

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya pertumbuhan penduduk dan percepatan industrialisasi, kualitas lingkungan juga menurun akibat pencemaran. Permukiman padat, sanitasi yang tidak sempurna, dan pembuangan langsung air limbah ke lingkungan menjadi penyebab utama pencemaran, terutama pada kualitas air. Penurunan kualitas air disebabkan oleh meningkatnya aktivitas manusia yang berdampak pada kelangsungan hidup berbagai organisme perairan dan mengancam keselamatan kehidupan manusia. Permasalahan kualitas air yang sering dijumpai terutama air limbah hasil samping yang dihasilkan dari proses industri yang tidak memenuhi persyaratan baku mutu air limbah. Air limbah seringkali mengandung logam terutama besi (Fe) dalam jumlah besar. Kadar besi dalam air limbah dapat menyebabkan air berubah warna menjadi kuning kecoklatan dan menghasilkan bau yang tidak sedap, yang tentunya berdampak besar bagi lingkungan.

Berdasarkan masalah diatas maka perlu dilakukan penelitian yang berkaitan dengan penurunan kadar besi (Fe) salah satunya penurunan kadar besi menggunakan aerasi *microbubble*. Aerasi *Microbubble* adalah aerasi yang menggunakan gelembung halus dari variabel yang dihasilkan besar gelembung 0,49 mm dengan debit udara masuk 0,98 L/menit dan besar gelembung 0,12 mm saat debit udara masuk 0,24 L/menit, air dimasukkan ke dalam pipa inlet dengan memberikan tekanan pada air kemudian memberikan tekanan udara ke dalam pipa tersebut. Hal ini dapat telah sesuai dengan persamaan kekekalan massa dan energi, bahwa kecepatan air di pipa outlet harus lebih besar daripada kecepatan udara di pipa inlet (Michio Sadatomi dkk, 2004). Berdasarkan hal tersebut maka dapat disimpulkan bahwasannya sistem aerasi *microbubble* secara kontinyu dapat mencampur dan mengefisiensikan reaksi dengan cepat untuk mencapai peningkatan kinerja dalam sistem mikrofluida, diameter gelembung berkisar antara 110 μm sampai 220 μm . Kemudian pemilihan *microbubble* aeraor yang akurat dan tepat sangat penting untuk *micromachining*. Dalam penelitian ini,

model *mathematical* telah dikembangkan untuk memprediksi diameter alat *microbubble* aerator. Berbeda dari penelitian yang lainnya seperti pada aerasi konvensional yaitu *Spray Aerator* yang menghasilkan gelembung berdiameter 15-30mm (Takahiro Arakawa dkk, 2007).

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah proses aerasi *microbubble* efektif dalam mengatasi limbah besi (Fe) pada air limbah industri ?
2. Apakah proses aerasi *microbubble* efektif dalam meningkatkan nilai oksigen terlarut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa parameter awal limbah suhu, pH, TDS, TSS, oksigen terlarut (DO dan besi terlarut (Fe^{2+}) pada air limbah industri.
2. Mengetahui proses aerasi *microubble type venturi injector* apakah mampu meningkatkan nilai oksigen terlarut (DO) dan menurunkan kandungan besi terlarut (Fe^{2+}) dalam air limbah.
3. Mengetahui proses aerasi *microubble type venturi injector* yang paling efisien dan efektif digunakan.

1.4 Kerangka Pemikiran

Secara umum, definisi dari *microbubble* adalah gelembung udara skala kecil dengan diameter berkisar antara milimeter dan mikrometer. Sadatomi dkk., (2011) menyatakan bahwasannya *microbubble* adalah gelembung udara kecil dengan diameter kurang dari 100 μm dan ditandai dengan kelarutan yang tinggi dalam air. Kemudian Temesgen dkk., (2017) menyatakan bahwasannya *microbubble* adalah gelembung-gelembung kecil yang ukurannya dibatasi dari 10-50 μm . Alat *microbubble* aerator ini memiliki bentuk seperti pipa di mana cairan yang masuk tersedia secara tangensial ke permukaan melingkar di dinding bagian dalam pipa, kemudian udara disuplai dari ruang di tengah pipa menuju keluaran yang berupa campuran udara dan cairan.

