

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Wilayah

2.1.1 Geografi

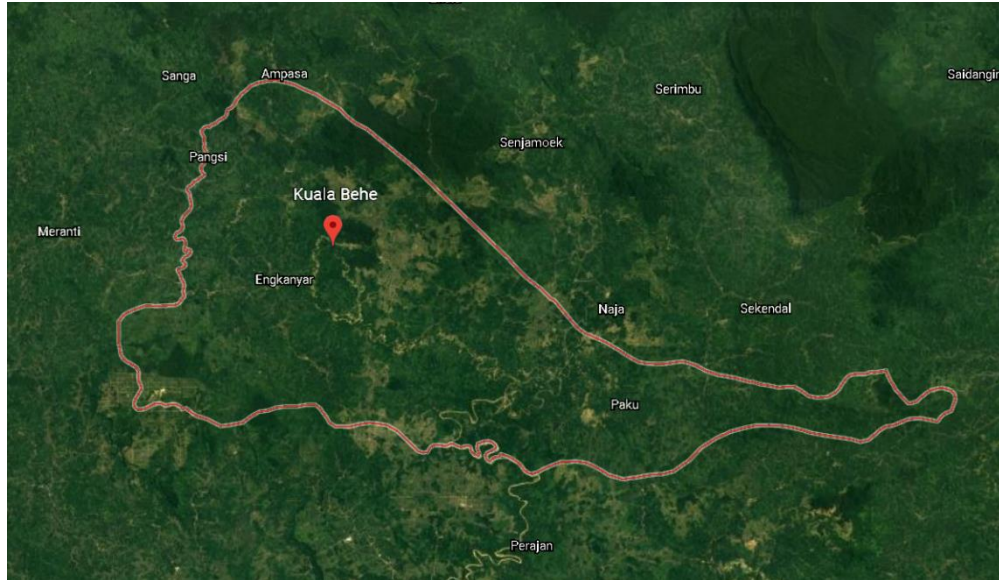
Kecamatan Kuala Behe merupakan satu diantara beberapa kecamatan di Kabupaten Landak, Provinsi Kalimantan Barat. Kecamatan Kuala Behe memiliki luas wilayah sebesar 968,00 Km² yang terbagi menjadi 11 desa. Desa dengan luas wilayah terbesar di Kecamatan Kuala Behe adalah Desa Kuala Behe, Desa Permiit, dan Desa Tanjung Balai (BPS Kab. Landak, 2021). Adapun batas wilayah Kecamatan Kuala Behe adalah sebagai berikut:

- Sebelah Utara: Kecamatan Air Besar, Kabupaten Landak
- Sebelah Selatan: Kecamatan Ngabang, Kabupaten Landak
- Sebelah Timur: Kecamatan Jelimpo Kabupaten Landak
- Sebelah Barat: Kecamatan Meranti, Kabupaten Landak



Gambar 2. 1 Peta Wilayah Kabupaten Landak

Sumber: Badan Pusat Statistik Kab. Landak dalam Angka Tahun 2021



Gambar 2. 2 Batas Wilayah Kecamatan Kuala Behe

Sumber: Google Earth

2.1.2 Demografi

Pada tahun 2020 jumlah penduduk Kecamatan Kuala Behe mencapai 16.709 jiwa, yang terdiri dari 8.863 laki-laki dan 7.846 perempuan. Jumlah penduduk terbanyak di Kecamatan Kuala Behe berada di Desa Kuala Behe. Penduduk di Kecamatan Kuala Behe bekerja sebagai petani, penambang, serta karyawan perkebunan karena hasil alam yang banyak ditemukan di kecamatan ini adalah emas, intan, sawit, rotan, karet, kayu dan sagu (BPS Kab. Landak, 2021). Jumlah dan kepadatan penduduk Kecamatan Kuala Behe pada tahun 2020 disajikan dalam **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Jumlah Penduduk, Luas Desa, dan Kepadatan Penduduk Kecamatan Kuala Behe Tahun 2021

No	Desa	Jenis Kelamin		Jumlah Total	Luas Desa (Km ²)	Kepadatan Penduduk
		Laki-Laki	Perempuan			
1	Sehe Lurus	614	511	1125	82.41	14
2	Kedama	349	286	635	89.37	7
3	Tanjung Balai	624	552	1176	101.33	12
4	Kuala Behe	2055	1830	3885	124.27	31
5	Paku Raya	612	570	1182	53.92	22
6	Nyayum	1213	1038	2251	96.88	23
7	Semedang	910	833	1743	100.17	17
8	Permiit	779	748	1527	106.96	14
9	Angkanyar	495	438	933	71.22	13
10	Bengawan Ampar	526	437	963	55.26	17
11	Sejowet	686	603	1289	86.21	15
Kec. Kuala Behe		8863	7846	16709	968	17

Sumber : BPS Kecamatan Kuala Behe Dalam Angka Tahun 2021

2.1.3 Sarana dan Prasarana Sanitasi

Kecamatan Kuala Behe dengan penduduk yang mayoritas tinggal di pinggir sungai dengan kegiatan sehari-harinya banyak dilakukan dengan memanfaatkan sungai mencari hasil alam, seperti emas. Masyarakat juga masih banyak yang melakukan kegiatan mencuci pakaian, mandi, dan buang air besar sembarangan (BABS) di sungai. Hal ini dapat mengakibatkan sumber daya air dari sungai di Kecamatan Kuala Behe tercemar. Kondisi sanitasi yang masih buruk di Kecamatan Kuala Behe salah satunya diakibatkan oleh masih banyak masyarakat yang belum memiliki sarana dan prasarana sanitasi yang memadai.

2.1.4 Sumber Air Baku

Kecamatan Kuala Behe memiliki sumber air baku yang berpotensi dan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih bagi masyarakat. Adapun sumber air baku di Kecamatan Kuala Behe yaitu Sungai Landak, serta anak sungainya yaitu Sungai Behe dan Sungai Dait. Kondisi air Sungai Landak kurang baik akibat adanya kegiatan pertambangan, perkebunan kelapa sawit, dan limbah domestik dari masyarakat yang tinggal di pinggir sungai. Walaupun kondisi kualitas airnya kurang baik, namun masyarakat tetap menggunakan air Sungai Landak untuk memenuhi kebutuhan hidup mereka. Hal ini dikarenakan tidak adanya sumber air baku lain, dan akses menuju sungai yang cukup dekat mengakibatkan masyarakat tetap menggunakan air Sungai Landak sebagai air baku.

2.2 Standar Kualitas Air Sungai

Standar kualitas air sungai mengacu pada PP Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dalam Lampiran VI. Lampiran VI berisi tentang baku mutu air nasional yang dibagi menjadi baku mutu air sungai dan baku mutu air danau. Baku mutu air sungai diklasifikasikan menjadi empat kelas sebagai berikut:

1. Kelas 1, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
2. Kelas 2, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi

pertanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

3. Kelas 3, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
4. Kelas 4, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.3 Standar Kualitas Air Bersih

Standar kualitas air bersih yaitu berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi. Air untuk keperluan higiene sanitasi yang dimaksud adalah air dengan kualitas tertentu yang digunakan untuk pemeliharaan kebersihan perorangan seperti mandi dan sikat gigi, serta untuk keperluan sehari-hari seperti cuci pakaian, peralatan makan, dan bahan pangan yang kualitasnya berbeda dengan kualitas air minum. Air untuk keperluan higiene sanitasi juga dapat digunakan sebagai air baku untuk air minum (Permenkes, 2017).

Standar kualitas air bersih yaitu Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi meliputi parameter fisik, biologi, dan kimia. Parameter kimia dibagi menjadi dua yaitu parameter wajib dan parameter tambahan. Parameter wajib adalah parameter yang harus diperiksa secara berkala sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan, sedangkan parameter tambahan hanya diwajibkan untuk diperiksa jika kondisi geohidrologi mengindikasikan adanya potensi pencemaran berkaitan dengan parameter tambahan. Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi dapat dilihat pada **Lampiran B**. Adapun parameter-parameter tersebut dijelaskan lebih rinci sebagai berikut:

2.3.1 Parameter Fisik

a. Kekeruhan

Kekeruhan merupakan penggambaran sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh bahan organik baik tersuspensi maupun terlarut seperti pasir halus, lumpur, bahan organik seperti plankton, dan bahan organik (Effendi, 2000).

