

BAB II

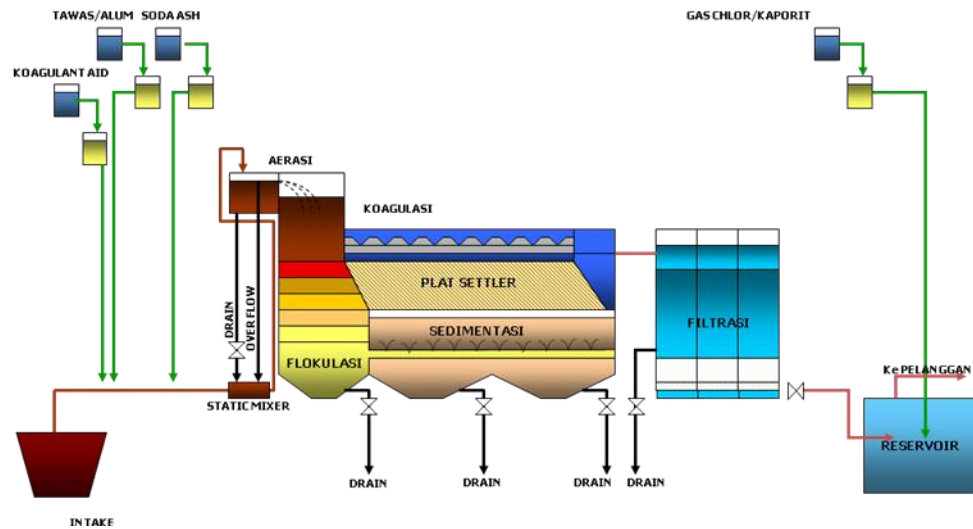
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi *Exsisting* Pengolahan Air Bersih di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Pontianak

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Pontianak didirikan pertama kali pada tanggal 14 Mei 1975 berdasarkan Peraturan Daerah Kotamadya Dati II Pontianak Nomor 03 tahun 1975, yang disahkan oleh Kepala Daerah Tingkat I Kalimantan Barat dengan SK No. 42 tahun 1976 pada tanggal 18 Maret 1976. Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Pontianak merupakan salah satu BUMD yang dimiliki Pemerintah Kota Pontianak, yang bergerak dalam bidang jasa pelayanan air bersih bagi masyarakat Kota Pontianak dan sekitarnya.

Tujuan didirikannya perusahaan ini adalah untuk mengupayakan peningkatan pelayanan umum kepada masyarakat, dalam rangka pemenuhan kebutuhan akan air bersih dan merupakan salah satu penyumbang pada sumber Pendapatan Asli Daerah (PAD). Kegiatan penyediaan air bersih Kota Pontianak dimulai tahun 1959 yang ditandai oleh pembangunan sarana dan prasarana penyediaan air bersih melalui pembangunan Instalasi Pengolahan Air (IPA) dengan kapasitas 100 l/det di kompleks IPA Imam Bonjol dan mulai dioperasikan pada tahun 1962. Sumber air baku yang digunakan adalah air permukaan yang berasal dari Sungai Kapuas yang diolah secara konvensional melalui instalasi dengan sistem pengolahan lengkap (PDAM Kota Pontianak, 2011).

Sistem pengolahan air bersih yang diterapkan oleh PDAM Kota Pontianak adalah sistem pengolahan lengkap. Berikut ini adalah Skema Pengolahan Air Bersih di IPA PDAM Kota Pontianak mulai dari sumber air baku sampai dengan reservoir. Skema pengolahan air bersih di IPA PDAM Kota Pontianak dapat dilihat pada **Gambar 2.1**:



Gambar 2.1 Skema pengolahan air bersih IPA (IV) Imam Bonjol PDAM Kota Pontianak

Sumber: PDAM Kota Pontianak (2011)

Proses pengolahan air bersih dimulai dari *intake* air baku yang berasal dari Sungai Kapuas kemudian dipompa ke unit pengolahan awal yaitu koagulasi. Sebelum masuk ke unit koagulasi air baku dibubuhi bahan kimia sebagai koagulan, bahan kimia yang digunakan pada unit ini adalah tawas/aluminium sulfat (Al_2SO_4). Selain itu bahan kimia yang digunakan pada unit ini adalah *soda ash* yang berfungsi untuk menaikkan pH air baku pada saat diolah. Setelah dibubuhi bahan kimia barulah setelah itu air baku dialirkan ke unit flokulasi, di sini air membentuk flok-flok yang ukurannya jauh lebih besar dan berat dibanding flok yang terbentuk pada unit koagulasi, karena ukurannya lebih besar dan berat sehingga mudah untuk diendapkan pada unit sedimentasi.

Setelah semua endapan pada unit koagulasi dan flokulasi diendapkan pada unit sedimentasi, barulah dihasilkan air yang jernih dan kemudian dialirkan menuju unit filtrasi, fungsi dari unit filtrasi ini adalah untuk menyaring partikel halus yang terdapat dalam air. Setelah semua partikel halus tersaring proses selanjutnya air yang sudah jernih dan bersih dimasukkan ke unit reservoir untuk ditampung, namun sebelum masuk ke reservoir dilakukan pembubuhan gas klor (Cl) terlebih dahulu, gas klor ini berfungsi untuk mematikan bakteri pathogen yang terdapat dalam air yang diolah sehingga air aman untuk dikonsumsi oleh konsumen. Setelah semua proses di atas dilakukan, barulah air dialirkan ke unit

reservoar untuk ditampung, setelah itu air akan dipompakan ke sistem distribusi untuk didistribusikan kepada para konsumen yang menggunakan jasa PDAM Kota Pontianak (PDAM Kota Pontianak, 2011).