Alat penghasil *microbubble* dapat juga disebut sebagai *microbubble* aerator, alat ini memiliki bentuk yang sederhana sehingga mudah di manufaktur.

Gelembung yang kecil ini mengakibatkan *bubble* bertahan lama dan kecepatan slip yang rendah sehingga diharapkan *microbubble* dapat meningkatkan efisiensi kontak antara gas dan cairan. Alat ini dapat menjadi salah satu solusi atas beberapa permasalahan yang terkait dengan aliran dua fasa. Untuk pengolahan air yang mana dengan teknik ini dapat meningkatkan kandungan oksigen di dalam air.

Berdasarkan variabel yang telah dilakukan Michio Sadatomi dkk., (2011) dihasilkan besar gelembung 0,49 mm dengan debit udara masuk 0,98 L/min dan besar gelembung 0,12 mm saat debit udara masuk 0,24 L/min. Penelitian ini dapat dilihat bahwa air dimasukkan ke dalam pipa inlet dengan memberikan tekanan pada air, kemudian memberikan tekanan udara ke dalam pipa tersebut. Berbeda dari penelitian yang telah dilakukan oleh Takahiro Arakawa dkk., (2007) menghasilkan persamaan kekekalan massa dan energi. Kecepatan air di pipa outlet harus lebih besar daripada kecepatan air di pipa inlet. Sedangkan untuk udara, jika tekanan kurang dari tekanan atmosfer maka udara akan otomatis tersedot kedalam aliran air.

1.5 Hipotesis

Dapat diambil hipotesis penelitian ini sebagai berikut:

1. Aerasi *Microbubble* dapat digunakan dalam proses penurunan kadar besi terlarut (Fe^{2+}) dan peningkatan nilai oksigen terlarut (DO).
2. Kadar besi terlarut (Fe^{2+}) bisa turun karena adanya kontak antara oksigen dan besi terlarut (Fe^{2+}).
3. Aerasi *Microbubble* dapat digunakan untuk meningkatkan nilai oksigen terlarut (DO).

1.6 Kontribusi Penelitian

Berdasarkan serangkaian kegiatan yang dilakukan diharapkan mampu menghasilkan pengolahan limbah yang sesuai dengan standar baku mutu air limbah untuk digunakan dalam penanganan limbah industri. Temuan ini diharapkan berkontribusi dalam bidang teknik kimia dan teknologi pengolahan limbah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Air

Air merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia, tanpa air tidak akan ada kehidupan di bumi. Air bersih adalah air yang memenuhi persyaratan baku mutu air. Adapun persyaratan yang dimaksud telah ditetapkan oleh Permenkes RI No.416/Menkes/PER/IX/1990 adalah persyaratan dari segi kualitas air yang meliputi kualitas fisik, kimia, biologi dan radiologi, sehingga diutamakan tidak menimbulkan masalah kesehatan. Definisi Air berdasarkan UU No 7 pasal 1 ayat 2 Tahun 2004 adalah zat cair yang tidak mempunyai rasa, warna dan aroma, terdiri dari hidrogen dan oksigen dengan rumus H_2O . Air dalam pengertian ini adalah setiap air yang terdapat di atas atau di bawah permukaan bumi, termasuk air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut. Beberapa parameter fisik yang digunakan untuk menentukan kualitas air antara lain suhu, kekeruhan, warna, daya hantar listrik, jumlah padatan terlarut, rasa, dan aroma.

a. Aroma

Air dengan aroma yang tidak sedap dapat memberikan petunjuk tentang kualitas air. Misalnya, bau amis dapat disebabkan oleh keberadaan alga di dalam air.

b. Jumlah zat padat terlarut

Padatan terlarut total (*Total Dissolved Solid* atau TDS) merupakan bahan-bahan terlarut (diameter $< 10^{-6}$ mm) dan koloid (diameter 10^{-6} mm – 10^{-3} mm) yang berupa senyawa-senyawa kimia dan bahan-bahan lain, yang tidak tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45 μ m (Effendi, 2003). TDS biasanya disebabkan oleh bahan anorganik berupa ion-ion yang terdapat di perairan.