Kekeruhan pada perairan sungai, terutama pada saat banjir banyak disebabkan oleh bahan-bahan tersuspensi yang berukuran lebih besar berupa lapisan permukaan tanah yang terbawa hanyut oleh aliran air pada saat turunnya hujan. Dampak dari kekeruhan yang tinggi di dalam air adalah terganggunya sistem osmoregulasi yaitu pernafasan dan daya lihat organisme akuatik, serta menghambat masuknya cahaya ke dalam air. Nilai kekeruhan yang tinggi juga dapat menyebabkan usaha penyaringan menjadi sulit dan efektivitas pada pengolahan desinfeksi terhambat (Effendi, 2000).

b. Warna

Warna pada air disebabkan oleh bahan organik dan bahan anorganik akibat adanya plankton, huus, dan ion-ion logam seperti mangan dan besi yang dapat menimbulkan warna pada air. Bahan kimia yang terlarut di perairan merupakan penyebab timbulnya warna yang sesungguhnya, seperti oksidasi besi yang menimbulkan warna kemerahan pada air, oksidasi mangan yang menimbulkan warna kecoklatan atau kehitaman, kalsium karbonat yang menimbulkan warna kehijauan, dan bahan organik dari dekomposisi tumbuhan yang telah mati menimbulkan warna kecoklatan di perairan (Effendi, 2000).

Warna berdampak pada penetrasi cahaya ke dalam air sehingga menghambat proses fotosintesis (Effendi, 2000). Warna yang ada di dalam perairan diakibatkan koloid yang bermuatan negatif sehingga untuk menghilangkannya perlu dilakukan penambahan koagulan yang bermuatan positif seperti aluminium dan besi (Sawyer dan McCarty, 1978).

c. Zat Padat Terlarut (*Total Dissolved Solid*)

Padatan terlarut total (*Total Dissolved Solid/ TDS*) adalah bahan-bahan terlarut (diameter $< 10^{-6}$ mm) dan koloid (diameter $10^{-6} - 10^{-3}$ mm) berupa

senyawa-senyawa kimia dan bahan-bahan lainnya yang tidak tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45 μm (Rao, 1992). Nilai TDS perairan sangat dipengaruhi oleh pelapukan batuan, limpasan dari tanah, dan pengaruh antropogenik (berupa limbah domestik dan industri). Bahan-bahan tersuspensi dan terlarut pada perairan alami tidak bersifat toksik, akan tetapi jika jumlahnya berlebihan, terutama TSS dapat meningkatkan nilai kekeruhan yang selanjutnya menghambat penetrasi cahaya matahari ke kolom air dan akhirnya berpengaruh pada proses fotosintesis di perairan (Effendi, 2000).

d. Suhu

Suhu pada suatu perairan dipengaruhi oleh musim, ketinggian dari permukaan laut (*altitude*), lintang (*latitude*), sirkulasi udara, penutupan awan, waktu dalam satu hari, aliran, dan kedalaman dari badan air. Parameter fisik yaitu suhu mempengaruhi proses fisika, kimia, dan biologi dari badan air. Suhu memiliki peran yang sangat penting dalam mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Kelarutan gas H_2 , N_2 , CO_2 , dan O_2 dapat menurun ketika suhu perairan meningkat (Effendi, 2000).

e. Rasa

Rasa diakibatkan oleh bahan organik seperti algae, dan bahan anorganik di dalam perairan. Karbon aktif adalah pengolan yang paling efektif dalam menghilangkan pencemar rasa di dalam air (Mines, 2014). Klorin, PAC, GAC, aerasi, potasium permanganat, dan ozon adalah proses pengolahan yang dapat menghilangkan pencemar rasa di dalam air menurut *Great Lakes-Upper Mississippi River Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers* (2007).

f. Bau

Bau diakibatkan oleh bahan organik seperti algae, dan bahan anorganik yang ada di dalam perairan. Bau diakibatkan oleh limbah domestik dan industri yang di buang ke badan perairan, dan limbah tersebut biasanya berbau humus hingga telur busuk. Karbon aktif adalah pengolan yang paling efektif dalam menghilangkan pencemar bau di dalam air (Mines, 2014). Klorin, PAC, GAC, aerasi, potasium permanganat, dan ozon adalah proses

pegolahan yang dapat menghilangkan pencemar bau di dalam air menurut *Great Lakes-Upper Mississippi River Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers* (2007).

2.3.2 Parameter Kimia

I. Parameter Wajib

a. pH

pH merupakan salah satu faktor kualitas air yang sangat penting, mengingat pH dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba di dalam air. pH juga akan menyebabkan perubahan kimiawi di dalam air (Mines, 2014). Menurut standar kualitas air bersih berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, pH air bersih 6,5 – 8,5. Apabila nilai pH lebih kecil dari 6,5 atau lebih besar dari 8,5 maka akan menyebabkan korosifitas pada pipa-pipa air yang dibuat dari logam dan dapat mengakibatkan beberapa senyawa kimia berubah menjadi racun yang dapat mengganggu kesehatan manusia.

pH suatu larutan menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam larutan tersebut dan dinyatakan sebagai konsentrasi ion hidrogen (mol/p) pada suhu tertentu. Bila pH dalam air bersifat basa, maka harus ditekan sampai mencapai pH yang diinginkan, dengan menambahkan bahan kimia yang bersifat asam, contohnya H_2SO_4 dan H_3PO_4 . Sebaliknya bila pH terlalu asam maka perlu dilakukan penambahan bahan kimia yang dapat menaikkan pH seperti *polyphosphonate* dan soda kaustik (Mines, 2014).

b. Besi

Besi ditemukan dalam bentuk kation ferro (Fe^{2+}) dan kation feri (Fe^{3+}) dalam perairan. Ketika perairan dengan pH sekitar 7 dan kadar oksigen terlarut yang cukup, ion ferro dioksidasikan menjadi ion ferri, karena sifat ion ferro yang mudah larut (Effendi, 2000). Sumber besi di alam adalah pyrite (FeS_2), hematite (Fe_2O_3), magnetite (Fe_3O_4), limonite [$FeO(OH)$], goethite (FeO_2), dan ochre [$Fe(OH)_3$] (Moore, 1991). Besi pada perairan selain berasal dari alam juga berasal dari industri kimia seperti tekstil, bahan

celupan, minyak, penyulingan serta pada kegiatan pertambangan (Eckenfelder, 1989).

Besi dengan kadar yang tinggi hanya ditemukan pada perairan yang bersifat anaerob, karena adanya proses dekomposisi bahan organik yang berlebihan. Pada perairan, kadar besi yang tinggi dapat mengakibatkan timbulnya warna merah dan mengakibatkan karat pada peralatan yang terbuat dari logam, serta memudahkan bahan celupan dan tekstil (Effendi, 2000). Teknologi penurunan kandungan besi yang tinggi pada air dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain oksidasi, *ion exchange*, *mangan zeolit filtration*, *sequestering process*, *lime softening*, adsorpsi (penjerapan), dan *filtration* (penyaringan) (Mines, 2014).

c. Fluorida

Fluorida (F) di alam bersumber dari *fluorspar* (CaF_2), *cryolite* (Na_2AlF_6), dan *fluorapatite*. Fluorida juga berasal dari pembakaran batu bara dan banyak digunakan dalam industri besi baja, pelapisan logam, aluminium, pestisida, dan gelas (Eckenfelder, 1989). Kadar fluorida yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pada tulang (Effendi, 2000).