2.2 Lumpur

Lumpur dalam arti *sludge/wet dirt* selalu ada di setiap unit pengolah air, apapun jenis dan bentuk teknologi pengolahannya. Seperti halnya di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), walaupun berbeda sifat atau karakteristiknya, Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) di PDAM pun menimbulkan lumpur (*sludge*) yang volume hariannya relatif besar, bergantung pada debit air yang diolah dan konsentrasi kekeruhan air bakunya. Makin besar debitnya dan makin tinggi konsentrasi padatnya, baik padatan kasar (*coarse solid*), padatan tersuspensi (*suspended solid*) maupun koloid, makin besar juga volume lumpurnya. Kecuali kalau air bakunya berasal dari mata air (*artesian and atmospheric spring*) (khususnya pada musim kemarau), lumpur di IPAM umumnya berasal dari unit sedimentasi, baik yang sifatnya diskrit maupun flok (Cahyana H. Gede, 2009).

Lumpur diskrit adalah lumpur yang butir-butirannya terpisah tanpa koagulan, biasanya kecil volume persatuan waktunya kecuali pada musim hujan. Mayoritas lumpur ini mengandung pasir, grit, dan pecahan kerikil berukuran kecil. Lumpur ini bisa di-*recovery* dengan cara dicuci (disemprot air) atau dengan diayak di dalam air. Sebaliknya, lumpur yang berupa flok, yaitu kimflok (*chemiflocc*) sangat besar volumenya terutama di IPAM besar yang air bakunya sangat keruh, didominasi oleh koloid. Selain unit sedimentasi yang didahului oleh unit koagulasi dan flokulasi itu, sumber lumpur lainnya berasal dari unit pelunakan atau *softening* dan air cucian dari filter pasir cepat dan pasir lambat (Cahyana H. Gede, 2009).

Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Pontianak, tentu dihasilkan residu berupa lumpur. Lumpur tersebut mengandung material-material seperti material penyebab kekeruhan pada air baku, padatan organik, anorganik, alga, bakteri, koloid, dan bahan-bahan kimia baik itu yang secara alami terdapat pada air baku atau bahan kimia yang

ditambahkan sebagai koagulan dan terpresipitasi diproses. Residu dari pengolahan air bersih di PDAM hingga saat ini masih dibuang kembali ke badan air (Sungai Kapuas). Pengaruhnya terhadap Sungai Kapuas dapat dikategorikan menjadi pengaruh estetika, pengaruh terhadap biota air di dalamnya dan pengaruh terhadap masyarakat yang tinggal didekat Sungai Kapuas yang memanfaatkan air tersebut untuk kebutuhan hidup mereka.

Saat ini, Indonesia telah memiliki peraturan khusus tentang residu dari IPAM. Peraturan yang berlaku di Indonesia saat ini yaitu Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2005. Pada pasal 9, ayat 3, disebutkan bahwa limbah akhir dari proses pengolahan wajib diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke pembuangan akhir. Oleh karena itu, diperlukan suatu Sistem Pengolahan Lumpur (SPL) di IPAM PDAM Kota Pontianak, yang selain dapat memenuhi peraturan yang berlaku, juga diharapkan dapat mengurangi pengaruhnya terhadap Sungai Kapuas, serta dapat meningkatkan kualitas lingkungan di sekitarnya. Selain diolah lumpur yang dihasilkan juga dapat dikelola dengan manajemen yang baik sehingga pembuangan lumpur ke Sungai Kapuas tidak menimbulkan dampak yang buruk bagi badan air, lingkungan dan masyarakat.

2.3 Aluminium

Aluminium pertama kali ditemukan oleh Sir Humprey Davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted, pada tahun 1825. Aluminium (Al) adalah unsur kimia dengan nomor atom 14 dan massa atom 26,9815. Unsur ini mempunyai isotop alam : Al-27. Sebuah isomer dari Al-26 dapat meluruhkan sinar dengan waktu paruh 10 pangkat 5 tahun. Aluminium berwarna putih keperakan, mempunyai titik lebur 659,7°C dan titik didih 2,057°C, serta berat jenisnya 2,699. Aluminium mudah dilengkungkan dan dibuat mengkilat, serta larut dalam asam klorida dan asam sulfat berkonsentrasi di atas 10%, tetapi tidak larut dalam asam organik (Christoph Schmitz, et al, 2006).

Aluminium adalah logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi, dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Aluminium terdapat di kerak bumi sebanyak kira-kira 8,07% hingga 8,23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi, dengan produksi tahunan dunia sekitar 30 juta ton pertahun dalam bentuk bauksit dan bebatuan lain (*corrundum*, *gibbsite*, *boehmite*, *diaspore*, dan lain-lain). Sulit menemukan aluminium murni di alam karena aluminium merupakan logam yang cukup reaktif (Christoph Schmitz, et al, 2006).

Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan terdapat di tempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya. Aluminium murni 100% tidak memiliki kandungan unsur apapun selain aluminium itu sendiri, namun aluminium murni yang dijual di pasaran tidak pernah mengandung 100% aluminium, melainkan selalu ada pengotor yang terkandung di dalamnya. Pengotor yang mungkin berada di dalam aluminium murni biasanya adalah gelembung gas di dalam yang masuk akibat proses peleburan dan pendinginan/pegecoran yang tidak sempurna, material cetakan akibat kualitas cetakan yang tidak baik, atau pengotor lainnya akibat kualitas bahan baku yang tidak baik (misalnya pada proses daur ulang aluminium). Umumnya, aluminium murni yang di jual di pasaran adalah aluminium murni 99%, misalnya aluminium foil. Penggunaan aluminium antara lain untuk pembuatan kabel, kerangka kapal terbang, mobil dan berbagai produk peralatan rumah tangga. Senyawanya dapat digunakan sebagai obat, penjernih air (tawas), fotografi serta sebagai ramuan cat, bahan pewarna, ampelas dan permata sintesis (Christoph Schmitz, et al, 2006).