c. Kekeruhan

Kekeruhan mengacu pada sifat optik air yang ditentukan oleh jumlah cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh zat di dalamnya. Kekeruhan disebabkan oleh adanya zat organik dan anorganik tersuspensi dan terlarut

seperti lempung dan pasir halus, serta zat organik dan anorganik seperti plankton dan mikroorganisme lainnya. (Effendi 2003). Zat anorganik penyebab kekeruhan dapat berasal dari batuan dan logam yang lapuk dan zat organik dapat berasal dari flora dan fauna yang lapuk. Bakteri dapat diklasifikasikan sebagai zat organik tersuspensi yang meningkatkan kekeruhan air.

d. Air

Air biasanya tidak memiliki rasa, adanya rasa pada air menunjukkan terdapat berbagai zat yang dapat berbahaya bagi kesehatan. Efek pada kesehatan manusia tergantung pada penyebab rasa pada air itu sendiri.

e. Suhu

Suhu tidak boleh dingin atau panas, apabila suhu mengalami peningkatan, penguraian bahan organik oleh mikroorganisme juga meningkat. Kisaran suhu optimum untuk pertumbuhan fitoplankton di perairan adalah: 20-30°C. Dengan meningkatnya suhu, maka viskositas, reaksi kimia, penguapan, volatilisasi juga meningkat, dan kelarutan gas dalam air berkurang (O₂, CO₂, N₂, CH₄ dan sebagainya) (Effendi, 2003).

f. Warna

Air harus tidak berwarna dan terlindung dari kontaminasi oleh berbagai bahan kimia dan mikroorganisme berwarna. Warna yang gelap atau keruh dapat mencegah cahaya masuk ke dalam air. Warna air disebabkan oleh bahan organik yang membusuk, ion logam alami (besi dan mangan), plankton, humus, limbah industri, dan partikel yang dihasilkan oleh tanaman air. Kehadiran oksida besi mengakibatkan air menjadi merah, dan oksida mangan mengakibatkan berwarna coklat atau hitam. 0,3 mg/L besi dan 0,05 mg/L mangan cukup untuk menghitamkan air (Effendi, 2003).

g. Daya Hantar Listrik

Konduktivitas listrik (DHL) adalah kemampuan cairan untuk menghantarkan arus listrik (daya hantar listrik). DHL dalam air adalah representasi numerik dari kemampuan solusi untuk menghantarkan listrik. Jadi semakin banyak garam terlarut yang dapat terionisasi, maka semakin tinggi DHL yang dihasilkan. Besarnya nilai DHL ini tergantung pada keberadaan ion anorganik, valensi, suhu, konsentrasi total dan relatif.

Tabel 1. Kandungan Ion-Ion yang ada di perairan

| Ion Utama (<i>Major Ion</i>) (1,0 – 1000 mg/liter) | Ion Sekunder (<i>Secondary Ion</i>) (0,01 – 10 mg/liter) |
|---|---|
| Sodium (Na) | Besi (Fe) |
| Kalsium (Ca) | Strontium (Sr) |
| Magnesium (Mg) | Kalium (K) |
| Sulfat (SO ₄) | Karbonat (CO ₃) |
| Bikarbonat (HCO ₂) | Nitrat (NO ₃) |
| Klorida (Cl) | Fluorida (F) |
| | Boron (B) |
| | Silika (SiO ₂) |

Sumber : Todd, 1970 dalam Effendi, 2003

2.2 Pengertian limbah

Seiring dengan laju pertumbuhan penduduk yang tinggi dan proses industrialisasi yang cepat, pencemaran lingkungan juga memperburuk kualitas lingkungan. Tempat tinggal yang padat, sanitasi lingkungan yang buruk dan air limbah yang dibuang langsung ke lingkungan merupakan sumber utama pencemaran. Secara sederhana, limbah dapat didefinisikan sebagai air limbah yang berasal dari aktivitas manusia dan mengandung banyak polutan berbahaya secara langsung dan dalam jangka panjang. Berdasarkan sumbernya, limbah dapat dibagi menjadi limbah rumah tangga dan limbah industri, sedangkan limbah yang tercemar dapat dibagi menjadi polutan organik dan anorganik (Uyun, 2012).