Fluorida dapat dihilangkan dengan menggunakan *lime softening* jika konsentrasi magnesium dalam air tinggi, menurut ASCE/AWWA (1990). Koagulasi dengan menggunakan tawas dengan dosis yang tinggi juga dapat menurunkan fluorida, namun tidak disarankan karena akan mengeluarkan biaya yang banyak. Menurut Kawamura (1991) menyarankan untuk menggunakan pengolahan pertukaran ion (*ion exchange*) dengan alumina yang diaktifkan atau koagulasi lime pada air dengan pH 9,5 – 11,3 untuk menurunkan fluorida (Mines, 2014).

d. Kesadahan

Kesadahan (*hardness*) merupakan keberadaan kation logam divalen (valensi dua), yang mana pada perairan tawar logam kalsium dan magnesium merupakan yang paling banyak ditemukan. Kation lain seperti besi valensi dua (kation ferro), strontium, dan mangan juga memberikan kontribusi bagi nilai kesadahan total, akan tetapi peranannya relatif kecil (Effendi, 2000),

Kesadahan pada perairan berasal karena adanya kontak antara air dengan tanah dan bebatuan, yang mengakibatkan ion-ion yang berasal dari tanah atau bebatuan larut ke dalam air. Larutnya ion-ion yang berasal dari tanah juga bebatuan dapat meningkatkan nilai kesadahan lebih banyak yang disebabkan oleh aktivitas bakteri di tanah yang banyak mengeluarkan karbondioksida. Nilai kesadahan air diperlukan dalam penilaian kelayakan suatu perairan yang digunakan untuk kepentingan domestic dan industri. Nilai kesadahan air juga dipakai sebagai dasar untuk pemilihan metode pengolahan air yaitu proses pelunakan air (*water softening*) (Effendi, 2000).

e. Mangan

Mangan merupakan satu diantara logam yang umumnya digunakan pada kegiatan industri seperti industri baterai, baja, keramik, cat, gelas, dan bahan celupan (Eckenfelder, 1989). Mangan di alam berasal dari *pyrolusite* (MnO_2), *rhodocrosite* ($MnCO_3$), *manganite* ($Mn_2O_3 \cdot H_2O$), *housemannite* (Mn_3O_4), *biotite mica* [$K(MgFe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$] dan *amphibole* [$(MgFe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$] (McNeely et al., 1979; Moore, 1991).

Mn^{4+} pada senyawa mangan dioksida mengalami reduksi menjadi Mn^{2+} pada perairan yang bersifat anaerob akibat dekomposisi bahan organik dengan kadar yang tinggi. Mn^{2+} bersifat larut dan dapat berikatan dengan klorida, nitrat, dan sulfat. Apabila perairan kembali mendapat cukup aerasi, Mn^{2+} akan mengalami reoksidasi membentuk Mn^{4+} dan akan mengalami presipitasi dan mengendap di dasar perairan (Moore, 1991). Mangan bukanlah senyawa toksik namun keberadaan mangan dalam air dapat mengendalikan kadar unsur toksik lainnya di perairan seperti logam berat. Kadar mangan (Mn^{2+}) yang tinggi apabila dibiarkan pada udara terbuka akan membentuk koloid karena mendapat cukup aerasi, dan mengakibatkan air menjadi keruh dan membentuk warna coklat gelap (Effendi, 2000).

f. Nitrat, sebagai N

Nitrat merupakan bentuk utama nitrogen di perairan dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan algae. Nitrat bersifat mudah larut di dalam air dan stabil, merupakan hasil dari proses oksidasi ammonia menjadi nitrit dan nitrat, yang sangat penting dalam siklus nitrogen (Effendi,

2000). Nitrifikasi terjadi pada kondisi aerob dan dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas* pada oksidasi amonia menjadi nitrit, dan bakteri *Nitrobacter* pada oksidasi nitrit menjadi nitrat (Novotny dan Olem, 1994).

Kadar nitrat melebihi 5 mg/l dalam perairan menunjukkan terjadinya pencemaran antropogenik yang berasal dari aktivitas manusia dan tinja hewan. Kadar nitrat melebihi 0,2 mg/l dapat menyebabkan timbulnya eutrofikasi (pengayaan) perairan yang selanjutnya memicu pertumbuhan algae dan tumbuhan air secara pesat (*blooming*) (Effendi, 2000). Nitrat biasanya tidak dapat dihilangkan menggunakan pengolahan konvensional seperti dengan pengolahan koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi (ASCE/AWWA, 1990). Pengolahan pertukaran ion (*ion exchange*) adalah pengolahan termudah dan biaya yang murah untuk menghilangkan kontaminan nitrat di dalam air permukaan (AWWA, 1993). Nitrat juga dapat dikurangi dengan menggunakan proses biologi yaitu denitrifikasi, proses yang biasa digunakan pada pengolahan air limbah. Pengolahan dengan osmosis terbalik (*reverse osmosis*) juga dapat menurunkan pencemar nitrat, tapi umumnya pengolahan dengan osmosis terbalik digunakan pada pengolahan air dengan kadar TDS dan salinitas yang tinggi (MWH, 2005). Pertukaran anion (*anion exchange*), osmosis terbalik (*reverse osmosis*), nanofiltrasi dan elektrodialisis adalah proses-proses yang direkomendasikan untuk menurunkan nitrat oleh *Great Lakes-Upper Mississippi River Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers* (2007).

g. Nitrit, sebagai N

Nitrit pada perairan ditemukan dalam jumlah yang sedikit daripada nitrat karena sifatnya yang tidak stabil jika terdapat oksigen. Nitrit merupakan bentuk peralihan antara amonia dan nitrat (nitrifikasi), dan antara nitrat dan gas nitrogen (denitrifikasi). Ditemukannya nitrit pada perairan menggambarkan terjadinya proses biologis yaitu perombakan bahan organik dengan kadar oksigen terlarut sangat rendah (Effendi, 2000).

Sumber nitrit pada perairan yaitu berasal dari limbah domestik dan limbah industri. Kadar nitrit yang melebihi 0,05 mg/l dapat bersifat toksik

bagi organisme perairan yang sangat sensitif (Moore, 1991). Jika nitrit dikonsumsi berlebihan dapat mengakibatkan proses pengikatan oksigen oleh hemoglobin darah terganggu dan membentuk methemoglobin yang tidak mampu mengikat oksigen (Effendi, 2000).

h. Sianida

Sianida merupakan senyawa anorganik dan organik dengan unsur utamanya yaitu siano (CN). Sianida tersebar di perairan dengan bentuk ion sianida (CN⁻), hidrogen sianida (HCN), dan metallosianida. Keberadaan sianida dalam perairan sangat dipengaruhi oleh suhu, pH, oksigen terlarut, salinitas, dan keberadaan ion lainnya. Sianida dalam bentuk ion mudah terserap oleh bahan-bahan tersuspensi dan sedimen dasar. Sianida di perairan berasal dari limbah industri yaitu industri pelapisan logam, pupuk, besi baja, pertambangan emas, dan perak (Effendi, 2000). Efek toksisitas sianida terhadap makhluk hidup adalah terganggunya fungsi hati, kerusakan tulang, dan pernafasan (Moore, 1991).

i. Deterjen

Deterjen merupakan bahan berbahaya bagi lingkungan karena mempunyai kemampuan untuk melarutkan bahan bersifat karsinogen. Deterjen dapat mengganggu kesehatan dan menimbulkan bau, serta rasa yang tidak enak pada air minum. Adapun penyusun dari deterjen adalah surfaktan, senyawa fosfat, pemutih, dan pewangi, fluorescent, serta bahan penambah busa (Yudo, 2010).

j. Pestisida Total

Pestisida adalah bahan kimia yang bersifat toksikan, karena dalam penggunaannya, pestisida ditambahkan secara sengaja ke dalam lingkungan dengan tujuan untuk membunuh beberapa bentuk kehidupan organisme. Idealnya pestisida hanya bekerja pada organisme sasaran yang dikehendaki saja dan tidak berdampak fatal pada organisme lain yang bukan sasaran. Kenyataannya, kebanyakan bahan kimia yang digunakan sebagai pestisida merupakan bahan kimia toksikan umum yang tidak bersifat selektif pada satu organisme saja. Melainkan dapat berdampak pada banyak organisme

termasuk manusia dan organisme lain yang diperlukan oleh lingkungan (Keman, 2001).

