota Bukittinggi, dan S2 di Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat Universitas Andalas Kota Padang. Sejak tahun 2009 hingga sekarang menjadi dosen tetap

Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat Universitas Fort De Kock Bukittinggi. Kepakaran pada Ilmu Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja (K3). Beberapa mata kuliah yang diampu di kampus adalah Dasar Ilmu Kesehatan Lingkungan, Kesehatan Lingkungan Perumahan, Current Issue Kesehatan Lingkungan, Analisis Kualitas Lingkungan, Pengelolaan Limbah, Pengelolaan Sumber Daya Air. Aktif melakukan penelitian dan publikasi di beberapa jurnal nasional terakreditasi tentang sampah, air bersih yang masih ruang lingkup kesehatan lingkungan. Dalam organisasi aktif sebagai anggota IAKMI Kota Bukittinggi dan AK3U Provinsi Sumatera Barat. Silahkan menghubungi penulis melalui email fitriafatma1986@gmail.com



Luthfi Parinduri, dilahirkan dan menetap di Pematang Siantar hingga menyelesaikan pendidikan SMA. Kemudian pindah ke Medan guna melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi di Fakultas Teknik - Universitas Sumatera Utara. Hingga sekarang tinggal dan bekerja di Medan. Saat ini dipercaya sebagai staf pengajar dan memberi kuliah di Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik UISU. Beberapa kali berkesempatan turut menulis buku secara kolaborasi yang diterbitkan oleh Yayasan Kita Menulis.



Dr. Ir. Muhammad Chaerul, ST, S.KM, M. Sc adalah putra kelahiran Wawondula Towuti Luwu Timur, dari pasangan Mustaring Beddu dan Hj. Herniati Tagily. Anak kedua dari tiga bersaudara Kakak Muhammad Yamin, ST dan Adik Herlinda Mustaring, SE. Sarjana Teknik Geologi diperoleh dari Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin tahun 2007. Sarjana Kesehatan Masyarakat Prodi Kesehatan Lingkungan di dapatkan pada tahun 2014. Master of Science diperoleh dari Program studi Magister Pengelolaan Lingkungan, Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada tahun 2011. Program Doktor diperoleh dari Program Studi Ilmu Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin tahun 2016.

Sedangkan Profesi Insinyur diperoleh dari Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin 2020 dengan Insinyur Profesional Madya di Bidang Teknik Lingkungan. Sekarang penulis menjadi salah satu dosen tetap di Prodi Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan.

Pernah bekerja di beberapa perusahaan swasta yang bergerak di bidang pertambangan seperti PT. Kasmar Tiar Raya dan PT. Inco Sorowako, Tbk yang sekarang berganti nama menjadi PT. Vale Indonesia, Tbk. Hingga saat ini penulis adalah tenaga ahli bidang kebencanaan pada Konsultan RESYS di Badan Penanggulangan Bencana Daerah Propinsi Sulawesi Tenggara. Buku ini adalah hasil kumpulan ide dan karya tulisan terbaik dari teman-teman yang giat menulis. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada tim yang sudah memberikan kesempatan untuk bergabung di dalam penulisan buku ini. Semoga kedepannya penulis semakin lebih giat lagi untuk terus berkarya.



Dr. Ismail Marzuki, M.Si, lahir di Kabere, 03 Juli 1973. Pendidikan formal yang telah diikuti SD Negeri 19 Kabere Tahun 1980-1986, SMP Negeri Kabere Tahun 1986-1989, dan SMA Negeri 1 Enrekang 1989-1992. Gelar sarjana Sains (kimia) disandang tahun 1999, di Jurusan Kimia FMIPA UNHAS, dan gelar Magister Sains (M.Si) Tahun 2003. Menyelesaikan program Doktor Pada Bulan Januari tahun 2016, Program Pascasarjana UNHAS.