Alum atau tawas merupakan salah satu senyawa kimia yang dibuat dari molekul air dan dua jenis garam. Selain itu terdapat jenis alum kalium, yang juga sering dikenal dengan alum. Alum kalium ini mempunyai rumus formula yaitu $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$. Alum kalium merupakan jenis alum yang paling penting. Alum kalium merupakan senyawa yang tidak berwarna dan mempunyai bentuk kristal oktahedral atau kubus ketika kalium sulfat dan aluminium sulfat keduanya dilarutkan dan didinginkan. Larutan alum kalium tersebut bersifat asam. Alum kalium sangat larut dalam air panas. Ketika kristal alum kalium dipanaskan

terjadi pemisahan secara kimia, dan sebagian garam yang terdehidrasi terlarut dalam air. Alum kalium memiliki titik leleh 900°C (Alearts dan Santika, 1984).

Tipe lain dari alum adalah aluminium sulfat yang mencakup alum natrium, alum amonium, dan alum perak. Alum digunakan untuk pembuatan bahan tekstil yang tahan api, obat, dan sebagainya. Aluminium sulfat padat dengan nama lain: alum, alum padat, aluminium alum, cake alum, atau aluminium salt adalah produk buatan berbentuk bubuk, butiran, atau bongkahan, dengan rumus kimia $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (Alearts dan Santika, 1984).

Kekeruhan dalam air dapat dihilangkan melalui penambahan sejenis bahan kimia yang disebut koagulan. Pada umumnya bahan seperti Aluminium sulfat [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$] atau sering disebut alum atau tawas, fero sulfat, *Poly Alumminium Chloride* (PAC) dan poli elektrolit organik dapat digunakan sebagai koagulan. Untuk menentukan dosis yang optimal, koagulan yang sesuai dan pH yang akan digunakan dalam proses penjernihan air, secara sederhana dapat dilakukan dalam laboratorium dengan menggunakan tes uji yang sederhana. Prinsip penjernihan air adalah dengan menggunakan stabilitas partikel-partikel bahan pencemar dalam bentuk koloid. Stabilitas partikel-partikel bahan pencemaran ini disebabkan oleh (Alearts dan Santika, 1984):

1. Partikel-partikel kecil ini terlalu ringan untuk mengendap dalam waktu yang pendek (beberapa jam).
2. Partikel-partikel tersebut tidak dapat menyatu, bergabung dan menjadi partikel yang lebih besar dan berat, karena muatan listrik pada permukaan, elektrostatis antara muatan partikel satu dan yang lainnya. Stabilitas partikel-partikel bahan pencemar ini dapat diganggu dengan pembubuhan koagulan. Dalam proses penjernihan air secara kimia melibatkan dua proses yaitu koagulasi dan flokulasi.

Tawas/aluminium sulfat adalah bahan kimia yang sering digunakan orang untuk proses penjernihan air. Fungsi tawas/aluminium sulfat adalah sebagai bahan penggumpal padatan-padatan yang terlarut di dalam air. Tawas/aluminium sulfat mempunyai rumus kimia $((Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O))$. Aluminium dalam tawas adalah ion logam berat yang toksik dan kebanyakan masuk ke dalam tubuh manusia bersama dengan makanan. Pada usus ion logam tersebut diserap ke dalam darah, dan akan terikat sekitar 90% pada eritrosit dan sisanya berada dalam plasma. Ion aluminium tersebut terdistribusi ke seluruh jaringan dan berikatan dengan protein pengikat logam (*metalotionein*) karena logam tersebut mempunyai kecenderungan untuk berikatan dengan gugus sulfidrilnya (Cheung, R. C. K., et al, 2001).

Toksisitas logam berat pada manusia menyebabkan beberapa akibat negatif terutama menyebabkan kerusakan jaringan detoksifikasi dan ekskresi yakni hati dan ginjal. Beberapa logam berat juga bersifat karsinogenik dan teratogenik (salah bentuk organ pada embrio). Pada tubuh, logam berat dapat dideteksi dalam 3 jaringan utama yang menjadi kompartemen, yaitu di dalam darah terikat pada eritrosit, dalam hati dan ginjal serta pada tulang dan jaringan keras seperti gigi dan kuku. Jika kandungan logam berat tersebut dalam plasma proporsi onal, kandungan tersebut terdapat dalam bentuk faeses, keringat, air susu ibu serta didepositkan dalam kuku dan rambut. Akan tetapi biasanya ekskresi tersebut adalah sangat kecil (Guyton and Hall, 1996).

Menurut (Darmono, 1996) pada tubuh manusia terjadi mekanisme pertahanan tubuh berupa detoksifikasi, terutama terhadap racun dan logam-logam berat. Mekanisme tersebut pada garis besarnya berupa pencegahan masuknya ion logam, mengeluarkan kembali ion logam serta mengasingkan ion logam yang masuk ke dalam sel tubuh dapat melakukan detoksifikasi, maka dikhawatirkan akan terjadi penyakit atau kerusakan organ apabila proses detoksifikasi tidak terjadi dengan sempurna.

Hampir semua proses IPAM pada PDAM yang konvensional menggunakan tawas/PAC (*poly aluminium chloride*) sebagai bahan koagulan pada proses koagulasi, penentuan jenis koagulan ini tergantung dari jenis air bakunya, begitu juga pada proses pengolahan air bersih di PDAM Kota Pontianak yang menggunakan tawas sebagai bahan koagulan, karena sumber air baku yang digunakan pada proses IPAM merupakan air gambut yang mempunyai tingkat warna dan kekeruhan cukup tinggi, sehingga penggunaan alum dianggap optimal untuk proses pengolahan air minum secara konvensional.