Pencemaran pestisida disebabkan dari kuantitas penggunaan pestisida. Pada waktu penggunaan pestisida pada lahan pertanian, perkebunan dan tegalan, tidak semua bahan aktif dari pestisida tersebut menuju tanaman yang merupakan target sasaran. Akan tetapi lebih dari separuhnya akan terbang dan hanyut bersama aliran air sehingga menyumbang terjadinya pencemaran air di perairan (Prabowo, 2012).

II. Parameter Tambahan

a. Air Raksa

Air raksa atau merkuri (Hg) merupakan satu-satunya logam yang berbentuk cair pada suhu yang normal. Senyawa merkuri banyak digunakan pada kegiatan industri seperti industri cat, komponen listrik, baterai, ekstraksi emas dan perak, elektronik, senyawa anti karat, dan fotografi (Eckenfelder, 1989). Sumber merkuri pada perairan yaitu pelapukan dari bermacam-macam batuan dan erosi tanah (Effendi, 2000).

Air raksa atau merkuri pada perairan terserap pada bahan-bahan partikulat dan mengalami presipitasi atau pengendapan. Pada dasar perairan anaerobik, merkuri akan berikatan dengan sulfur. Merkuri anorganik dapat mengalami transformasi menjadi dimetil merkuri dengan bantuan aktivitas mikroba pada kondisi aerob dan anaerob. Air raksa atau merkuri memiliki sifat toksik bagi manusia dan hewan. Garam-garam merkuri akan terserap dalam usus dan terakumulasi pada ginjal dan hati, sedangkan metil merkuri dapat berikatan dengan sel darah merah dan mengakibatkan kerusakan otak (Effendi, 2000).

b. Arsen

Arsen di dalam air ditemukan dalam bentuk arsenite (As^{3+}) atau arsenate (As^{5+}). Arsen pada perairan membentuk senyawa arsenat (AsO_4^{3-}) atau arsenit (AsO_3^{3-}). Sumbernya yaitu berasal dari logam arsenide dan sulfida seperti *niccolite* (NiAs) dan *arsenopyrite* (FeAsS). Pada pelapukan batuan, terjadi pelepasan arsen dalam bentuk oksida (As_2O_3) dan senyawa sulfur (AsS dan As_2S_3) (Effendi, 2000). Arsen digunakan pada kegiatan

industri gelas, metalurgi, tekstil, kertas, keramik, penyulingan minyak, cat, semikonduktor, dan sebagainya (Eckenfelder, 1989).

Arsen merupakan salah satu unsur yang bersifat toksik akut dan kronik terhadap manusia. Manusia dapat mengalami bioakumulasi dan dapat mengalami keracunan jika mengkonsumsi arsen. Toksisitas arsen valensi tiga lebih tinggi dibanding arsen valensi lima, karena lebih mudah terakumulasi pada organ manusia (Effendi, 2000).

Menurut US EPA pengolahan untuk menurunkan kontaminan arsen di dalam air adalah dengan lime softening, pertukaran anion (*anion exchange*), osmosis terbalik (*reverse osmosis*), karbon aktif granular (*granular activated carbon*), dan alumina aktif (*activated alumina*). Koagulan seperti tawas, ferric chloride, ferric sulfate, dan lime telah sukses menghilangkan arsen di dalam air (MWH, 2005). Meskipun begitu, arsen harus dalam bentuk As(V) agar pengolahan dengan koagulasi berhasil. Dalam bentuk As(III), arsen mula-mula harus dioksidasi agar bentuknya dalam air berubah menjadi As (V) dengan penambahan klorin atau permanganat (Mines, 2014).

c. Kadmium

Kadmium (Cd) di perairan sangat sedikit dan bersifat tidak larut dalam air sehingga terserap ke dalam bahan-bahan tersuspensi dan mengendap di dasar perairan. Kadmium merupakan unsur yang banyak dipakai pada industri metalurgi, pelapisan logam, peralatan elektronik, pelumas, baterai, peralatan fotografi, tekstil, plastik, keramik, dan gelas (Eckenfelder, 1989).

Toksisitas dari kadmium dipengaruhi oleh pH dan kesadahan. pH yang tinggi mengakibatkan kadmium mengalami presipitasi atau pengendapan. Kadmium sangat toksik dan berakumulasi terhadap makhluk hidup. Bagi manusia kadmium yang terakumulasi dapat menyebabkan gangguan fungsi ginjal dan paru-paru, meningkatkan tekanan darah, dan kemandulan pada pria dewasa. Keracunan yang terjadi akibat pencemaran kadmium di dalam air yang terkenal adalah timbulnya penyakit 'Itai-itai' di negara Jepang dengan gejala sakit pada tulang (Effendi, 2000).

Pengolahan untuk menurunkan unsur kadmium di dalam air dengan efisiensi removal sebesar 98% dan paling baik digunakan untuk menghilangkan kadmium adalah dengan pengolahan *lime softening*, pada rentang pH 8,5 – 11,3. Selain itu, kadmium dapat dihilangkan dengan pengolahan pertukaran ion (*ion exchange*), *reverse osmosis*, koagulasi dan filtrasi (Mines, 2014).

d. Kromium (Valensi 6)

Kromium (Cr) di alam bersumber dari batuan chromite (FeCr_2O_4) dan chromic oxide (Cr_2O_3) (Novotny dan Olem, 1994). Kromium digunakan pada kegiatan industri seperti industri besi baja, cat, tekstil, fotografi, kertas, keramik, sebagai penghambat korosi, dan sebagai campuran lumpur pengeboran. Kromium di perairan ditemukan dalam bentuk kromium trivalen (Cr^{3+}) dan kromium heksavalen (Cr^{6+}). Kromium trivalen yang masuk ke dalam perairan akan dioksidasi menjadi kromium hexavalen yang lebih toksik. Kromium trivalen terserap ke dalam partikulat dan kromium hexavalen tetap berada dalam larutan. Kromium trivalen merupakan unsur yang esensial bagi tumbuhan dan hewan, sedangkan kromium heksavalen bersifat toksik. Keracunan kromium bagi manusia dapat mengakibatkan gangguan terhadap fungsi hati, ginjal, pernapasan, serta kerusakan pada kulit (Effendi, 2000).

Kromium dalam air dapat dihilangkan dengan pengolahan koagulasi, yaitu dengan penambahan koagulan seperti tawas. Selain itu, kromium juga dapat dihilangkan dengan pengolahan lainnya pertukaran ion (*ion exchange*), *lime softening*, *reverse osmosis*, dan filtrasi (Mines, 2014).

e. Selenium

Selenium (Se) di alam bersumber *ferrosilite* (FeSe_2), *chalcopyrite*, *pentlandite*, dan *pyrrhotite* (Novotny dan Olem, 1994). Selenium digunakan pada kegiatan industri yaitu pada industri cat, fotografi, besi baja, elektronik, pengolahan karet, dan sebagai insektisida. Selenium memiliki sifat toksik rendah pada tumbuhan dan toksik kumulatif terhadap hewan dan manusia. Selenium bersifat karsinogenik dan dapat menyebabkan kerusakan gigi (Effendi, 2000).

f. Seng

Seng (Zn) terdapat di udara, air, tanah, batuan dan biosfer. Seng di dalam perairan sangat dipengaruhi oleh bentuk senyawanya, dikarenakan seng yang berikatan dengan klorida dan sulfat mudah terlarut. Kelarutan seng dapat meningkat jika perairan bersifat asam, kadar seng pada perairan alami kurang dari 0,05 mg/L sedangkan pada perairan asam kadarnya dapat mencapai 50 mg/L (McNeely et al., 1979).

Seng (Zn) termasuk kedalam unsur esensial bagi makhluk hidup, hal ini dikarenakan seng berfungsi untuk membantu kerja enzim dalam pembentukan protein. Seng secara umum tidak toksik terhadap manusia, akan tetapi dalam kadar yang tinggi dapat menimbulkan rasa pada air. Dampak dari mengkonsumsi seng dalam jumlah tinggi dapat menyebabkan penurunan kadar Cu dalam tubuh, pengurangan imunitas tubuh, dan gangguan pada pencernaan (Davis & Cornwell, 1991).

g. Sulfat

Ion sulfat merupakan bentuk oksidasi utama dari sulfur yang bersifat larut dan merupakan salah satu anion utama di perairan. Sulfat banyak digunakan pada kegiatan industri seperti industri kertas, tekstil, metalurgi, penyamakan kulit, dan lain-lain. Ion sulfat yang telah diserap oleh tumbuhan akan mengalami reduksi dan menjadi bentuk sulfhidril (SH) di dalam protein (Effendi, 2000).

