BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peneliti Terdahulu

2.1.1 Penelitian yang telah dilakukan oleh Asmawati dari Universitas Malahayati Bandar Lampung pada tahun 2022, yang dipublikasikan dalam jurnal yang berjudul " Efektivitas Metode Aerasi dalam Menurunkan Kadar Besi Pada Air Tanah di Desa Sidorejo Kecamatan Sidomulyo Tahun 2021", penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas metode aerasi dalam menurunkan kadar besi (Fe) pada air tanah. Penelitian ini meneliti pengaruh variasi debit udara (2 L/menit dan 4 L/menit) dan waktu tinggal (15 menit, 30 menit, dan 60 menit). Pendekatan kuantitatif eksperimental dengan desain pretest-posttest control group diaplikasikan untuk menilai perubahan kadar besi. Analisis statistik mengungkapkan nilai p sebesar 0,038 ($p<0,05$), menunjukkan bahwa perlakuan aerasi dengan variasi debit udara dan waktu tinggal secara signifikan berkorelasi dengan penurunan kadar besi dalam air tanah. Penurunan kadar besi tertinggi, mencapai 92,65%, dicapai melalui perlakuan aerasi dengan debit udara 4 L/menit selama 60 menit.

2.1.2 Penelitian yang dilakukan oleh Riyanto dari Universitas Muhammadiyah Purworejo pada tahun 2021, yang dipublikasikan dalam jurnal berjudul "Analisis Penurunan Kadar Besi (Fe) Dalam Air Sumur Gali Dengan Metode Variasi Waktu Aerasi Filtrasi Menggunakan Aerator Gelembung Dan Variasi Saringan Pasir Lambat" bertujuan untuk menganalisis kadar besi (Fe) penurunan melalui berbagai waktu aerasi. Penelitian ini menggunakan desain penelitian *true experiment* dengan enam variasi durasi yang berbeda, yaitu 10 menit hingga 60 menit. Selain itu, penelitian ini juga menerapkan metode filtrasi dengan variasi ketebalan pasir sebesar 30 cm, 40 cm, dan 50 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan

kadar besi (Fe) tertinggi terjadi setelah perlakuan aerasi selama 60 menit, dengan keefektifan penurunan kadar besi pada sampel 1 yaitu sebesar 36,671%, sampel 2 yaitu sebesar 30,689%, dan sampel 3 yaitu sebesar 58,325%. Waktu aerasi 60 menit terbukti paling efektif dalam menurunkan kadar besi, dan filtrasi dengan ketebalan pasi 50 cm menghasilkan air yang jernih, tidak berbau, dan tidak berasa.

2.1.3 Penelitian yang dilakukan oleh Diansari dari Universitas Tanjungpura pada tahun 2024, yang dipublikasikan dalam Jurnal berjudul "Perbandingan Efisiensi Cascade Aerator Dan Bubble Aerator" bertujuan untuk membandingkan pengaruh penggunaan cascade aerator dan bubble aerator dalam mereduksi kadar besi pada air sumur bor. Selain itu, penelitian ini mengukur efisiensi penurunan kadar besi dan mengidentifikasi waktu kontak optimum untuk setiap jenis aerator. Penelitian ini menggunakan Quasi eksperimental dengan tiga kali pengulangan untuk setiap metode aerasi. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara kedua metode, dimana aerator cascade terbukti lebih efektif dalam menurunkan kadar besi. Secara spesifik, aerator cascade mencapai efisiensi penurunan kadar besi sebesar 50,45% dengan waktu kontak optimum 28 menit. Sementara itu, aerator bubble menunjukkan efisiensi penurunan kadar besi sebesar 6,13% dengan waktu kontak optimum 40 menit.

Tabel II. 1 Matriks Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

No	Peneliti	Judul	Obyek Material	Perbedaan Penelitian Terdahulu
1	**2**	**3**	**4**	**5**
1.	Asmawati, 2021	Efektivitas Metode Aerasi Dalam Menurunkan Kadar Besi Pada Air Tanah Di Desa Sidorejo, Kecamatan Sidomulyo Tahun 2021	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas metode aerasi dalam menurunkan kadar besi pada air tanah, dengan menggunakan debit udara sebesar 2L dan 4L serta waktu tinggal selama 15 menit, 30 menit, dan 60 menit. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif dengan desain eksperimen, yaitu pretest-posttest dengan kelompok kontrol. Hasil analisis statistik menunjukkan nilai p-value < 0,05, yaitu 0,038, yang mengindikasikan adanya pengaruh perlakuan aerasi dengan debit udara 2L dan 4L serta variasi waktu tinggal terhadap penurunan kadar besi dalam air tanah.	Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang adalah pada waktu aerasi peneliti terdauhu menggunakan waktu aerasi 40, 50, 60, dan 70 serta menggunakan filtrasi batu zeolit

1	2	3		5
			Perlakuan aerasi dengan waktu 60 menit dan debit udara 4L memberikan hasil penurunan kadar besi tertinggi, yaitu 92,65%.	
3.	Riyanto, 2021	Analisis Penurunan Kadar Besi (Fe) Dalam Air Sumur Gali Dengan Metode Variasi Waktu Aerasi Filtrasi Menggunakan Aerator Gelembung Dan Variasi Saringan Pasir Lambat	Tujuan dari penelitian ini ialah untuk menganalisis penurunan kadar besi (Fe) melalui variasi waktu pada proses aerasi dengan menggunakan alat aerator gelembung. Penelitian ini, menggunakan jenis penelitian true experiment yang dengan 6 variasi waktu aerasi, yaitu 10 menit hingga 60 menit. Selain itu, metode filtrasi yang digunakan menggunakan 3 variasi ketebalan pasir, yaitu 30 cm, 40 cm, 50 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada 3 sampel pada sampel A memiliki rata-rata sebesar 1,744 ppm, pada sampel B memiliki rata-rata sebesar 1,941 ppm, dan pada sampel C memiliki rata-rata	Perbedaan penelitian sekarang dengan terdahulu adalah waktu aerasi 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit dan juga menggunakan filtrasi dengan variasi ketebalan pasir 30 cm, 40 cm, 50 cm.