2.4 Dampak dan Penanggulangan Bahaya Aluminium

2.4.1 Bagi Manusia

Dampak yang dapat ditimbulkan akibat terpapar aluminium yaitu sebagai berikut (Departemen Kesehatan, 2007):

- (1) Kerusakan pada sistem saraf
- (2) Kerusakan paru-paru
- (3) Demensia (menurunnya kekuatan intelektual otak)
- (4) Kehilangan memori ingatan (*alzheimer*)
- (5) Kelesuan
- (6) Gemetar berat
- (7) Gangguan ginjal
- (8) Gangguan sistem pencernaan

Penanggulangan yang bisa dilakukan terhadap bahaya diatas yaitu (Departemen Kesehatan, 2007):

- (1) Terapi farmakologis seperti menggunakan obat asetilkolinesterase inhibitor, vitamin, dan antioksidan;
- (2) Sesegera minum air sebanyak mungkin ketika bahan yang mengandung aluminium tertelan;
- (3) Menggunakan obat hirup (*ventolin inhaler*); dan
- (4) Meminum obat levodopa, bromokriptin, pergolid, selegilin, atau antikolinergik.

2.4.2 Bagi Lingkungan

Dampak lingkungan yang terjadi akibat tercemar oleh aluminium diantaranya (Departemen Kesehatan, 2007):

(1) Pencemaran kehidupan air

Ion aluminium bereaksi dengan protein dalam insang ikan dan embrio katak akan mengakibatkan kematian. Hewan seperti burung atau bahkan manusia yang memakan ikan tersebut juga akan otomatis terkontaminasi.

(2) Pencemaran tanah

Aluminium terakumulasi dalam air tanah akan merusak akar tanaman dan mencemari bagian dalam tanaman sehingga bila ada hewan atau manusia yang memakan tanaman tersebut maka akan terpapar secara tidak langsung. Selain itu aluminium juga dapat mengurangi kadar posfat karena ion aluminium bereaksi dengan ion fosfat, sehingga organisme-organisme tanah akan kekurangan fosfat sebagai protein yang akan menyebabkan kematian organisme tersebut.

Penanggulangan lingkungan yang dapat dilakukan untuk dampak yang ditimbulkan diatas diantaranya sebagai berikut (Departemen Kesehatan, 2007):

- (1) *Bioremoval* atau penambahan biomassa/mikroorganisme yang dapat mengurangi kandungan logam dalam air;
- (2) Penyaringan air menggunakan *filter mangan zeolit* dan *filter karbon aktif* yang dilengkapi dengan *filter cartridge* dan sterilisator ultra violet untuk menangkap segala bentuk ion logam berbahaya dalam air; dan
- (3) Perebusan tanaman dengan NaCl dan asam asetat konsentrasi rendah yang akan menetralsir kandungan logam dalam tanaman.

2.5 Crustacea

2.5.1 Pengertian Crustacea

Crustacea adalah suatu kelompok besar dari *Arthropoda*, terdiri dari kurang lebih 52.000 spesies yang terdeskripsikan, dan biasanya dianggap sebagai suatu subfilum. Kelompok ini mencakup hewan-hewan yang cukup dikenal seperti lobster, kepiting, udang-udangan, karang, serta teritip. *Crustacea* mayoritas merupakan hewan air, baik air tawar maupun laut, walaupun beberapa kelompok telah beradaptasi dengan kehidupan darat, seperti kepiting darat. Kebanyakan anggotanya dapat bebas bergerak, walaupun beberapa takson bersifat parasit dan hidup dengan menumpang pada inangnya (J. Forest, 2004).

2.5.2 Struktur dan Fungsi Tubuh Crustacea

Tubuh *Crustacea* terdiri atas dua bagian, yaitu kepala dada yang menyatu (*sefalotoraks*) dan perut atau badan belakang (*abdomen*). Bagian *sefalotoraks* dilindungi oleh kulit keras yang disebut karapas dan 5 pasang kaki yang terdiri dari 1 pasang kaki capit (*keliped*) dan 4 pasang kaki jalan. Selain itu, di *sefalotoraks* juga terdapat sepasang antena, rahang atas, dan rahang bawah. Sementara pada bagian *abdomen* terdapat 5 pasang kaki renang dan di bagian ujungnya terdapat ekor. Pada udang betina, kaki di bagian *abdomen* juga berfungsi untuk menyimpan telurnya. Sistem pencernaan *Crustacea* dimulai dari mulut, kerongkong, lambung, usus, dan anus. Sisa metabolisme akan diekskresikan melalui sel api (Konrad W., 2001).

Sistem saraf *Crustacea* disebut sebagai sistem saraf tangga tali, dimana ganglion kepala (otak) terhubung dengan antena (indra peraba), mata (indra penglihatan), dan statosista (indra keseimbangan). Hewan-hewan *Crustacea* bernapas dengan insang yang melekat pada anggota tubuhnya dan sistem peredaran darah yang dimilikinya adalah sistem peredaran darah terbuka. O₂ masuk dari air ke pembuluh insang, sedangkan CO₂ berdifusi dengan arah berlawanan. O₂ ini akan diedarkan ke seluruh tubuh tanpa melalui pembuluh darah. Golongan hewan ini bersifat *diesist* (ada jantan dan betina) dan pembuahan berlangsung di dalam tubuh betina (*fertilisation internal*). Untuk dapat menjadi

dewasa, larva hewan akan mengalami pergantian kulit (*ekdisist*) berkali-kali (Konrad W., 2001).