Reduksi atau pengurangan oksigen dan penambahan hidrogen anion sulfat menjadi hidrogen sulfida pada kondisi anaerob oleh bakteri heterotrof seperti *Desulfovibrio* selama proses dekomposisi bahan organik akan menimbulkan bau yang kurang sedap dan meningkatkan korosivitas logam, proses ini banyak terjadi pada bagian dasar laut (Effendi, 2000).

h. Timbal

Timbal (Pb) di dalam perairan ditemukan dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Sumber utama timbal di alam adalah galena (PbS), gelesite (PbSO₄), dan cerussite (PbCO₃) (Novotny dan Olem, 1994). Timbal banyak digunakan dalam industri baterai (Eckenfelder, 1989).

Timbal memiliki toksisitas dan kadar yang dipengaruhi oleh kesadahan, pH, kadar oksigen, dan alkalinitas. Jika masuk ke dalam tubuh manusia, timbal akan terakumulasi dan mengakibatkan gangguan pada otak dan ginjal serta kemunduran mental pada anak yang sedang tumbuh. Toksisitas timbal terhadap organisme akuatik dapat berkurang dengan meningkatnya kadar oksigen terlarut dan kesadahan dalam air. Kadar toksisitas timbal lebih rendah daripada kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan merkuri (Hg), namun lebih toksik dibanding mangan (Mn), kromium (Cr), barium (Ba), besi (Fe) dan zinc (Zn) (Effendi, 2000).

i. Benzene

Benzena (C_6H_6) adalah senyawa aromatik dengan enam cincin karbon tunggal tidak jenuh, mempunyai nama lain benzol, *cyclohexatriene*, *phenyl hydride*, atau *coal naphtha*. Penggunaan benzena di lingkungan industri dapat ditemukan pada industri pembuatan karet, pembuatan mesin otomobil, rokok sigaret, obat-obatan, sepatu, pewarna, percetakan dan asap dari proses pembakaran. Pada industri percetakan, benzena dapat berasal dari tabung tinta, silinder pada alat percetakan yang tidak tertutup, tempat keluarnya kertas, jaringan kertas, corong tempat pengisian tinta, dan tumpahan tinta. Paparan benzena pada tingkat rendah dapat menyebabkan pusing atau mengantuk, detak jantung yang cepat, sakit kepala, tremor, dan kebingungan. Pada tingkat yang lebih tinggi dapat menyebabkan ketidaksadaran atau bahkan kematian. Paparan jangka panjang dapat memiliki konsekuensi kesehatan yang serius, terutama di sumsum tulang, atau melalui hilangnya sel darah merah, yang dapat menyebabkan anemia (Febriantika, *et al.*, 2017).

j. Zat Organik ($KMnO_4$)

Zat organik berasal dari bagian binatang atau tumbuh-tumbuhan yang memiliki komponen utama adalah karbon, protein, dan lemak lipid. Zat organik sangat mudah untuk mengalami pembusukan oleh bakteri dengan menggunakan oksigen terlarut. Sisa dari zat organik yang dibuang ke lingkungan disebut juga dengan limbah organik. Limbah organik adalah sisa atau buangan dari berbagai aktivitas manusia seperti rumah tangga, industri,

pemukiman, peternakan, pertanian, dan perikanan. Bahan organik biasanya tersusun oleh karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, fosfor, sulfur, dan mineral lainnya (Halim Haitami, Rakhmina D, Fakhriddani S, 2016). Zat organik pada air dapat dihilangkan dengan pengolahan *lime softening*, dan semakin baik apabila dikombinasikan dengan koagulasi (Mines, 2014).

2.3.3 Parameter Biologi

a. Total *Coliform*

Kualitas air dengan parameter biologi digunakan untuk mengetahui keberadaan bakteri, virus, dan parasit di dalam air. Bakteri yang digunakan untuk menentukan indikator pencemaran di dalam air adalah *Coliform*. Bakteri *Coliform* adalah organisme non spora yang motil atau nonmotil, yang berbentuk batang, dan mampu memfermentasi laktosa untuk menghasilkan gas dan asam pada temperatur 37°C dengan waktu inkubasi selama 48 jam (Abdullah *et al.*, 2019).

b. *E. Coli*

Air dapat menjadi penyebaran penyakit tertentu seperti diare. Air merupakan media yang baik untuk kehidupan bakteri patogen contohnya bakteri *Escherichia coli*. *E. coli* di alam terbuka hidup di dalam tanah. Jika terjadi pencemaran (umumnya pencemar organik yang ditandai dengan BOD tinggi), tanah menjadi media pertumbuhan yang baik untuk bakteri ini dan menyebabkan peningkatan konsentrasi *E. coli* dalam tanah. Saat hujan turun, semakin banyak bakteri ini yang terbawa oleh air tanah masuk ke sungai. Dengan demikian konsentrasi *E. coli* akan terdeteksi tinggi di air tanah dan sungai sehingga mengindikasikan adanya pencemaran tanah. Kuatnya pencemaran juga dipengaruhi oleh faktor musim dan intensitas limbah kegiatan di darat.

Persyaratan mikrobiologis yang harus dipenuhi oleh air menurut Kusnaedi (2010) adalah:

- a. Tidak mengandung bakteri patogen, misalnya bakteri golongan coli, *Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae* yang mudah tersebar melalui air.
- b. Tidak mengandung bakteri non-patogen, seperti *actinomyces*, *phytoplankton coliform*, *cladocera*.

Air yang mengandung golongan coli dianggap telah terkontaminasi (berhubungan) dengan kotoran manusia. Bakteriologis di dalam air dapat dihilangkan melalui proses desinfektan (Mines, 2014).

2.4 Unit Operasi dan Unit Proses dalam Pengolahan Air

Unit operasi merupakan langkah dasar cara pengolahan air baik air minum maupun air buangan, penyisihan aerosol dan partikel padat dari udara, dengan memanfaatkan sifat fluida dan karakteristik fisik yang terkandung di dalamnya. Sebagian besar unit operasi didasarkan secara mekanis pada proses transportasi mendasar dari perpindahan massa, perpindahan panas, dan aliran fluida (perpindahan momentum) (McCabe *et al.*, 1993). Unit operasi dalam pengolahan air meliputi screen, mixing, sedimentasi, flotasi, filtrasi, aerasi, dan kombinasi lainnya yang sesuai dengan kebutuhan spesifik pengguna. Pemilihan unit operasi bergantung pada parameter yang perlu dihilangkan, sumber air baku, dan biaya (Duggal, 2008).

Setiap pengolahan air dilakukan dalam konteks rangkaian pengolahan, yang merupakan kumpulan dari unit proses. Unit proses merupakan proses-proses utama yang digunakan dalam pengolahan air minum dan air limbah, yang melibatkan proses secara kimia dan biologi. Pertukaran ion, adsorpsi, pemisahan membran, aerasi, pelunakan air, perlakuan biologis, dan desinfeksi adalah unit proses yang biasa ditemukan pada pengolahan air (Hendricks, 2006). Adapun unit operasi dan unit proses dalam pengolahan air adalah sebagai berikut:

2.4.1 Koagulasi (*Coagulation*)

Koagulasi merupakan suatu proses penambahan zat koagulan dan pengadukan cepat (*flash mixing*). Pengadukan cepat memiliki tujuan yaitu untuk melarutkan koagulan, mendistribusikan koagulan secara merata dalam air, dan menghasilkan partikel-partikel halus sebagai inti koagulasi sebelum reaksi koagulan selesai (Saputri, 2011).