1	2	3	4	5
			sebesar 0,689 ppm. Setelah perlakuan aerasi selama 60 m3nit, kadar besi pada sampel A turun menjadi 1,105 ppm, pada sampel B turun menjadi 1,345 ppm, dan sampel C turun menjadi 0,287 ppm. Penurunan rata-rata kadar besi adalah 36,6715% untuk sampel A, 30,689% untuk sampel B, dan 58,325% untuk sampel C.	
3.	Diansari, 2022	Perbedaan Variasi Lama Waktu Kontak Aerasi Terhadap Penurunan Kadar Besi (Fe) Dengan Metode Bubble Aerator Pada Air Bersih Di Pt. X	Tujuan penelitian ini adalah membandingkan pengaruh penggunaan cascade aerator dan bubble aerator untuk menurunkan kadar besi (Fe) dalam air sumur bor, menentukan efisiensi masing-masing metode aerasi, serta mengidentifikasi waktu kontak optimum untuk cascade aerator dan bubble aerator dalam menurunkan kadar besi (Fe). Penelitian ini	Perbedaan penelitian sekarang dengan terdahulu adalah waktu aerasi 40, 50, dan 65 menit.

1	2	3	**4**	5
			menggunakan metode Quasi-experiment dengan tiga kali pengulangan untuk setiap jenis aerasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penurunan kadr besi (Fe) dalam air sumur bor menggunakan cascade aerator mencapai 50,45% dengan waktu kontak optimum 28 menit, sedangkan bubble aerator memiliki efisiensi sebesar 6,13% dengan waktu kontak optimum 40 menit.	

2.2 Telaah Yang Sesuai

2.2.1 Air Bersih

2.2.1.1 Pengertian Air Bersih

Air merupakan komponen esensial yang fundamental bagi kelangsungan hidup manusia, utamanya sebagai sumber hidrasi primer, mengingat tanpa asupan air keseimbangan internal tubuh manusia tidak dapat dipertahankan. Meskipun jumlah air di dunia ini tetap dan dapat dikatakan melimpah, hanya sekitar 5% yang dapat dikonsumsi. Namun, pesatnya modernisasi berdampak pada menurunnya kualitas air tersebut, sehingga jumlah air yang layak konsumsi semakin berkurang.

Air bersih menjadi salah satu kebutuhan utama manusia, baik untuk konsumsi maupun keperluan sehari-hari. Oleh karena itu, menjaga kualitas air merupakan hal yang sangat penting guna memastikan kesehatan serta kelangsungan hidup manusia. Berdasarkan Permenkes No 416 Tahun 1990 tentang persyaratan kualitas air minum dan pengawasan kualitas air, dinyatakan bahwa air harus memenuhi standart kesehatan yang mencakup aspek fisik, kimia, mikrobiologi dan radioaktif. Oleh karena itu, penyediaan air bersih sangat penting dalam mendukung peningkatan Kesehatan lingkungan dan kesejahteraan masyarakat di berbagai daerah (Abdul et al., 2022).

Kualitas air yang baik menjadi kebutuhan penting bagi manusia, terutama untuk keperluan sehari-hari seperti mencuci, membersihkan peralatan, mandi, dan keperluan lainnya. Berdasarkan laporan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), setiap individu membutuhkan antara 60 dan 120 liter air per hari. Namun, di negara berkembang seperti Indonesia, kebutuhan air per orang berkisar antara 30 dan 60 liter per hari. Manfaat udara meliputi jasa transportasi seperti irigasi,

pembangkit listrik tenaga (PLTA), dan lain-lain. Ketika standar hidup masyarakat umum meningkat, penggunaan udara juga meningkat (Triono, 2018).

Air bersih memiliki peran penting dalam mengurangi tingkat keparahan berbagai penyakit serta meningkatkan standar dan kualitas hidup masyarakat. Namun, hingga saat ini masyarakat Indonesia masih menghadapi tantangan dan masalah terkait penyediaan air bersih yang belum sepenuhnya teratasi. Akibatnya, hingga sampai saat ini masyarakat yang masih kesulitan dalam memperoleh dan memanfaatkan air bersih (Abdul et al., 2022).

Pengawasan terhadap kualitas air bersih diharapkan mampu memastikan ketersediaan air yang memenuhi standart kesehatan dan tidak menimbulkan resiko bagi kesehatan. Pengawasan tersebut dapat dilakukan melalui inspeksi terhadap sarana penyediaan air bersih, yang mencakup pemeriksaan kondisi fisik sarana, lingkungan sekitar, dan perilaku masyarakat yang berpotensi mempengaruhi kualitas air dari sarana yang di inspeksi (Hamzah et al., 2022).

2.2.1.2 Sumber Air

Air bersih berdasarkan sumbernya dapat dikelompokkan menjadi 4 jenis yaitu (Khairunnisa, 2019).

1. Air permukaan

   Air ini berasal dari air hujan yang mengalir di atas permukaan tanah. Selama perjalanannya, air permukaan dapat terkontaminasi oleh lumpur, ranting, daun, dan berbagai kotoran lainnya. Air ini merupakan sumber utama yang digunakan sebagai bahan baku dalam produksi air minum.

   Air permukaan memiliki beragam manfaat, diantaranya sebagai sumber air minum, kebutuhan rumah

tangga, irigasi, pembangkit listrik, dan industri. Selain itu, air permukaan juga berperan penting dalam mendukung kehidupan, serta mempengaruhi kesehatan, gaya hidup, dan kesejahteraan ekonomi manusia.