2.5.3 Klasifikasi Crustacea

Crustacea dibagi menjadi 2 sub-kelas, yaitu *Entomostraca* (udang-udangan rendah) dan *Malacostrata* (udang-udangan besar). *Entomostraca* umumnya berukuran kecil dan merupakan *zooplankton* yang banyak ditemukan di perairan laut atau air tawar. Golongan hewan ini biasanya digunakan sebagai makanan ikan, contohnya adalah ordo *Copepoda*, *Cladocera*, *Ostracoda*, dan *Amphipoda*. Sedangkan, *Malacostrata* umumnya hidup di laut dan pantai. Yang termasuk ke dalam *Malacostrata* adalah ordo *Decapoda* dan *Isopoda*. Contoh dari spesiesnya adalah udang windu (*Panaeus*), udang galah (*Macrobrachium rosenbergi*), rajungan (*Neptunus pelagicus*), dan kepiting (*Portunus sexdentatus*) (J. Forest, 2004).

2.5.4 Hubungan Crustacea dengan Manusia

Sebagian besar *Malacostrata* dimanfaatkan manusia sebagai makanan yang kaya protein hewani, contohnya adalah udang, kepiting, dan rajungan. Namun, beberapa jenis *Crustacea* juga dapat merugikan manusia, contohnya yuyu yang dapat merusak tanaman padi di sawah dan ketam kenari merusak tanaman kelapa di Maluku. Sub-kelas *Entomostraca* juga dimanfaatkan manusia sebagai pakan ikan untuk industri perikanan (J. Forest, 2004).

2.5.5 Crustacea Sebagai Bioindikator

Salah satu cara yang digunakan untuk memantau perubahan yang terjadi di dalam suatu ekosistem adalah pemanfaatan bioindikator. Menurut (Wilhm, 1975) menyatakan bahwa bioindikator ekologis adalah makhluk yang diamati penampakkannya untuk dipakai sebagai petunjuk tentang keadaan kondisi lingkungan dan sumber daya pada habitatnya yang biasanya menggunakan makrozoobentos.

Makrozoobentos merupakan kelompok organisme yang biasa digunakan sebagai indikator pencemaran dalam pengukuran kualitas lingkungan perairan. Makrozoobentos berukuran lebih besar dari 1 mm yang biasanya tidak mempunyai tulang belakang dan merupakan salah satu kelompok organisme yang mudah dideteksi untuk menduga tingkat pencemaran di suatu kawasan ekosistem perairan misalnya: *Odonata*, *Gastropoda*, *Diptera*, dan *Crustacea* (Wilhm, 1975).

Menurut (Wilhm, 1975) *Crustacea* merupakan organisme fakultatif atau intermediat. Organisme tersebut adalah organisme yang dapat bertahan hidup pada kisaran perubahan kondisi lingkungan yang tidak terlalu tercemar atau masuk ke dalam kategori tercemar sedang. Kelompok ini dapat bertahan hidup pada perairan yang banyak mengandung bahan organik dan cenderung hidup di dasar perairan. Meskipun demikian kelompok ini tidak dapat mentolerir tekanan lingkungan dan cukup peka terhadap penurunan kualitas suatu perairan.

Menurut (Pond, 2009) faktor fisika, kimia, dan biologi dapat mempengaruhi keadaan dan penyebaran makrozoobentos di lingkungan perairan. Faktor tersebut antara lain adalah kecepatan arus, suhu, kekeruhan, substrat dasar, kedalaman, TSS, pH, DO, kandungan padatan tersuspensi (TSS), amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), makanan, kompetisi hubungan pemangsaan, dan penyakit.

2.6 Analisis Risiko Lingkungan

2.6.1 Pengertian Analisis Risiko Lingkungan

Ada beberapa definisi dari analisis risiko lingkungan. Menurut EPA analisis risiko lingkungan adalah karakterisasi dari bahaya-bahaya potensial yang berefek pada kesehatan manusia dan bahaya terhadap lingkungan (www.epa.gov/iris/: *Integrated Risk Information System*).

Menurut (Richardson, M. L., 1989) analisis risiko lingkungan adalah proses pengambilan keputusan untuk mengatasi masalah dengan keragaman kemungkinan yang ada dan ketidakmungkinan yang akan terjadi. Dalam analisa risiko pertama kali masalah harus didefinisikan dan risiko diperkirakan, kemudian risiko dievaluasi dan dipertimbangkan juga faktor-faktor yang mungkin bisa mempengaruhi sehingga bisa diputuskan tindakan mana yang bisa diambil.

Dalam analisis risiko ada beberapa tahap yang harus dilalui yaitu.

1. Identifikasi zat berbahaya;
2. Perkiraan penyebaran;
3. Perkiraan daya racun;
4. Perkiraan risiko; dan
5. Manajemen risiko.

Secara harfiah arti dari risiko adalah probabilitas terjadinya suatu hal yang menyebabkan kehilangan ataupun kerugian. Bahaya (*hazard*) dan risiko (*risk*) adalah kata-kata yang digunakan dalam bahasa sehari-hari dengan arti yang hampir sama, secara teknis keduanya mempunyai perbedaan yaitu:

1. Bahaya (*hazard*): karakteristik atau sifat benda, kondisi atau aktifitas yang berpotensi menimbulkan kerusakan, kerugian kepada manusia, harta benda, dan lingkungan.
2. Risiko (*risk*): penggabungan dari akibat-akibat yang mungkin diterima dari bahaya yang telah ada terhadap manusia.