Limbah cair dapat didefinisikan sebagai sampah cair dari proses industri atau kegiatan manusia lainnya. Limbah cair dapat dibedakan menjadi beberapa golongan yaitu limbah rumah tangga, limbah pertanian, dan limbah industri. (Uyun, 2012).

Apabila limbah cair langsung dibuang ke badan air tanpa pengolahan, maka akan menimbulkan berbagai pengaruh terhadap organisme akuatik, sifat kimia dan sifat fisik air. Peraturan Daerah Provinsi Lampung No. 11 Tahun 2012 hal-hal yang berkaitan dengan pengelolaan kualitas air dan pengelolaan pencemaran air, khususnya limbah industri, diolah sebelum dibuang ke lingkungan agar tidak berdampak negatif bagi makhluk hidup khususnya lingkungan.

Berbagai kandungan yang terdapat dalam limbah cair menimbulkan ancaman serius bagi kelestarian lingkungan salah satunya adalah kandungan besi (Fe), karena selain adanya bahan pencemar yang mempengaruhi organisme perairan, bahan pencemar juga berdampak negative pada sifat lingkungan seperti terhadap kelestarian ekosistem perairan (Uyun, 2012).

Upaya pengendalian pencemaran masih mengalami berbagai kendala, salah satunya adalah kurangnya kesadaran bahwa pengelolaan limbah merupakan investasi jangka panjang yang harus dilakukan, kurangnya informasi tentang teknologi instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang efektif dan efisien, serta kurangnya ketersediaan teknologi pengolahan yang mendukung proses tersebut. Pemilihan teknologi pengolahan limbah yang paling utama ditentukan oleh karakteristik limbah sebelum diolah. Tujuan dari pemilihan teknologi adalah agar proses operasional IPALnya berjalan dengan optimal. Teknologi pengolahan air limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengolahan biologis, fisik dan kimia. Ada beberapa parameter yang harus diperhatikan sebelum melakukan penelitian ini, diantaranya adalah :

a. Suhu

Perubahan suhu air mempengaruhi kehidupan akuatik. Naik turunnya suhu air dipengaruhi oleh ketinggian tempat, komposisi substrat, kekeruhan, curah hujan, angin, suhu air limbah, dan reaksi kimia yang terjadi di dalam air. Kenaikan suhu 10°C dapat membuat ikan tertekan dan laju metabolismenya dua kali lipat. Suhu optimal untuk beberapa moluska adalah 20°C apabila di luar batas ini, aktivitas vital menurun. (Budiarsa, 2015).

b. pH

Nilai pH ditentukan oleh konsentrasi ion hidrogen dalam air. Semakin tinggi konsentrasi ion hidrogen dalam air, semakin rendah nilai pH dan semakin beracun air. Nilai pH juga dapat dipengaruhi oleh suhu semakin tinggi nilai suhu maka nilai pH juga bertambah meskipun tidak begitu signifikan (Pratami, 2019). Sebagian besar bioma akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan lebih menyukai kondisi pH berkisar antara 7,0 hingga 8,5. Kondisi pH sangat mempengaruhi dinamika kimia unsur/senyawa dan proses biokimia air. Misalnya, proses nitridasi terhambat dengan menurunkan pH air namun, logam berat bersifat ionik dan meningkatkan

tingkat toksisitas pada pH rendah. Penurunan pH air mulai dari pH 6 mempengaruhi kelimpahan plankton dan keanekaragaman hayati benthik, sedangkan pH di bawah 5 mempengaruhi penurunan yang signifikan dalam biomassa zooplanktonik dan peningkatan filamen alga hijau, dan pada pH 4, sebagian besar tanaman hijau akan mati (Budiarsa, 2015).