2. Air tanah

Air tanah adalah air yang berada dibawah permukaan tanah, air tanah terbenttuk dari air hujan yang meresap dan melewati proses penyaringan alami oleh lapisan-lapisan tanah. Untuk mendapatkannya, perlu dilakukan penggalian atau pengeboran guna mengakses lapisan tanah tempat air tersebut tersimpan. Kualitas dan kuantitas mata air dari lapisan tanah dalam tetap terjaga karena tidak terpengaruh oleh faktor luar, sehingga volumenya stabil. Air tanah dapat terus diperbarui selama tidak terjadi perubahan iklim yang signifikan dan ketersediannya tetap terjaga melalui proses pengisian ulang saat musim hujan

3 Air hujan

Air hujan seringkali belum dimanfaatkan secara maksimal, padahal merupakan sumber daya alam yang melimpah. Umumnya, air ini dibiarkan mengalir begitu saja melalui saluran drainase ke sungai dan berakhir di laut. Namun, jika dikelola dan diolah dengan tepat, air hujan berpotensial besar untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat, sehingga berkontribusi pada ketersediaan air yang berkelanjutan. Air hujan dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, seperti mandi, mencuci, hingga sebagai sumber air minum. Sebagai sumber daya yang melimpah selama musim hujan, air hujan berpotensi besar untuk mengurangi ketergantungan pada sumber air bersih lainnya.

4 Mata air

Mata air adalah air yang muncul ke permukaan tanah melalui celah-celah bebatuan karena adanya perbedaan tekanan. Mata air biasanya memiliki karakteristik berupa air yang bebas dari kandungan bakteri dan bahan kimia, sehingga aman untuk dimanfaatkan oleh masyarakat. Untuk mengelola mata air sebagai sumber air bersih, diperlukan pembangunan berupa bangunan pelindung untuk mencegah pencemaran dan memastikan air tetap aman hingga tahap pendistribusiannya.

2.2.1.3 Persyaratan Penyediaan Air Bersih

Air untuk higiene dan sanitasi merujuk pada air yang dipakai untuk menjaga kebersihan diri serta rumah tangga. Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL) mengatur kualitas air ini, terutama bagi rumah tangga yang menggunakan sumber air sendiri untuk aktivitas sehari-hari.

Untuk menjamin kualitas dan keamanan air bagi masyarakat, Permenkes No 2 Tahun 2023 telah menetapkan batas maksimum kadar besi dalam air sebesar 0,2 mg/L. oleh karena itu, penting bagi semua sumber air yang digunakan di rumah tangga untuk memenuhi standar kualitas air.

2.2.2 Besi (Fe)

2.2.2.1 Pengertian Besi (Fe)

Besi (Fe), sebagai salah satu molekul yang banyak ditemukan di batuan induk yang telah mengalami pelapukan, secara alamiah melimpah dalam air. Umumnya, besi yang terlarut dalam air hadir dalam bentuk garam divalen besi (Fe^{2+}). Pentingnya keberadaan besi dalam air dapat diabaikan, mengingat perannya sebagai salah satu molekul esensial. Meskipun demikian, konsentrasi besi dalam air harus diperhatikan. Air dengan kadar besi yang melampaui baku mutu

yang ditetapkan tidak direkomendasikan untuk memenuhi kebutuhan air domestik. Kelebihan kadar besi dapat menyebabkan berbagai masalah seperti perubahan warna air, noda pada pakaian dan peralatan, serta rasa logam yang tidak sedap. (Septiani, 2021).

Besi (Fe) merupakan logam dengan atom 26 dan 55 sebagai intinya. Unsur besi (Fe) termasuk salah satu unsur surfaktan yang ditemukan di berbagai lapisan bumi. Besi menyusun sekitar 5-5,6% kerak bumi dan 35% dari total massa bumi. Besi (Fe) juga merupakan unsur penting yang dibutuhkan oleh seluruh makhluk hidup, termasuk manusia, karena berperan dalam proses reduksi dan oksidasi yang menghasilkan energi (Septiani, 2021).

Sebagai nutrien mikro, besi (Fe) adalah unsur yang hampir bisa dibilang fundamental di setiap aspek kehidupan. Banyak besi zat dalam makanan diperlukan untuk kesehatan manusia karena mengatur pertumbuhan sel darah, yang alami dan memiliki fungsi kebalan, serta berbagai fungsi fisiologis dan reaksi metabolisme. (Edwinsyah et al., 2022).

2.2.2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Kadar Besi (Fe) Pada Air

Berikut adalah faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi besi (Fe) dalam air bersih (Septiani, 2021).

2.2.2.2.1 Kedalaman

Air hujan diserap oleh kotoran yang mengandung FeO yang dilepaskan ke dalam tanah dan bereaksi dengan air. Senyawa karbon dioksida yang dilepas di dalam tanah membentuk $Fe(HCO_3)^2$ semakin tinggi dan turunnya jumlah besi di udara semakin banyak, sehingga mengakibatkan jumlah besi di uadar meningkat.

2.2.2.2.2 pH

Dalam air, kesadahan dan zat besi mempengaruhi keasaman. Ketika pH air rendah, menyebabkan interaksi destruktif dan menguraikan besi (Fe) dan unsur logam lainnya di dalam air. Jika nilai pH air kurang dari 7, logam-logam di dalam air dapat terurai. Pada air dengan tingkat keasaman yang relatif rendah, struktur besi dapat bergeser dan tertinggal di dalam air, menjadi terlihat, dan terekspos bila terkena udara, sehingga menodai air atau menimbulkan bau amis pada air.