Pengertian bahaya (*hazard*) dan risiko (*risk*) menurut (Richardson, M. L., 1989) adalah :

1. Bahaya (*hazard*): keberadaan dari materi yang berefek pada sistem kehidupan seperti manusia, hewan, atau lingkungan yang terpapar.
2. Risiko (*risk*): akibat yang terjadi atau diperkirakan akan terjadi karena adanya bahaya yang terpapar pada populasi dalam dosis atau konsentrasi tertentu. Risiko ini menggambarkan frekuensi dan intensitas dari bahaya kepada populasi yang terpapar.

Bahaya dan risiko adalah konsep yang didasarkan pada probabilitas. Probabilitas diukur dalam skala 0 sampai 1. Nilai mendekati 0 berarti kemungkinan kejadian sangat kecil, dan nilai mendekati 1 berarti kemungkinan terjadinya besar (Richardson, M. L., 1989). Menurut (Watts, R. J., 1997) definisi dari risiko yang berkaitan dengan keberadaan limbah berbahaya adalah kemungkinan masuknya bahaya yang berasal dari limbah bahan berbahaya yang berefek pada kesehatan manusia, ekologi, dan lingkungan.

Dalam analisis risiko ada 2 (dua) jenis risiko yang harus diperhitungkan yaitu risiko awal (*background risk*) dan risiko tambahan (*incremental risk*). Risiko awal adalah risiko yang diterima oleh populasi tanpa adanya senyawa kimia berbahaya di lokasi yang akan dianalisa, sedangkan risiko tambahan adalah besarnya risiko yang diterima karena adanya zat kimia berbahaya di dalam lingkungan. Total risiko adalah penjumlahan antara risiko awal dan risiko tambahan (Watts, R. J., 1997).

Risiko dapat dirumuskan apabila terdapat:

1. Bahaya (*hazard*).
2. Jalan perpindahan (*pathway*), yaitu dengan apa efek bahaya dapat berpindah.
3. Target/*receptor*, yaitu penerima yang terkena efek bahaya.

Analisa risiko lingkungan ada lima langkah yang harus dilakukan untuk mengetahui besarnya risiko, yaitu (Watts, R. J., 1997) :

1. *Hazard Identification*, meliputi identifikasi keberadaan zat kimia berbahaya di sumber dan karakteristiknya (analisis sumber pencemar).
2. *Exposure Assesment*, meliputi bagaimana zat berbahaya tersebut berpindah ke reseptor dan jumlah *intake* yang diambil (analisis jalur perpindahan).
3. *Toxicity Assesment*, meliputi indikasi numerik dari tingkat toksisitas untuk menghitung besarnya risiko (analisis reseptor).
4. *Risk Assesment*, meliputi penentuan jumlah risiko secara numerik dan ketidakpastian dari perkiraan tersebut.
5. *Risk Manajement*, meliputi penentuan suatu alternatif pengolahan untuk mengurangi serta mengendalikan risiko yang terjadi.

2.6.2 Tujuan Analisis Risiko Lingkungan

Analisis risiko digunakan untuk mengetahui besarnya risiko yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan dalam manajemen risiko. Dalam pengelolaan limbah bahan berbahaya beracun (B3), analisis risiko menyediakan informasi guna dapat memilih dan memutuskan pengolahan dan pembuangan limbah secara tepat, remediasi lahan terkontaminasi, minimalisasi produksi limbah, penentuan lokasi dan pengembangan produk-produk baru. Dalam analisis risiko perlu ditekankan dan diperhatikan bahwa

perkiraan risiko adalah salah satu sumber informasi dan banyak faktor lain yang mempengaruhi pengambilan keputusan seperti adanya campur tangan politik, ekonomi, sosial dan faktor-faktor lainnya (LaGrega, M. D., et al, 2001).

Informasi dari hasil analisis risiko digunakan dalam proses manajemen risiko dalam mempersiapkan pengambilan keputusan dalam rangka perlindungan ekosistem lingkungan (www.epa.gov/iris/: *Integrated Risk Information System*). Contoh dari penerapan manajemen risiko adalah dalam pengambilan keputusan berapa banyak parameter kontaminan yang diperbolehkan dibuang ke badan air.

Beberapa tujuan dalam analisis risiko lingkungan adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperkirakan batasan atau akibat dari kejadian terburuk yang mungkin terjadi dengan atau tanpa perkiraan.
2. Untuk membantu dalam penentuan peraturan dan kebijakan.
3. Untuk memperkirakan besarnya risiko yang masih bisa diterima.

2.7 Tahapan Analisis Risiko Lingkungan

2.7.1 Identifikasi Zat Berbahaya (*Hazard Identification*)

Identifikasi bahaya atau *hazard identification* adalah langkah pertama yang dilakukan dalam analisis risiko lingkungan. Identifikasi bahaya perlu dilakukan karena tidak mungkin untuk menganalisa semua zat kimia yang ada di dalam suatu daerah yang tercemar. Dengan dilakukannya identifikasi bahaya dapat diketahui bahaya paling potensial yang harus dipertimbangkan atau mewakili risiko yang mendesak. Dalam analisis risiko diperlukan data zat kontaminan apa yang terdapat dalam lokasi yang tercemar, konsentrasi, luasan distribusi, dan bagaimana kontaminan berpindah ke reseptor potensial di sekitar lokasi.

Lahan yang tercemar mungkin terdapat banyak zat kontaminan, apabila semua zat tersebut diamati maka data yang perlu diolah akan menjadi terlalu banyak dan tidak realistis. Untuk itu diperlukan suatu *screening* (penyaringan) terhadap zat kimia tersebut untuk mengetahui bahan kimia yang spesifik, yang paling dikawatirkan dan diharapkan dapat mewakili semua zat kimia yang terdeteksi pada lokasi. Tujuannya adalah untuk memperkecil jumlah dari bahan

kimia yang harus dijadikan model pada analisis dan menjadi fokus usaha pengendalian.