Pengolahan koagulasi dapat menghilangkan padatan tersuspensi, kekeruhan dan zat penyebab warna dari permukaan air dengan destabilisasi partikel, adsorpsi senyawa terlarut dan pembentukan flok yang dapat mengendap melalui dosis koagulan dan pengadukan (lembut). Koagulasi

menambahkan koagulan yang terdiri dari garam bermuatan positif yang tidak berbahaya bagi kesehatan. Dosis koagulan yang diperlukan tergantung dari jenis koagulan yang digunakan, kekeruhan air, warna, pH, temperatur, dan waktu pencampuran. Penentuan dosis optimum koagulan secara eksperimental yaitu dengan jar test (Darmasetiawan, 2001).

Penelitian terdahulu pengolahan dengan koagulasi dapat menurunkan kekeruhan dengan efisiensi pengolahan sebesar 71,79% dan warna sebesar 72,89% (Novitasari, 2013). Sedangkan untuk parameter besi, efisiensi pengolahan dengan koagulasi sebesar 6,67% (Arifiani, 2007).

2.4.2 Flokulasi (*Flocculation*)

Flokulasi adalah penyisihan kekeruhan air dengan cara penggumpalan partikel kecil menjadi partikel yang lebih besar. Gaya antar molekul yang diperoleh dari agitasi merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap laju terbentuknya partikel flok. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan proses flokulasi adalah pengadukan secara lambat, keadaan ini memberi kesempatan partikel melakukan kontak atau hubungan agar membentuk penggabungan (*agglomeration*) (Susanto, 2008).

Flokulasi melibatkan pengadukan dengan lambat dari yang tidak stabil untuk menyatukan partikel yang kecil menjadi flok yang besar untuk memudahkan pengendapan pada pengolahan selanjutnya. Pada pengolahan flokulasi, pengadukan tidak boleh terlalu cepat/inten, karena flok yang rapuh dapat hancur dan menjadi fragmen yang lebih kecil (Mines, 2014). Penelitian terdahulu pengolahan dengan flokulasi dapat menurunkan kekeruhan dengan efisiensi pengolahan sebesar 82,05% dan warna sebesar 87,90% (Novitasari, 2013). Sedangkan untuk parameter besi, efisiensi pengolahan dengan flokulasi sebesar 14,29% (Arifiani, 2007).

2.4.3 Sedimentasi (*Sedimentation*)

Sedimentasi merupakan sebuah proses fisika dimana partikel tersuspensi, seperti flok, pasir, dan lumpur dihilangkan dari air dengan bantuan gravitasi. Proses sedimentasi sering digunakan dalam pengolahan air permukaan untuk menghindari terjadinya penyumbatan pada saringan pasir cepat, setelah proses koagulasi dan pembentukan flok. Sedimentasi terjadi

karena perbedaan densitas antara partikel tersuspensi dan air, yang mana hal itu dipengaruhi oleh densitas dan ukuran partikel tersuspensi, suhu air, turbulensi, stabilitas aliran, gerusan dasar, dan flokulasi (Mines, 2014).

Faktor yang mempengaruhi sedimentasi yang pertama ialah densitas dan ukuran partikel tersuspensi, dimana semakin besar partikelnya, semakin cepat terjadi pengendapannya. Sedangkan untuk suhu, semakin rendah suhunya, semakin tinggi viskositasnya dan semakin lambat pengendapannya. Faktor berikutnya yang mempengaruhi sedimentasi ialah turbulensi, dimana secara umum semakin turbulen aliran, maka semakin lambat pengendapannya. Namun dalam prakteknya, turbulensi tidak selalu merugikan karena meningkatkan frekuensi tumbukan partikel, sehingga meningkatkan efisiensi pengendapan flokulan. Faktor berikutnya ialah stabilitas yang dicirikan dengan angka Froude (Fr) $> 10^{-5}$ yaitu terjadinya aliran yang stabil pada tangki sedimentasi. Faktor lainnya ketika gerusan dasar dilakukan, partikel yang telah mengendap disuspensikan kembali dan tercuci kembali oleh efluen. Oleh karena itu, kecepatan aliran dalam tangki pengendapan harus lebih rendah dari kecepatan gerusan kritis, agar tidak terjadi gerusan dasar. Faktor terakhir ialah flokulasi dimana pembentukan flok yang besar akibat adanya tumbukan antara partikel, maka akan terjadi peningkatan kecepatan pengendapan. Tangki sedimentasi yang ideal ialah dengan aliran yang stabil ($Fr > 10^{-5}$) dan tidak terjadi turbulen ($Re < 2000$). Pada prakteknya, struktur tangki sedimentasi tidak hanya mempertimbangkan bilangan Reynolds dan Froude, tetapi juga biaya konstruksi, sehingga menyebabkan terjadinya kompromi antara rasio panjang, lebar, dan kedalaman tangki (Mines, 2014).

Penelitian terdahulu pengolahan dengan sedimentasi dapat menurunkan kekeruhan dengan efisiensi pengolahan sebesar 82,05% dan warna sebesar 91,13% (Novitasari, 2013). Sedangkan untuk parameter besi, efisiensi pengolahan dengan sedimentasi sebesar 25% (Arifiani, 2007).

2.4.4 Filtrasi (*Filtration*)

Proses filtrasi adalah mengalirkan air baku melalui media pasir dan untuk menghilangkan sifat fisik air baku yaitu kekeruhan serta mikrobiologi yang terkandung di dalamnya. Dilihat dari segi desain kecepatan, filtrasi

digolongkan menjadi saringan pasir lambat (*slow sand filter*) dan saringan pasir cepat (*rapid sand filter*) (Al-Layla, 1980). Perbedaan *rapid sand filter* dan *slow sand filter* dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2. 2 Perbedaan *Rapid Sand Filter* dan *Slow Sand Filter*

Kriteria	<i>Rapid Sand Filter</i>	<i>Slow Sand Filter</i>
Kec. Filtrasi	4 – 12 m/jam	0,1 – 0,4 m/jam
Ukuran bed	40 – 400 m ²	2.000 m ²
Kedalaman bed	30 – 45 cm kerikil, 60 – 70 cm pasir, tidak berkurang saat pencucian	30 cm kerikil, 90 – 110 cm pasir, berkurang 50 – 80 cm saat pencucian
Ukuran pasir	<i>Effective size</i> >0,55 mm, <i>uniformity coefficient</i> <1,5	<i>Effective size</i> >0,25 – 0,3 mm, <i>uniformity coefficient</i> < 2 – 3
Distribusi ukuran media	Terstratifikasi	Tidak terstratifikasi
Sistem underdrain	Pipa lateral berlubang yang mengalir ke pipa manifold	Pipa lateral berlubang yang mengalir ke pipa manifold atau batu kasar dan beton berlubang sebagai saluran
Kehilangan energi	30 cm saat awal, hingga 275 cm saat akhir	6 cm saat awal, hingga 120 cm saat akhir
Filter run	12 -72 jam	20 – 60 hari
Metode pembersihan	Mengangkat kotoran dan pasir ke atas dengan backwash	Mengambil lapisan pasir di permukaan dan mencucinya
Air untuk pembersihan	1 – 6% dari air tersaring	0,2 – 0,6% dari air tersaring
Pengolahan pendahulu	Koagulasi-flokulasi-sedimentasi	Kekeruhan kurang dari 50 NTU

Sumber: *Schulz dan Okun, 1984*

Filtrasi merupakan proses fisika untuk menghilangkan padatan tersuspensi dan koloid, selain itu pada filtrasi juga terjadi proses kimia dan biologi. Contohnya seperti besi (II) yang dihilangkan dengan aerasi. Namun sebelum itu, besi (II) akan diubah menjadi besi (III) dan flok besi akan terbentuk. Flok besi dihilangkan dengan metode filtrasi. Proses biologis lainnya yang terjadi dalam filtrasi adalah dekomposisi metana, amonium, dan bahan organik yang dapat terurai (Mines, 2014).