2.2.2.2.3 Suhu

Suhu air yang sesuai yang didasarkan pada Permenkes No 2 Tahun 2023 yaitu sama dengan suhu udara. Semakin panas air, kandungan oksigennya semakin berkurang. Selain mineral juga larut ketika suhu air naik, sehingga lebih banyak zat besi yang larut dalam air.

2.2.2.2.4 Bakteri Besi

Bakteri besi adalah bakteri yang ditemukan pada tahun yang bertahan hidup dengan menyerap zat besi dalam air dan melarutkannya. Agar mikroorganisme ini dapat bertahan hidup, mereka membutuhkan oksigen dan zat besi untuk membuat makanan. Akibatnya, bakteri besi menghasilkan Fe (besi teroksidasi), sehingga menghasilkan air berwarna kekuningan pada pakaian yang dicuci dengan air ini dan beberapa efek lainnya.

2.2.2.3 Dampak Tingginya Kadar Besi (Fe)

Dampak dari permasalahan yang sering terjadi jika kadar besi (Fe) dalam air tinggi yaitu (Khairunnisa, 2019)**.**

2.2.2.3.1 Secara Teknis

Adanya Fe(OH)3 mengendap dan memberikan efek negatif khususnya pada furnitur, seperti:

2.2.2.3.1.1 Bak mandi, wastafel dan kloset seng menjadi berwarna kekuningan dan kotor karena adanya endapan.

2.2.2.3.1.2 Penyumbatan pipa akibat adanya endapan besi di dalam pipa.

2.2.2.3.2 Secara Fisik

Adanya zat besi yang terurai dan larut dalam air secara fisik menurunkan kualitas air dan dapat menyebabkan perubahan warna, bau, dan rasa air. Jika kandungan besi air bersih melebihi 0,2 mg/L maka mutu fisiknya buruk.

2.2.2.3.3 Secara Kesehatan

Proses pembentukan hemoglobin dalam tubuh memerlukan zat besi yang merupakan zat terpenting dalam proses ini. Namun, meminum air yang banyak mengandung zat besi dapat berdampak buruk bagi kesehatan Anda. Efek samping yang mungkin timbul antara lain sakit perut, kerusakan usus, kerusakan jantung, dan gangguan pencernaan. Asupan air bergizi yang melebihi baku mutu secara berulang-ulang dapat mengakibatkan kematian akibat rusaknya dinding usus.

2.2.2.3.4 Secara Ekonomis

Dampak yang terjadi dari sudut pandang ekonomi tidak bersifat langsung, namun dapat terjadi dalam jangka waktu yang lama. Contoh kerugian akibat tingginya kandungan besi dalam air dari sudut pandang ekonomi adalah kerusakan peralatan rumah tangga, dan penggantian peralatan yang rusak atau tidak berfungsi membutuhkan biaya yang besar.

2.2.2.4 Mengurangi Kadar Besi (Fe) dalam Air Bersih

Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk menurunkan konsentrasi besi (Fe) dalam air bersih :

2.2.2.4.1 Filtrasi

Filtrasi adalah proses penyaringan udara atau aerasi udara melalui media, dimana terjadi peningkatan kualitas udara selama penyaringan udara. Kekeruhan air disebabkan oleh adanya partikel tersuspensi, koloid, sisa dekomposisi bakteri, dan partikel kimia di udara. Oleh karena itu, penyaringan dilakukan untuk menghilangkan zat padat tersuspensi dan mengurangi kadar besi melalui media berpori, serta mengeliminasi bahan terlarut dan tidak terlarut melalui proses absorbsi (Yazid, 2021).

Prinsip dari pengelolaan air dengan filtrasi adalah proses fisik, kimia, dan biologis penyaringan partikel dengan media berpori sedemikian rupa sehingga partikel di udara tertinggal di media tersebut (Khairunnisa, 2019).

2.2.2.4.2 Aerasi

Aerasi adalah suatu proses transfer massa gas yang berfokus pada perpindahan oksigen dari fase gas menuju fase cair. Dalam konteks pengolahan air, fungsi primer aerasi adalah melarutkan oksigen ke dalam air guna meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut (DO) sekaligus meningkatkan eliminasi gas-gas terlarut yang mudah menguap. Aerasi dilakukan dengan menambahkan udara atau oksigen ke dalam air melalui interaksi langsung antar air dan udara dengan menghasilkan gelembung-gelembung udara halus yang dibiarkan naik ke permukaan air. Teknik ini bertujuan untuk memperluas kontak antara air dengan oksigen, sehingga semakin besar paparan air terhadap oksigen, semakin efektif proses aerasi. (Yazid, 2021).

2.2.2.4.3 Bahan Kimia

Untuk menurunkan kadar besi dalam air bersih, dapat digunakan metode kimia seperti klorinasi dan oksidasi dengan kalium permanganat($KmnO_4$). Dua metode ini berfungsi dengan cara mengubah ion besi yang terlarut (Fe^{2+}) menjadi bentuk yang tidak terlarut (Fe^{3+}). Setelah mengalami perubahan ini, partikel besi yang baru terbentuk dapat dihilangkan dari air melalui proses pengendapan atau penyaringan (Khairunnisa, 2019).

2.2.3 Aerasi

2.2.3.1 Pengertian Aerasi

Aerasi adalah proses pengelolaan air dengan penambahan elemen udara atau oksigen berbeda ke dalam air. Hal ini dilakukan untuk mengurangi jumlah zat besi di dalam

air. Terdapat dua cara untuk penambahan udara ke dalam air. Yang pertama adalah memasukkan atau menyuntikkan udara ke dalam air, memaksanya naik dan bersentuhan dengan oksigen. Berikut macam-macam alat aerator (Khairunnisa, 2019).