Secara toksikologi, dalam memilih zat kimia yang akan dianalisis didasari pertimbangan sebagai berikut:

1. Paling bersifat toksik, menetap, dan dapat berpindah-pindah tempat.
2. Paling umum dan merata keberadaannya baik secara konsentrasi dan distribusi (LaGrega, M. D., et al, 2001).

Salah satu pendekatan yang dilakukan untuk memilih zat kimia yang terdeteksi di lokasi dimulai dengan pemilihan awal yang dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Memilih media kontaminasi yang akan diteliti (misalnya: air permukaan).
2. Mentabulasikan semua zat kontaminan yang terdeteksi di dalam lokasi baik rata-rata maupun batasan konsentrasi yang ditemukan di lokasi.
3. Mengidentifikasi bahaya parameter kontaminan.

Perangkingan nilai bahaya berdasarkan skor/ranking menunjukkan parameter kontaminan mana yang memiliki nilai bahaya tertinggi berdasarkan konsentrasi maksimal dan nilai ambang batasnya (baku mutu).

Dalam penentuan parameter kontaminan yang kemudian akan mewakili untuk dianalisis memerlukan evaluasi lanjutan untuk mengetahui konsentrasi, mobilitas di lingkungan badan air, dan masalah-masalah lainnya, untuk itu perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Konsentrasi rata-rata;
2. Frekuensi pemaparan;
3. Mobilitas;
4. Keberadaannya dalam lingkungan; dan
5. Zat kimia lain yang berhubungan.

2.7.2 Perkiraan Penyebaran (*Exposure Assesment*)

Tahapan kedua dalam analisis risiko lingkungan adalah perkiraan penyebaran (*exposure assesment*) terhadap suatu populasi yang mungkin terkena dampak. Perkiraan penyebaran (*exposure assesment*) adalah salah satu segi dalam analisis risiko yang menghitung besarnya level pemaparan aktual dari populasi atau individu yang terpapar. Untuk memberikan pengertian akan sumber kontaminasi, hal yang harus dilakukan adalah menggambarkan sumber dan distribusi kontaminan pada lokasi dilanjutkan bagaimana zat ini bisa terlepas ke lingkungan, bagaimana kontaminan berpindah tempat dan reseptor potensial yang mungkin terkena (LaGrega, M. D., et al, 2001).

Menurut (Watts, R.J., 1997), pemaparan (*exposure*) adalah kontak dari organisme seperti manusia dan spesies lain dengan kontaminan. Tujuan dari perkiraan penyebaran (*exposure assesment*) adalah memperkirakan jumlah konsentrasi kontaminan ke lingkungan.

Hal awal yang dilakukan dalam *exposure assesment* adalah:

1. Identifikasi jalur penyebaran.
2. Perkiraan konsentrasi.

Tingkat pemaparan diukur berdasarkan pada frekuensi dan durasi pemaparan pada media seperti tanah, air, udara atau makanan. Tingkat pemaparan suatu kontaminan tergantung pada konsentrasi awal dari suatu kontaminan, penyebaran dan pengencerannya pada media udara, air, tanah maupun makanan. Reaksi kimia yang terjadi dalam media dimungkinkan dapat menyebabkan cemaran menjadi lebih berbahaya atau tingkat bahayanya dapat berkurang dari senyawa aslinya.

Konsentrasi dari zat kimia yang menyebar dapat diperkirakan dengan data hasil *sampling* dan dengan model *transport*. Dalam perkiraan persebaran terdapat rantai peristiwa yang saling berhubungan. Rantai persebaran ini dinyatakan sebagai rute atau *pathway*.

Dalam rantai persebaran terdapat elemen-elemen yang menjadi bagian dari analisis perpindahan (LaGrega, M. D., et al, 2001), yaitu:

- (1) Sumber.
- (2) Mekanisme pelepasan zat kimia, misalnya dengan perlindian.
- (3) Mekanisme *transport*, misalnya melalui aliran permukaan.
- (4) Mekanisme *transfer*, misalnya dengan absorpsi.
- (5) Mekanisme transformasi, misalnya dengan degradasi/biodegradasi.
- (6) Titik persebaran, misalnya pada aliran buangan lumpur cair PDAM Kota Pontianak.
- (7) Reseptor, misalnya biota air permukaan.
- (8) Rute persebaran.

2.7.3 Perkiraan Daya Racun (*Toxicity Assesment*)

Perkiraan daya racun atau *toxicity assesment* adalah tahap ketiga dari analisis risiko lingkungan. Pada tahap ini dijelaskan tentang tingkat toksisitas dari suatu zat kimia yang dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah (PP) atau Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes). Apabila nilai daya racun melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan maka dapat terjadi pencemaran atau dapat berdampak negatif bagi makhluk hidup dan lingkungan.

Perkiraan daya racun ini dapat diketahui dengan menggunakan metode hasil bagi (*quotent*) atau metode rasio (Cockerham and Shane, 1994). Metode ini digunakan dengan membandingkan nilai konsentrasi bahan berbahaya di lingkungan dengan nilai baku mutu yang sesuai dengan Peraturan Pemerintah atau Permenkes. Perkiraan daya racun aluminium pada buangan lumpur PDAM ini menggunakan metode yang sama yaitu metode hasil bagi. Metode yang dilakukan adalah dengan membandingkan nilai konsentrasi aluminium yang terdapat pada sampel air dengan nilai kadar maksimum yang diperbolehkan menurut Permenkes No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Nilai kadar maksimum yang diperbolehkan menurut Permenkes No. 492 untuk parameter aluminium adalah 0,2 mg/l.