Proses filtrasi dimaksudkan untuk menyisahkan partikel koloid yang tidak dapat disisahkan pada proses sebelumnya dan juga untuk mengurangi jumlah bakteri organisme lain (Gaib, Tanudjaja, & Hendratta, 2016). Selama filtrasi, penyumbatan pori meningkat yang mengakibatkan peningkatan resistensi unggun filter dan kualitas efluen yang menurun. Ketika filter

mencapai *head loss* maksimum yang tersedia, *backwash* diperlukan untuk menghindari penurunan kecepatan filtrasi. Selama *backwash*, air mengalir ke arah atas melalui filter. Air menggerus butiran saringan, mengikis padatan yang terakumulasi dari bahan saringan, memperluas dasar saringan, dan mengangkat padatan menuju bak cuci balik.

Penelitian terdahulu pengolahan dengan filtrasi dapat menurunkan kekeruhan dengan efisiensi pengolahan sebesar 79,49% dan warna sebesar 91,53% (Novitasari, 2013). Sedangkan untuk parameter besi, efisiensi pengolahan dengan filtrasi sebesar 77,78% (Arifiani, 2007). Penelitian dengan filter *upflow* dan media pecahan genteng beton dapat menurunkan zat organik dengan efisiensi sebesar 80-90% dan kekeruhan dengan efisiensi diatas 90% (Hutama, 2013).

2.4.5 Desinfeksi (*Disinfection*)

Desinfeksi merupakan proses untuk membunuh bakteri, protozoa, dan virus dengan penambahan desinfektan yang berkuantitas kecil dan tidak beracun bagi manusia. Tujuan desinfeksi adalah untuk menghilangkan atau menonaktifkan mikroorganisme patogen, sehingga penyakit yang ditularkan melalui air dapat dihindari. Reaksi desinfeksi yang terjadi harus dilaksanakan di bawah kondisi normal, termasuk suhu, aliran, kualitas air, dan waktu kontak (Al-Layla, 1980).

Faktor utama yang mengontrol efisiensi desinfeksi dalam pengolahan air adalah kemampuan desinfektan untuk mengoksidasi atau memecahkan dinding sel mikroorganisme dan kemampuan desinfektan untuk berdifusi ke dalam sel dan mengganggu aktivitas selulernya. Desinfeksi dilakukan dengan beberapa cara yaitu klorinasi, penggunaan ozon, UV, hidrogen peroksida dan kloramin. Selama hampir satu abad, gas klorin atau reagen klorin (hipoklorit, dll) adalah desinfektan yang paling banyak digunakan untuk produksi air minum. Klorinasi dapat dilakukan dengan penambahan kalsium hipoklorit (CaOCl_2) sebagai sumber klorinya dapat pula dengan gas Cl_2 . Dosis klor dapat bervariasi tergantung pada kualitas air, temperatur dan kondisi iklim yang lain. Kadar klorin dalam kaporit adalah 65-70% dan masa 80-98 gr/100 ml,

sedangkan klorin dalam gas Cl_2 adalah 99% (Droste, 1997). Penelitian terdahulu pengolahan dengan desinfeksi dapat menghilangkan mikroorganisme dengan efisiensi pengolahan mencapai 100% (Komala, 2014).

2.4.6 Aerasi (*Aeration*)

Aerasi (penambahan gas) dan penghilangan gas biasanya merupakan langkah pengolahan pertama selama produksi air minum dari air tanah atau air tepi sungai. Transfer gas yang diinduksi secara artifisial ini bertujuan untuk penambahan oksigen (O_2) dan penghilangan karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), hidrogen sulfida (H_2S), dan senyawa organik volatil lainnya. Pengurangan konsentrasi karbon dioksida menyebabkan peningkatan pH dan pengurangan karbon dioksida agresif yang dapat menghancurkan pipa (beton). Metana harus dihilangkan karena kehadirannya menghasilkan pertumbuhan bakteri yang berlebihan dalam filtrasi. Hidrogen sulfida memiliki bau yang tidak sedap (seperti telur busuk) dan oleh karena itu perlu dihilangkan dari air. Senyawa organik yang mudah menguap biasanya beracun; beberapa di antaranya bahkan bersifat karsinogenik dan karenanya tidak diperbolehkan dalam air minum.

Keterbatasan aerasi diantaranya yaitu satuan operasi aerasi memerlukan *head* yang besar dan perancang harus hati-hati mempertimbangkan pemakaian aerasi karena biaya untuk meningkatkan ketinggian air memerlukan biaya yang besar. Selain itu, air akan berubah menjadi lebih korosif sesudah proses aerasi, dan aerasi akan lebih baik bila dikombinasikan dengan klorin atau karbon aktif untuk menghilangkan bau dan rasa (Mines, 2014). Penelitian terdahulu pengolahan dengan aerasi dapat menurunkan parameter besi dengan efisiensi pengolahan sebesar 98,24% dan parameter mangan sebesar 97,40% (Al Kholif, 2020).

2.4.7 Pelunakan Air (*Water Softening*)

Pelunakan adalah suatu proses perlakuan yang digunakan untuk menurunkan kesadahan air. Kesadahan air didefinisikan sebagai jumlah dari konsentrasi ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dan penurunannya mencegah pengendapan kalsium karbonat di keran air atau boiler air. Alasan lain untuk melunakkan air

yaitu pengurangan penggunaan deterjen dan pengurangan logam berat di dalam air.

Penurunan kesadahan dapat dilakukan dengan pemberian bahan basa, pertukaran ion (*ion exchange*), dan filtrasi membran. Pemberian bahan basa dalam air menyebabkan pergeseran keseimbangan asam kalsium karbonat, yang menghasilkan kristalisasi secara spontan. Bahan basa yang dapat digunakan berupa natrium hidroksida (NaOH) juga dikenal sebagai soda kaustik; kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) yang dikenal sebagai kapur, atau natrium karbonat (Na₂CO₃), juga dikenal sebagai soda abu. Penelitian terdahulu pengolahan dengan pelunakan air (*water softening*) dapat menurunkan kesadahan dengan efisiensi pengolahan sebesar 99% (Andarani, 2015).

2.4.8 Pertukaran Ion (*Ion Exchange*)

Pertukaran ion (*ion exchange*) merupakan suatu proses dimana ion-ion dari suatu larutan elektrolit diikat pada permukaan bahan padat. Sebagai pengganti ion-ion tersebut, ion-ion dari bahan padat diberikan ke dalam larutan. Pertukaran hanya dapat terjadi di antara ion-ion yang sejenis dan berlangsung dalam waktu yang singkat, yaitu pada saat terjadi kontak antara larutan dengan penukar ion.

Proses penukar ion berlangsung pada proses batch atau *fluidized bed* reaktor atau dalam kolom, namun proses batch lebih sederhana jika dibandingkan dengan proses penukar ion dalam kolom. Penukar ion (*ion exchanger*) adalah proses kimia yang diungkap dalam bentuk persamaan dalam stoikiometri misalkan jika ion A dalam larutan menggantikan ion B dalam fase padat.

Resin dibedakan menurut resin sintetis dan resin alam. Resin alam misal zeolit, pasir hijau (*green sands*) dan natrolites. Zeolit adalah senyawa kompleks silikat. Zeolit alam mampu menukar ion Na⁺ dengan Ca²⁺, Mg⁺, dan Fe²⁺ dalam larutan. Resin sintesis adalah resin yang dibuat oleh bahan matrik polimer dengan gugus fungsional ionik yang larut dan menempel pada rantai polimer. Resin terdapat dalam bentuk gel atau resin makroporus. Resin

makroporus mempunyai volume lebih kecil jika dibandingkan dengan resin dalam bentuk gel. Resin penukar ion terdapat dalam bentuk granular atau manik-manik (*shaped*) dengan ukuran sekitar 0,1 sampai 1,0 mm (Suharto, 2011). Penelitian terdahulu pengolahan dengan pertukaran ion atau *ion exchange* dapat menurunkan parameter timbal (Pb(II)) dengan efisiensi pengolahan 97,7-99,1% (Kusdarini, 2017).