Ada banyak jenis besi dan mangan penghilangan dari sistem udara di tangga rumah. Dalam sistem aerasi, ada beberapa metode yang akan digunakan untuk menghentikan besi dan mangan, seperti filter biologis, reaksi kimia, pelimpah saluran, dan kaskade aerasi. Sistem ini biasanya digunakan di tempat kerja untuk mencegah besi dan mangan hadir di udara, air, dan udara tanah dan perlakuan udara (Remy, 2015).

2.2.3.1.1 Try Aerator

Tray Aerator merupakan alat yang digunakan untuk aerasi dengan susunan nampan secara vertikal. Air mengalir melalui baki berlubang di tahap dan terkumpul di bagian bawah (Karuniawan, 2021). Baki aerator menggunakan bahan yang terbuat dari PVC, logam, PVC, logam, kayu, atau beton asbes. Untuk memperoleh tekanan udara yang konstan dapat dengan menggunakan batu setebal permukaan 10 cm dan lapisan batu apung atau arang. Hal ini menyebabkannya berinteraksi dengan besi dengan tujuan menggumpal secara internal. Air terbentuk lebih cepat dari sebelumnya. Tindakannya sangat sederhana dan efisien, dan secara umum hanya memakan sedikit ruang. Jenis aerator ini terdiri dari 8 baki dari 4 piramida atau susunan vertikal. Bagian bawah pelat diposisikan antara 30 dan 50 cm. udara didistribusikan secara merata ke seluruh bak melalui garis putus-putus. Udara yang keluar dari area ini dengan laju 0,02 m^3/s per m^2 di

permukaan bak (Septiani, 2021). Tujuan dari aerator adalah untuk meningkatkan kandungan oksigen udara dengan cara meningkatkan kontras antara dua media (udara dan air). Aerator multi-tray terdiri dari 4 sampai 8 baki dengan pelumas alas penuh lubang berkisar jarak antara 30 sampai 50 cm. Air didistribusikan secara merata ke dalam bak mandi melalui pipa berlubang, dari mana tetesan kecil jatuh dengan kecepatan sekitar 0,002 meter kubik per detik per meter persegi permukaan bak mandi (Zairinayati, 2019).

2.2.3.1.2 Cassade Aerator

Cassade Aerator adalah jenis aerator yang meningkatkan kontak air-udara dengan mengalirkan air melalui serangkaian baki atau tingkat berlubang (Zulya, 2022). Dalam aerator kaskade, air diteteskan ke serangkaian tahapan, dan area kontak tahapan kaskade besar, sehingga menciptakan aliran air yang bergejolak. Pada setiap tahapannya, besi (Fe) di udara di sertai dengan oksigen dari udara yang menyebabkan terjadinya reaksi oksidasi. Proses aerasi dengan berkurangnya ukuran tetesan udara dan jumlah tahapannya, maka kualitasnya meningkat. Hasilnya reaksi oksidasi, semakin lama semakin efisiensinya meningkat. Metode alternatif untuk mengurangi kandungan Fe adalah dengan menggunakan aerator kaskade. Selain lebar anak tangga, jumlah anak tangga juga mempengaruhi efisiensi reduksi Fe dalam air (Aini et al., 2022). Aerator ini umumnya tersusun atas 4 hingga 6 tingkat, dengan setiap tingkat memiliki

ketinggian sekitar 30 cm dan kapasitas sekitar 0,01 m^3/s. Ketebalan per m^2. Keuntungan lain dari adalah tidak memerlukan perawatan. Aerator mempunyai 4 sampai 6 tingkat, masing-masing tingkat tingginya, maju 30 cm dengan kecepatan ±0,01 m^3/s per m^2. Beda dengan aerator baki casade, aerator baki yang satu ini membutuhkan lebih banyak ruang tetapi tidak memerlukan dukungan karena koefisien tekanan keseluruhannya yang lebih rendah dan berbagai manfaatnya (Septiani, 2021). Pada aerator cascade, proses pembuatannya cukup sederhana dan mudah dilaksanakan, yaitu air dialirkan melalui penampang bertingkat secara gravitasi. Metode cascade aerator ini dapat meningkatkan kadar oksigen sebesar 60-80% (Diansari et al., 2022).

2.2.3.1.3 Submerged Cassade Aerator

Submerged Cassade Aerator atau aerasi tangga aerator adalah aerasi yang udaranya ditangkap pada saat air jatuh dari lapisan-lapisan yang membawanya (Rosidah et al., 2022). *Aerator Cassade Submersible* atau Sirkulasi Udara Saat air jatuh dari setiap siphon, udara ditangkap dan dibawa ke dalam air yang dikumpulkan di siphon di bawahnya. Di bawah perangkap udara terjadi ketika air terjun jatuh dari pelat perangkap yang menopangnya. Oksigen kemudian berpindah ke air setelah menggelembung. Memiliki ketinggian jatuh sekitar 1,5 m dan terbagi menjadi 3 hingga 5 tingkat. Kapasitasnya berkisar antara 0,005 dan 0,5 m^3/s per meter luas (Septiani, 2021). Air tanah yang

menunjukkan endapan kuning mengindikasikan tingginya kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) di dalamnya, sehingga diperlukan proses pengolahan lebih lama sebelum masyarakat memanfaatkan air untuk keperluan sehari-hari. Oleh karena itu, penelitian dilakukan dengan menggunakan alat cascade aerator yang dilengkapi sistem filtrasi yang terdiri dari 8 dan 6 filter, serta kombinasi zeolit dan tanpa zeolit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat ini dapat meningkatkan efisiensi pengolahan air tanah sebesar 90,24% (Nasution & Fajrurrahman, 2018).