c. COD

COD menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan kimia secara kimiawi, baik yang dapat terurai secara hayati maupun yang sulit terurai. Pengukuran COD didasarkan pada kenyataan bahwa dalam lingkungan asam, hampir semua bahan organik dapat dioksidasi menjadi karbon dioksida dan air dengan bantuan oksidan kuat kalium dikromat (Budiarsa, 2015). Kadar COD pada badan air yang tidak tercemar biasanya di bawah 20 mg/L. Sedangkan pada badan air yang tercemar lebih dari 200 mg/L, pada limbah industri dapat mencapai 60.000 mg/L (Budiarsa, 2015).

d. *Total Suspended Solid (TSS)*

Total Suspended Solid (TSS) adalah padatan yang terkandung dalam air dan bukan merupakan larutan, bahan ini dibedakan dari padatan terlarut dengan cara uji filtrasi laboratorium, dan memiliki Satuan mg/l. TSS terdiri atas komponen settleable, floating dan non-soluble (suspensi koloidal). TSS lazimnya mengandung senyawa organik dan anorganik. Satu ciri dari TSS adalah berkaitan dengan karakteristik turbiditas. TSS sangat penting karena pengaruhnya terhadap kualitas estetika, filtrasi (penjernihan) dan desinfeksi; dan potensial dampaknya terhadap ekosistem akuatik. Pada umumnya air yang mengandung banyak TSS kurang bagus ditinjau dari sudut pandang estetika, lebih sulit dan mahal untuk menjernihkannya, dan memerlukan lebih banyak bahan kimia untuk dis-infeksinya. TSS yang berlebihan dapat membahayakan jasad akuatik lainnya melalui penyelimutan insang, reduksi radiasi matahari, dan selanjutnya akan berpengaruh pada rantai makanan alami.

e. *Total Dissolve Solid (TDS)*

Total Dissolve Solid (TDS) yaitu ukuran zat terlarut (baik itu zat organik maupun anorganik) yang terdapat pada sebuah larutan. Umumnya berdasarkan definisi di atas seharusnya zat yang terlarut dalam air (larutan) harus dapat

melewati saringan yang berdiameter 2 mikrometer (2×10^{-6} meter). Aplikasi yang umum digunakan adalah untuk mengukur kualitas cairan biasanya untuk pengairan, pemeliharaan aquarium, kolam renang, proses kimia, dan pembuatan air mineral. Setidaknya, kita dapat mengetahui air minum mana yang baik dikonsumsi tubuh, ataupun air murni untuk keperluan kimia misalnya pembuatan kosmetika, obat-obatan, dan makanan (Misnani, 2010).

Tabel 2. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014

| Parameter | Satuan | GOLONGAN | |
|--|---------|-----------|-----------|
| | | I | II |
| Temperatur | | 38 | 40 |
| Zat padat larut (TDS) | mg/L | 2.000 | 4.000 |
| Zat padat suspensi (TSS) | mg/L | 200 | 400 |
| pH | - | 6,0 - 9,0 | 6,0 - 9,0 |
| Besi terlarut (Fe) | mg/L | 5 | 10 |
| Mangan terlarut (Mn) | mg/L | 2 | 5 |
| Barium (Ba) | mg/L | 2 | 3 |
| Tembaga (Cu) | mg/L | 2 | 3 |
| Seng (Zn) | mg/L | 5 | 10 |
| Krom Heksavalen (Cr^{6+}) | mg/L | 0,1 | 0,5 |
| Krom Total (Cr) | mg/L | 0,5 | 1 |
| Cadmium (Cd) | mg/L | 0,05 | 0,1 |
| Air Raksa (Hg) | mg/L | 0,002 | 0,005 |
| Timbal (Pb) | mg/L | 0,1 | 1 |
| Stanum (Sn) | mg/L | 2 | 3 |
| Arsen (As) | mg/L | 0,1 | 0,5 |
| Selenium (Se) | mg/L | 0,05 | 0,5 |
| Nikel (Ni) | mg/L | 0,2 | 0,5 |
| Kobalt (Co) | mg/L | 0,4 | 0,6 |
| Sianida (CN) | mg/L | 0,05 | 0,5 |
| Sulfida (H_2S) | mg/L | 0,5 | 1 |
| Fluorida (F) | mg/L | 2 | 3 |
| Klorin bebas (Cl_2) | mg/L | 1 | 2 |
| Amonia-Nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) | mg/L | 5 | 10 |
| Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) | mg/L | 20 | 30 |
| Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) | mg/L | 1 | 3 |
| Total Nitrogen | mg/L | 30 | 60 |
| BOD5 | mg/L | 50 | 150 |
| COD | mg/L | 100 | 300 |
| Senyawa aktif biru metilen | mg/L | 5 | 10 |
| Fenol | mg/L | 0,5 | 1 |
| Minyak & Lemak | mg/L | 10 | 20 |
| Total Bakteri Koliform | MPN/100 | 10.000 | |

(Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014)

Industri primer pengolahan hasil hutan merupakan salah satu penyumbang limbah cair yang berbahaya bagi lingkungan. Bagi industri – industri besar, seperti industri pulp dan kertas, teknologi pengolahan limbah cair yang dihasilkannya mungkin sudah memadai tidak demikian bagi industri kecil atau sedang. Namun demikian, mengingat penting dan besarnya dampak yang ditimbulkan limbah cair bagi lingkungan. Penerapan teknologi pengolahan air limbah adalah kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan. Adapun macam teknologi pengolahan air limbah domestik maupun industri yang dibangun harus dapat dioperasikan dan dipelihara oleh masyarakat setempat. Jadi teknologi pengolahan yang dipilih harus sesuai dengan kemampuan teknologi masyarakat yang bersangkutan (Budiarsa, 2015).

Berbagai teknik pengolahan air buangan untuk menyisahkan bahan polutannya telah dicoba dan dikembangkan selama ini. Teknik – teknik pengolahan air buangan yang telah dikembangkan tersebut secara umum terbagi menjadi 3 metode pengolahan yaitu pengolahan secara fisika, pengolahan secara kimia, pengolahan secara biologi. Untuk suatu jenis air buangan tertentu, ketiga metode pengolahan tersebut dapat diaplikasikan secara sendiri – sendiri atau secara kombinasi (Budiarsa, 2015).

a. Pengolahan Limbah Cair Secara Fisika

Pengolahan limbah ini dilakukan pada limbah cair dengan kandungan bahan limbah yang dapat dipisahkan secara mekanis langsung tanpa penambahan bahan kimia atau melalui penghancuran secara biologis. Pengolahan limbah cair secara fisika yang umum dilakukan seperti : screening (penyaringan), sedimentasi, flotasi, mixing, pengendapan, pengapungan dan filtrasi.

b. Pengolahan Limbah Cair Secara Kimia

Pengolahan ini merupakan proses pengolahan limbah dimana penguraian atau pemisahan bahan yang tidak diinginkan berlangsung dengan adanya mekanisme reaksi kimia (penambahan bahan kimia ke dalam proses). Pengolahan limbah cair secara kimia yang umum dilakukan seperti : pengendapan secara kimia, perpindahan gas, adsorpsi, desinfeksi, dan deklorinasi.

c. Pengolahan Limbah Cair Secara Biologis

Pengolahan ini merupakan sistem pengolahan yang didasarkan pada aktivitas

mikroorganisme dalam kondisi anaerobik atau aerobik ataupun penggunaan organisme air untuk mengadsorpsi senyawa kimia dalam limbah cair.

2.3 Logam Besi

Besi adalah logam yang memiliki banyak manfaat bagi kehidupan manusia di bumi. Tidak dapat dibayangkan apabila manusia modern sekarang ini belum bisa memanfaatkannya, mungkin umat manusia masih berada di jaman batu. (slamet, 2013). Besi adalah salah satu elemen kimiawi yang dapat ditemui pada hampir setiap tempat di bumi, pada semua lapisan geologis dan semua badan air. Pada umumnya besi yang ada dalam air dapat bersifat Terlarut sebagai Fe^{2+} (fero) atau Fe^{3+} (feri), tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter $< 1 \mu\text{m}$) atau lebih besar, dan bergabung dengan zat organik atau zat padat yang inorganik (seperti tanah liat). (Hamonangan, N. 2011).