2.4.9 Osmosis Terbalik (*Reverse Osmosis*)

Apabila dua buah larutan dengan konsentrasi encer dan konsentrasi pekat dipisahkan oleh membran semi-permeable, maka larutan dengan konsentrasi yang encer akan terdifusi melalui membran tersebut masuk ke dalam larutan yang pekat sampai terjadi kesetimbangan konsentrasi. Fenomena tersebut dikenal sebagai proses osmosis. Jika air tawar dan air asin dipisahkan dengan membran semi-permeable, maka air tawar akan terdifusi ke dalam air asin melalui membran tersebut sampai terjadi kesetimbangan (Yudo, 2002).

Kelebihan proses *Reverse Osmosis* yaitu tergolong mudah, biaya instalasi rendah, tanpa material non-metalik dalam konstruksi, dapat menghasilkan rasio kapasitas produksi yang besar, antara 25.000 – 60.000 liter per hari per m³, teknologi RO dapat digunakan untuk menghilangkan kontaminan-kontaminan organik maupun anorganik, dan tidak mempunyai dampak terhadap lingkungan. Sedangkan kekurangannya yaitu membran sensitif atau tidak efisien bila digunakan berlebihan, air umpan harus diolah terlebih dahulu untuk menghilangkan partikulat-partikulat, operasi RO membutuhkan material dan alat dengan kualitas standar yang tinggi, dan ada kemungkinan terjadi pertumbuhan bakteri pada membran itu sendiri.

2.5 Teknologi Pengolahan Air Bersih

Teknologi pengolahan air bersih berdasarkan air baku menurut Joko (2010):

1. Air permukaan dengan tingkat kekeruhan tinggi

Air baku dengan tingkat kekeruhan tinggi dapat dilakukan pengolahan dengan pilihan sebagai berikut:

a. Alternatif 1

Tingkat kekeruhan tinggi pada air baku menyebabkan tingginya sedimen, maka akan lebih ekonomis jika sebelum koagulasi-flokulasi dilakukan proses prasedimentasi. Alternatif pengolahan yang dapat dilakukan yaitu prasedimentasi, koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi.

b. Alternatif 2

Alternatif berikutnya dengan menggunakan saringan pasir lambat, namun terlebih dahulu dilakukan pengendapan sampai kekeruhan mencapai 50 mg/lit SiO₂.

2. Air permukaan dengan tingkat kekeruhan rendah sampai sedang

Air baku dengan kekeruhan rendah sampai sedang diasumsikan sekitar 10 – 50 NTU. Pada jenis air baku ini dilakukan pengolahan dengan alternatif sebagai berikut:

a. Alternatif 1

Alternatif pengolahannya ialah koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi.

b. Alternatif 2

Alternatif berikutnya adalah dengan menggunakan saringan pasir lambat, namun terlebih dahulu dilakukan pengendapan sampai kekeruhan mencapai 50 mg/lit SiO₂.

3. Air permukaan dengan tingkat kekeruhan yang sifatnya temporer

Pengolahan air baku dengan kondisi kekeruhan yang temporer:

a. Alternatif 1

Alternatif pengolahannya ialah koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi.

b. Alternatif 2

Alternatif berikutnya dengan menggunakan saringan pasir lambat, namun terlebih dahulu dilakukan pengendapan.

c. Alternatif 3

Alternatif berikutnya ialah dengan menggunakan saringan pasir cepat, dimana saat terjadi kekeruhan tinggi IPA tidak operasional. Pelayanan air bersih memanfaatkan air reservoir yang memiliki daya tampung 6-24 jam.

4. Air permukaan dengan kandungan warna yang sedang sampai tinggi

Air baku dengan kondisi ini dapat diolah dengan koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi. Pada pengolahan ini membutuhkan koagulan lebih banyak dan lebih baik jika dibubuhkan lumpur kaolin, bentonite atau lumpur setempat yang berguna untuk memperberat flok. Atau dapat juga dengan melakukan *re-cycle* lumpur dari bak sedimentasi.

5. Air permukaan dengan tingkat kesadahan tinggi

Air dengan kondisi ini dapat diolah dengan proses kapur soda yaitu dengan proses pemisahan Ca, Mg secara kimiawi kemudian diendapkan di bak pengendap. Apabila kesadahan sementara lebih dominan dapat dilakukan dengan saringan marmer. Alternatif lain yaitu dengan *ion exchange* menggunakan resin, karbon, atau pasir aktif.

6. Air permukaan dengan kekeruhan sangat rendah

Air dengan kondisi ini dapat menggunakan pengolahan langsung dengan filtrasi dan desinfeksi. Filtrasi dilakukan untuk mengurangi partikulat yang masuk.

Menurut Kawamura (1991), teknologi pengolahan air terbagi menjadi tiga metode yaitu:

1. Metode *Conventional Complete*

Metode *conventional complete* merupakan metode pengolahan air yang melibatkan proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi.

2. Metode *Direct Filtration*

Metode *direct filtration* melibatkan proses koagulasi, flokulasi, dan filtrasi. *Clarifier* digunakan setelah filtrasi dan supernatan disirkulasi menuju proses flokulasi.

3. Metode *In-line Filtration*

Metode *in-line filtration* sama dengan *direct filtration* tetapi supernatan dari *clarifier* disirkulasi ke bagian koagulasi.

Modifikasi ketiga metode tersebut adalah High-level Complete dan Two Stage Filtration. Penerapan dari metode pengolahan air tergantung dari kualitas air baku yang disajikan pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2. 3 Kualitas Air Baku untuk Metode Pengolahan Air

Parameter	<i>Conventional Complete</i>	<i>Two-Stage Filtration</i>	<i>Direct Filtration</i>	<i>In-line Filtration</i>
Kekeruhan (NTU)	< 5000	< 50	< 15	< 5
Warna (semu)	< 3000	< 50	< 20	< 15
Coliform (#/mL)	< 10 ⁷	< 10 ⁵	< 10 ³	< 10 ³
Alga (ASU/mL)	< 10 ⁵	< 5 x 10 ³	< 5 x 10 ²	< 10 ²
Asbestos Fiber (#/mL)	< 10 ¹⁰	< 10 ⁸	< 10 ⁷	< 10 ⁷
Rasa dan Bau (TON)	< 30	< 10	< 3	< 3

Sumber: Kawamura, 1991

2.6 Standar Nasional Indonesia (SNI) 7508 : 2011

Menurut SNI 7508: 2011, kualitas air hasil olahan sebelum digunakan harus memenuhi baku mutu yang berlaku. Oleh karena itu, air baku yang tidak memenuhi persyaratan baku mutu harus diolah terlebih dahulu sesuai dengan jenisnya. Untuk memilih pengolahan yang tepat dan efisien, pemerintah telah menyediakan alternatif pengolahan air yaitu dengan diterbitkannya Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 7508 tahun 2011 tentang Tata Cara Penentuan Jenis Unit Instalasi Pengolahan Air Berdasarkan Sumber Air Baku. Tata cara penentuan jenis pengolahan air berdasarkan sumber air baku ini berisi mengenai klasifikasi sumber air baku, kualitas dan karakteristik air baku, dan alternatif jenis pengolahan air yang diperlukan dan merupakan rujukan untuk para perencana, produsen dan pengelola penyediaan air minum. Tabel alternatif pengolahan air dapat dilihat pada **Lampiran C**.

2.7 Teknologi Pengolahan Air yang Terbaik

Standar kualitas air untuk berbagai kontaminan telah diatur oleh Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat atau *US Environmental Protection Agency* (USEPA) dan USEPA telah menetapkan batas maksimum pada setiap kontaminan di dalam air. USEPA juga telah menetapkan teknologi pengolahan terbaik (*best available technology*) yang dapat dipilih, yang sesuai dengan kondisi ekonomi dan teknisnya serta ketika pengolahan yang digunakan tidak dapat menurunkan pencemar dengan efisien. Teknologi pengolahan terbaik (*best available technology*) ini bertujuan untuk memastikan penurunan kontaminan dapat terjadi dengan efisien, yaitu sesuai dengan ekonomi masyarakat dan kondisi

lingkungan tempat pengolahan akan dibangun (Mines, 2014). Tabel pengolahan air sesuai dengan parameter yang akan diturunkan dapat dilihat pada **Lampiran D**.