2.2.3.1.4 Spray Aerator

Ini terdiri dari nosel semprot tetap (nosel tetap) yang dihubungkan ke kisi-kisi pelat di mana air mengalir dengan kecepatan 5 hingga 7 m/s. Itu disemprotkan ke udara sekitar. Aerator semprot sederhana yang mengalirkan air ke bawah melalui pendek pipa dengan panjang 25 cm dan diameter 15 sampai 20 mm. Untuk membuat lapisan tipis air melingkar dan menyebar menjadi tetesan-tetesan halus, dengan piringan melingkar yang ditempatkan beberapa cm di bawah setiap ujung. Nozel untuk aerator semprot tersedia dalam berbagai bentuk, dan ada juga nozel yang dapat berputar mengelilingi (Septiani, 2021). Pengolahan air sumur dilakukan dengan metode aerasi dan filtrasi untuk menurunkan kadar besi. Proses aerasi, yang mencakup Spray Aerasi dan Multiple Tray Aerasi, serta dilanjutkan dengan penyaringan menggunakan filter media pasir kerang bertujuan mengoksidasi besi, dimana unsur

besi (Fe) dalam bentuk Ferro (Fe^{2+}) teroksidasi menjadi ferri (Fe^{3+}) yang tidak larut dan kemudian mengendap. Selanjutnya, air dipisahkan melalui bak filtrasi yang berisi media pasir kerang untuk menyaring endapan besi tersebut. Berdasarkan hasil analisis rata-rata, kadar besi (Fe) mengalami penurunan dari 2,82 mg/L menjadi nilai yang lebih rendah (Kasri, 2024).

2.2.3.1.5 Bubble Aerator

Suatu proses perpindahan oksigen yang menghasilkan udara bertekanan dan disemprotkan ke dalam udara disebut metode difusi. Proses injeksi udara dilakukan pada bak dengan menggunakan diffuser berpori. Udara yang dihasilkan oleh diffuser ini biasanya menyebabkan udara menjadi menggelembung dan meningkatkan turbulensi udara. Udara akan menempatkan dan tetap di tempatnya untuk waktu yang lama, menghasilkan gelembung udara yang naik ke permukaan udara. Akibat proses naiknya gelembung udara tersebut, udara juga akan mengalami turbulensi. Cara ini biasanya menggunakan durasi aerasi yang sedikit lebih lama dibanding dengan metode gravitasi. Perpindahan gas secara difus dapat berperan sebagai bubble aerator. Aerator gelembung adalah jenis aerator yang dianggap paling efisisen dalam proses perpindahan oksigen (Lutfihani, 2015).

Kecepatan transfer oksigen pada bubble aerator dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu (Lutfihani, 2015):

1. Ukuran, bentuk bak, dan cara peletakan aerator

   Pada faktor ini sangat mempengaruhi pada efektivitas pembentukan gelembung aerasi. Ukuran bak yang lebih besar serta bentuk yang lebih kompleks akan memerlukan peletakan aerator yang lebih strategis untuk memastikan distribusi oksigen yang efisien dan merata.

2. Kecepatan transfer gas oksigen per unit pada aerator

   Efisiensi pembentukan gelembung aerasi dalam suatu sistem aerasi sangat dipengaruhi oleh laju perpindahan gas oksigen per unit aerator. Ketika laju perpindahan gas oksigen meningkat maka jumlah oksigen yang ada di udara juga meningkat sehingga menghasilkan gelembung aerosive yang lebih efisien dalam mendistribusikan oksigen ke seluruh bak aerasi. Hal ini penting untuk memastikan bahwa seluruh udara di dalam bak memiliki cukup oksigen untuk mendukung proses aerasi yang tepat dan mencegah terjadinya zona mati yang kurang oksigenasi. Dengan demikian, laju perpindahan gas oksigen per unit aerator merupakan faktor kritis yang harus diperhatikan guna mencapai kinerja sistem aerasi yang maksimal.

Satu-satunya cara untuk mengoperasikan alat ini adalah dengan menggunakan bantuan mesin gelembung yang cukup mudah perolehannya. Jenis aerator ini termasuk dalam kategori proses aerasi dengan kecepatan tinggi. Namun, untuk mencapai tingkat aerasi yang optimal, diperlukan perlakuan dalam waktu yang sangat singkat, menjadikannya faktor utama dalam penerapan metode aerasi cepat ini. Jumlah udara (aerasi gelembung) yang dibutuhkan untuk alat ini tidak terlalu besar, kurang dari 0,3 hingga 0,5 x udara m^3/air m^3, dan dapat

ditingkatkan dengan mudah dengan hisapan udara selesai. Udara diatomisasi dan diberi ventilasi dari dasar aquarium. Dengan mudahnya peningkatan volume, aerator kantung udara membutuhkan sekitar 0,3 hingga 0,5 m^3 udara. Udara ini disalurkan melalui pipa-pipa yang terpasang di dasar kotak (Septiani, 2021).

Aerator diffuser halus dapat mencapai efisiensi sekitar 8–12%, sedangkan aerator diffuser kasar dapat mencapai efisiensi sekitar 4-8%. Durasi aliran udara 10-30 menit, dan volume suplai udara 0.1-1 m3/menit (Lutfihani, 2015).

Bubble aerator memiliki beberapa kelemahan, yaitu kurang efisien dalam menurunkan kadar besi, membutuhkan daya listrik besar, dan memerlukan waktu kontak yang lebih lama. Kelebihan bubble aerator, yaitu memiliki desain yang sederhana dan mudah dioperasikan, mampu menyebarkan oksigen secara merata ke seluruh volume air, dan lebih murah dan mudah dibeli dipasaran, sehingga menjadikannya pilihan yang praktis (Diansari et al., 2022).

Berdasarkan penelitian terdahulu terdapat waktu terbaik untuk menurunkan kadar besi adalah 60 menit. Waktu ini didapatkan setelah pengujian aerasi menggunakan bubble aerator yang diikuti dengan filter karbon aktif dari tempurung kelapa selama 30,45, dan 60 menit (Bangun, 2022).