Berikut ini metode yang dilakukan pada perkiraan daya racun aluminium pada lumpur PDAM Kota Pontianak:

$$T = \frac{\text{Konsentrasi bahan berbahaya di lingkungan}}{\text{Kadar maksimum yang diperbolehkan}}$$

Dengan:

T = daya racun (*toxicity*)

Konsentrasi bahan berbahaya di lingkungan = Konsentrasi aluminium pada air sampel yang melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan.

Kadar maksimum yang diperbolehkan = 0,2 mg/l untuk parameter aluminium (menurut Permenkes No. 492 Tahun 2010).

2.7.4 Perkiraan Risiko (*Risk Assessment*)

Perkiraan risiko atau *risk assesment* adalah tahapan keempat dari analisis risiko lingkungan. Risiko dapat diterima jika tingkat bahaya atau *hazard* indeksnya lebih kecil dari satu. Apabila sebuah pemaparan terdapat lebih dari satu macam zat kimia, dan indeksnya harus di jumlah untuk tiap-tiap senyawa kimia tersebut. Setelah diperhitungkan dan diketahui besarnya risiko pembuangan pencemar diharapkan dapat diambil keputusan yang terbaik (manajemen risiko) dalam rangka perlindungan lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Perkiraan risiko lingkungan dihitung dengan menggunakan metode hasil bagi (*quotent*) atau metode rasio (Cockerham and Shane, 1994). Metode ini dilakukan dengan membandingkan konsentrasi bahan berbahaya yang ditemukan di lingkungan dengan konsentrasi bahan berbahaya bagi target paparan (*endpoint*) untuk bahan berbahaya yang sama.

Daya racun logam terhadap biota air dinyatakan dalam LD₅₀ dan LC₅₀. LD₅₀ adalah dosis tertentu yang dinyatakan dalam miligram berat bahan uji per kilogram berat badan (BB) hewan uji yang menghasilkan 50% respon kematian pada populasi hewan uji dalam jangka waktu tertentu. LD₅₀ artinya berapa mg/kg bahan kimia dapat membunuh 50% binatang percobaan. LD/*Lethal Dosis* hanya merupakan perkiraan bagi hewan dan lebih banyak dipakai untuk bahan-bahan kimia yang dapat menimbulkan efek akut (Walker, C. H., et al, 2006).

LC₅₀ adalah standar ukuran dari tingkat toksisitas suatu media yang dapat membunuh setengah dari populasi sampel yang dilakukan uji spesifikasi pada hewan dalam kurun waktu tertentu. LC₅₀ dapat diukur dalam satuan miligram dari per liter bahan, atau ppm (*part per milion*). LC₅₀ dapat digunakan dalam perbandingan toksisitas. Nilai LC₅₀ tidak dapat langsung diekstrapolasi dari satu spesies ke spesies lain atau juga manusia. Dosis atau konsentrasi polutan yang akan menyebabkan respon beracun telah ditetapkan pada tingkat 50% digunakan sebagai standar acuan antara berbagai jenis uji toksisitas. Inilah konsentrasi yang disebut sebagai konsentrasi yang mematikan/konsentrasi letal dan disingkat LC₅₀ (Walker, C. H., et al, 2006).

Daya racun ion logam aluminium terhadap biota air jenis *Crustacea* dinyatakan dalam LC₅₀ *Crustacea* yaitu daya toksisitas ion logam aluminium terhadap 50% biota air jenis *Crustacea* yang besarnya bervariasi dari 2,3 mg/l sampai 36,9 mg/l (Denneman, 1993).

Berikut ini metode yang digunakan untuk memperkirakan risiko:

$$H = \frac{\text{Konsentrasi bahan berbahaya di lingkungan}}{\text{Konsentrasi bahan berbahaya bagi target sasaran}}$$

Dengan:

H = indeks / rasio kebahayaan (*hazard index*)

Konsentrasi bahan berbahaya di lingkungan = Konsentrasi aluminium pada air sampel yang melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan.

Konsentrasi bahan berbahaya bagi target sasaran = 2,3-36,9 mg/l untuk *Crustacea* (Denneman, 1993).

Menurut (Landis, 1990) kriteria kebahayaan (risiko) dari nilai H adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kriteria Risiko

H	Risiko
> 1	Sangat berisiko
= 1	Risiko potensial / menengah
< 1	Risiko rendah

2.7.5 Manajemen Risiko (*Risk Manajement*)

Tahap terakhir dari analisis risiko lingkungan adalah manajemen risiko. Manajemen risiko adalah merupakan proses terstruktur dan sistematis dalam mengidentifikasi, mengukur, memetakan, mengembangkan alternatif penanganan risiko, memonitor, dan mengendalikan penanganan risiko (Djohanputro, 2008).

Manajemen risiko ini dilakukan apabila terjadi pencemaran terhadap suatu lingkungan. Besar kecilnya risiko pencemaran yang terjadi diharapkan dapat diambil keputusan yang terbaik dalam manajemen risiko lingkungan ini, agar perlindungan terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat tetap terjaga dan terjamin.

Menurut (Djohanputro, 2008) tahap-tahap yang dilalui dalam mengimplementasikan manajemen risiko adalah sebagai berikut:

- (1) Mengidentifikasi terlebih dahulu risiko-risiko yang mungkin akan dialami,
- (2) Mengevaluasi masing-masing risiko yang ditinjau dari *severity* (nilai risiko) dan frekuensinya;
- (3) Pengendalian risiko.

Dalam tahap pengendalian risiko dibedakan menjadi 2 yakni, pengendalian fisik (risiko dihilangkan atau risiko diminimalisir) dan pengendalian finansial (risiko dipindahkan atau risiko ditransfer).