Karir sebagai akademisi dimulai tahun 2000 hingga sekarang. Status PNS (Dosen) diperoleh pada Tahun 2005, pada unit kerja Kopertis (L2dikti) Wil. IX Sulawesi. Jabatan struktural yang pernah disandang, yakni: Direktur Akademi Analis Kimia Yapika Makassar, (Tahun 2002-2008), Ketua I Bidang Akademik Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan (STIKES) Yapika Makassar (Tahun 2008-2012). Ketua Stikes Bina Mandiri Gorontalo (Tahun 2014-2015), Di mutasi ke Universitas Fajar (UNIFA) Tahun 2015, Prodi home base Teknik Kimia. Tugas tambahan yang diamanatkan oleh UNIFA adalah Pemred Jurnal Techno Entrepreneur Acta (2016-sekarang), Ketua Unit Pusat Karir UNIFA (Tahun 2016-2018) dan Ketua Lembaga Penjaminan Mutu Internal UNIFA, (2019-2020), serta Dekan Fak. Pascasarjana Univ. Fajar, (2020-sekarang). Sejak pandemik Covid-19 dan masa pemulihan dengan kebiasaan hidup baru bergabung dalam komunitas Yayasan Kita Menulis, yang hingga saat ini telah menulis 20 chapter pada 20 judul buku yang berbeda.



Yoga Priastomo, S.Si., M.Eng telah menamatkan pendidikan S1 di Universitas Gadjah Mada bidang ilmu kimia pada tahun 2014. Pendidikan S2 telah ia tempuh di Saga University, Jepang dalam bidang ilmu kimi dan kimia terapan. Pria kelahiran Temanggung, 30 Juni 1991 telah menekuni kajian adsorpsi sejak duduk di bangku strata 2. Beberapa journal terkait dengan adsorpsi telah berhasil ia terbitkan di journal bereputasi dan berimpak faktor tinggi yang terindeks scopus. Kurang lebih ada 8 journal telah ia terbitkan dalam kurun waktu 2 tahun sejak ia menamatkan pendidikan S2 pada tahun 2017. Pria dengan sapaan Yoga, saat ini sedang menjadi asisten peneliti di Laboratorium Kimia Organik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

PROSES PENGOLAHAN LIMBAH

Pengolahan limbah adalah proses menghilangkan/menguraikan polutan yang ada dalam air limbah sehingga hilang sifat-sifat dari polutan tersebut yang meliputi proses fisika, kimia dan biologi. Proses pengolahan limbah bertujuan meningkatkan akses pelayanan limbah yang ramah lingkungan, sehingga tercapai peningkatan kualitas kehidupan masyarakat dan lingkungan yang lebih baik dan sehat. Sebelum melakukan perencanaan dan pelaksanaan pengolahan limbah harus memahami Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah kebijakan untuk minimasi limbah sebelum menghasilkan dan mengolah limbah, menetapkan personil yang bertanggung jawab terhadap penerapan prosedur pengelolaan dan pengolahan limbah serta melakukan evaluasi penerapan prosedur pengelolaan dan pengolahan limbah.

Buku Proses Pengolahan Limbah ini membahas:

Bab 1 Karakteristik Limbah Cair

Bab 2 Studi Karakterisasi Limbah

Bab 3 Laju Air Limbah

Bab 4 Analisis dan Reduksi Laju Alir Limbah Cair

Bab 5 Sasaran, Metode, dan Implementasi Pengelolaan Limbah Cair

Bab 6 Implementasi Program Manajemen

Bab 7 Pemisahan Secara Gravitasi

Bab 8 Metode Pengendapan Kimia

Bab 9 Adsorpsi Pertemuan



YAYASAN KITA MENULIS
press@kitamenulis.id
www.kitamenulis.id



Proses Pengolahan Limbah

ORIGINALITY REPORT

24%

SIMILARITY INDEX

24%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

10%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	text-id.123dok.com Internet Source	3%
2	kartikaabasputra.blogspot.com Internet Source	2%
3	adoc.pub Internet Source	2%
4	jurnal.untan.ac.id Internet Source	2%
5	www.scribd.com Internet Source	1%
6	devitaalsa18.blogspot.com Internet Source	1%
7	repository.its.ac.id Internet Source	1%
8	sinta.unud.ac.id Internet Source	1%
9	es.scribd.com Internet Source	1%
10	civitas.uns.ac.id Internet Source	1%
11	kitamenulis.id Internet Source	1%
12	lppm.ibrahimy.ac.id Internet Source	1%
13	jurnal.perhapi.or.id Internet Source	1%

14	slideplayer.info Internet Source	1 %
15	lordbroken.wordpress.com Internet Source	1 %
16	staffnew.uny.ac.id Internet Source	1 %
17	repository.trisakti.ac.id Internet Source	1 %
18	journal.unpad.ac.id Internet Source	1 %
19	repository.ub.ac.id Internet Source	1 %
20	eprints.undip.ac.id Internet Source	1 %
21	water.lecture.ub.ac.id Internet Source	1 %
22	ejurnal.its.ac.id Internet Source	1 %

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On

Proses Pengolahan Limbah

GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

/0

GENERAL COMMENTS

Instructor

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

PAGE 14

PAGE 15

PAGE 16

PAGE 17

PAGE 18

PAGE 19

PAGE 20

PAGE 21

PAGE 22

PAGE 23

PAGE 24

PAGE 25

PAGE 26

PAGE 27

PAGE 28

PAGE 29

PAGE 30

PAGE 31

PAGE 32

PAGE 33

PAGE 34

PAGE 35

PAGE 36

PAGE 37

PAGE 38

PAGE 39

PAGE 40

PAGE 41

PAGE 42

PAGE 43

PAGE 44

PAGE 45

PAGE 46

PAGE 47

PAGE 48

PAGE 49

PAGE 50

PAGE 51

PAGE 52

PAGE 53

PAGE 54

PAGE 55

PAGE 56

PAGE 57

PAGE 58

PAGE 59

PAGE 60

PAGE 61

PAGE 62

PAGE 63

PAGE 64

PAGE 65

PAGE 66

PAGE 67

PAGE 68

PAGE 69

PAGE 70

PAGE 71

PAGE 72

PAGE 73

PAGE 74

PAGE 75

PAGE 76

PAGE 77

PAGE 78

PAGE 79

PAGE 80

PAGE 81

PAGE 82

PAGE 83

PAGE 84

PAGE 85

PAGE 86

PAGE 87

PAGE 88

PAGE 89

PAGE 90

PAGE 91

PAGE 92

PAGE 93

PAGE 94

PAGE 95

PAGE 96

PAGE 97

PAGE 98

PAGE 99

PAGE 100

PAGE 101

PAGE 102

PAGE 103

PAGE 104

PAGE 105

PAGE 106

PAGE 107

PAGE 108

PAGE 109

PAGE 110

PAGE 111

PAGE 112

PAGE 113

PAGE 114

PAGE 115

PAGE 116

PAGE 117

PAGE 118

PAGE 119

PAGE 120

PAGE 121

PAGE 122

PAGE 123

PAGE 124

PAGE 125

PAGE 126

PAGE 127

PAGE 128

PAGE 129

PAGE 130

PAGE 131

PAGE 132

PAGE 133

PAGE 134

PAGE 135

PAGE 136

PAGE 137

PAGE 138

PAGE 139

PAGE 140

PAGE 141

PAGE 142

PAGE 143

PAGE 144

PAGE 145

PAGE 146

PAGE 147

PAGE 148

PAGE 149

PAGE 150

PAGE 151

PAGE 152

PAGE 153

PAGE 154

PAGE 155

PAGE 156

PAGE 157

PAGE 158

PAGE 159

PAGE 160