2.2.3.2 Faktor Yang Mempengaruhi Proses Aerasi

Berikut merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi dalam proses aerasi yaitu (Andriani, 2022).

2.2.3.2.1 Zat besi yang tidak stabil

Alat ini dirancang untuk kemudahan penggunaan dan secara signifikan mempercepat laju aliran gas oksigen (O_2) ke dalam air. Dengan demikian, alat ini

secara efektif meningkatkan jumlah oksigen terlarut (DO) dalam air. Peningkatan ini sangat penting karena oksigen terlarut sangat penting dalam berbagai proses biologis dan kimia di dalam air, seperti mendukung kehidupan akuatik dan memfasilitasi reaksi oksidasi untuk penghilangan kontaminan.

2.2.3.2.2 Temperatur air dan temperatur udara di sekitar

Suhu air berpengaruh signifikan terhadap laju transmisi oksigen, setiap kenaikan 1^{o}C berpotensi meningkatkan transmisi oksigen sebesar 1,56%. Idealnya, suhu air dipertahankan pada 25^{o}C, menyerupai suhu udara. Jika terdapat perbedaan suhu, toleransi yang dizinkan adalah ±3°C dari suhu lingkungan.

2.2.3.2.3 Obstruksi perpindahan gas

Transisi gas terjadi saat udara atau gas lain berinteraksi dengan air. Fenomena ini juga mencakup proses dimana senyawa tertentu berubah fase dari cair menjadi gas dan kemudian dilepaskan ke atmosfer. Jumlah aliran yang terjadi selama proses aerasi akan mempengaruhi jumlah udara yang di transfer.

2.2.3.2.4 Tekanan parsial gas dalam iklim aerator

Tekanan yang diterapkan dalam proses aerasi harus disesuaikan dengan metode yang digunakan. Ketinggian yang tidak tepat dapat mengganggu transfer oksigen ke dalam air, menghambat efektivitas proses secara keseluruhan.

2.2.3.2.5 Perbandingan luas muka media dengan volume aerator

Proses aerasi tidak akan berjalan efektif jika gas oksigen yang ada di udara tidak terlibat dengan baik atau efisien jika luas suatu permukaan kontak tidak sesuai dengan kapasitas volume aerator.

2.2.3.2.6 Lama waktu pengontakan

Proses transfer gas oksigen (O_2) dari fase gas (udara) ke fase cair (air) memerlukan waktu. Semakin lama durasi kontak antara air dan udara, air semakin besar kuantitas oksigen yang dapat terlarut dalam air hingga mencapai kejenuhan, mengikuti prinsip difusi gas. Setiap reaktor mengalami kenaikan karena DO yang konstan. Peningkatan konsentrasi DO dapat terjadi sebagai akibat dari tindakan yang dilakukan untuk menambah utang udara dan menambah durasi aerodinamis. Peningkatan DO selama proses aerasi terus menerus menunjukkan bahwa sedang terjadi perpindahan gas secara difus antara udara dan udara. Karena waktu tempuh udara semakin lama dan udara semakin besar, maka oksigen terlarut menjadi lebih terasa sehingga mengakibatkan DO pun semakin meningkat (Batara et al., 2017a).

2.2.3.2.7 Kejenuhan

Konsentrasi gas terlarut dalam air akan mencapai titik saturasi atau kejenuhan saat kesetimbangan dinamis antara fase gas dan fase cair tercapai. Pada kondisi ini, laju pelarutan gas ke dalam air sama dengan laju pelepasan gas dari air. Nilai jenuh dipengaruhi oleh tekanan air dan tekanan gas di

atmosfer. Semakin lama proses aerasi, semakin tinggi nilai jenuh oksigen yang dihasilkan.

2.2.3.3 Reaksi Aerasi

Air tanah memiliki jumlah karbondioksida yang relatif tinggi, dapat diukur berdasarkan pH-nya, serta memiliki kandungan oksigen terlarut yang rendah, bahkan dapat menciptakan kondisi anaerobik. Dalam kondisi ini, konsentrasi ferri karbonat ($FeCO_3$) akan mengalami penurunan, yang kemudian menyebabkan peningkatan kadar ion besi ferro (Fe^{2+}) dalam air. Hal ini terjadi karena perubahan kondisi lingkungan mendorong disosiasi ferri karbonat atu mencegah pembentukannya, sehingga melepaskan lebih banyak ion Fe^{2+} ke dalam larutan. Reaksi kimia yang terjadi dapat digambarkan seperti berikut.

$$FeCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Fe_{2+} + 2HCO_3$$

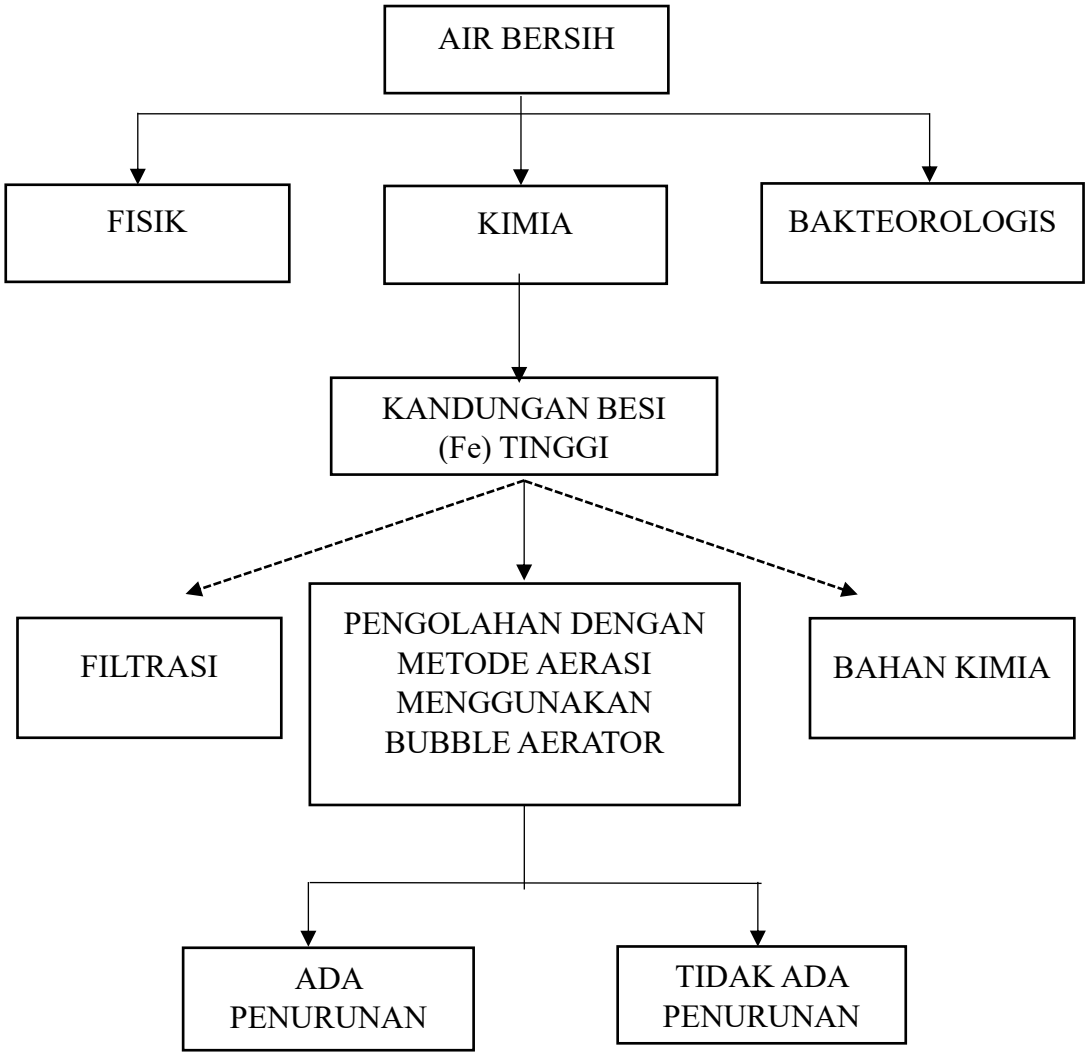
Reaksi tersebut terjadi di perairan anaerob, dimana hanya ditemukan besi (Fe_{2+}) dalam kondisi tersebut, sebagai akibat dari proses penguraian bahan organik yang berlebihan. Hal ini menunjukkan bahwa kadar besi (Fe_{2+}) yang tinggi di perairan berhubungan erat dengan kandungan bahan organik atau kadar besi yang tinggi pada discuss yang berasal dari tanah lapisan dasar perairan yang sudah tidak mengandung oksigen (Khairunnisa, 2019).

Air yang mengandung sejumlah gas CO_2 dan H_2O. Di dalam air besi tersebar dan mengandung O_2, memungkinkan besi untuk terurai dalam discuss. Besi akan sangat sulit untuk mengendap jika terbentuk dalam bentuk Fe2+, maka perlu diubah menjadi Fe3+. Fe(OH) adalah salah satu senyawa yang sulit terurai dalam discuss. Berikut adalah reaksi yang terjadi antara besi dan oksigen dalam discuss (Septiani, 2021).

$$4\ Fe^{2+} + 10\ H_2O \longrightarrow 4\ Fe(OH)_3 + 8\ H^+$$

2.3 Kerangka Teori

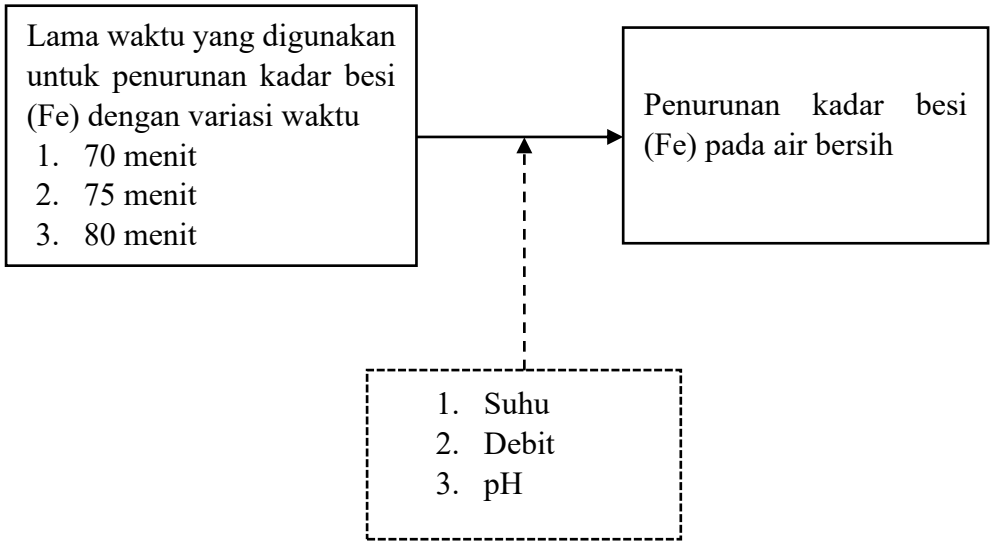
Pada penelitian ini terdapat kerangka teori sebagai berikut:



Gambar II.1 Kerangka Teori Penelitian

2.4 Kerangka Konsep

Pada penelitian ini terdapat kerangka konsep sebagai berikut:



Gambar II.2 Kerangka Konsep Penelitian