Ion Fe^{2+} (fero) dan Fe^{3+} (feri) memiliki beberapa sifat umum diantaranya adalah Ion Fe^{2+} (fero) tidak membentuk endapan, mudah berubah menjadi Fe^{3+} (feri) jika dikontakan dengan udara, dan berwarna kehijauan. Ion Fe^{3+} (feri) memiliki sifat umum yaitu mudah terhidrolisis, lebih mudah membentuk ion kompleks daripada Fe^{2+} , pada pH rendah sekitar 3 sampai 4 ion Fe^{3+} cukup terlarut dan sulit diendapkan, sedangkan pada pH tinggi diatas 7,5 ion Fe^{3+} berada pada bentuk zat padat yang mudah diendapkan (aizar, 2015).

Kadar besi pada perairan alami berkisar antara 0.05 - 0.2 mg/L, pada air tanah dalam dengan kadar oksigen yang rendah, kadar besi dapat mencapai 10 - 100 mg/L, sedangkan pada perairan laut sekitar 0,01 mg/L. Air hujan mengandung besi sekitar 0.05mg/l Kadar besi $> 1,0$ mg/L dianggap membahayakan kehidupan organisme akuatik. Kadar besi pada perairan yang mendapat cukup aerasi (aerob) hampir tidak pernah lebih dari 0.3mg/l.

Besi yang dikenal dengan nama ferrum (Fe) secara kimia besi merupakan logam yang cukup reaktif karena dapat bersenyawa dengan unsur-unsur lain seperti unsur halogen, belerang, fosfor, karbon, oksigen dan silikon. Fe berada dalam tanah dan batuan sebagai ferioksida (Fe_2O_3) dan ferihidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Besi dalam air berbentuk ferobikarbonat ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$), ferohidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), ferosulfat (FeSO_4) dan besi organik kompleks. Jika air yang mengandung besi dipompakan keluar dan kontak dengan udara (oksigen) maka besi (Fe^{2+}) akan teroksidasi

menjadi ferihidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) karena (Fe^{2+}) mempunyai kelarutan yang besar sehingga jika terus dilakukan oksidasi dengan udara atau aerasi akan terjadi reaksi ion sebagai berikut :



Di dalam air besi (Fe) dapat berpengaruh seperti tersebut di bawah ini :

- a. Besi dalam konsentrasi yang lebih besar dan beberapa mg/l, akan memberikan suatu rasa pada air yang menggambarkan rasa logam, atau rasa obat.
- b. Keberadaan besi juga dapat memberikan kenampakan keruh dan berwarna pada air dan meninggalkan noda pada pakaian yang dicuci dengan menggunakan air ini, oleh karena itu sangat tidak diharapkan pada industri kertas, pencelupan/textil dan pabrik minuman.
- c. Meninggalkan noda pada bak-bak kamar mandi dan peralatan lainnya (noda kecoklatan disebabkan oleh besi dan kehitaman oleh mangan).
- d. Endapan logam ini juga yang dapat memberikan masalah pada sistem penyediaan air secara individu (sumur).
- e. Pada ion *exchanger* endapan besi yang terbentuk, seringkali mengakibatkan penyumbatan atau menyelubungi media pertukaran ion (resin), yang mengakibatkan hilangnya kapasitas pertukaran ion.
- f. Fe^{2+} juga menimbulkan korosif yang disebabkan oleh bakteri.

Pada air permukaan jarang ditemui kadar Fe lebih besar dari 1 mg/L, tetapi di dalam air tanah kadar Fe dapat jauh lebih tinggi. Konsentrasi besi yang tinggi ini dapat dirasakan dan dapat menodai kain dan perkakas dapur, dalam air minum besi menimbulkan rasa, warna (kuning), pengendapan pada dinding pipa, pertumbuhan bakteri besi dan kekeruhan. Zat besi merupakan suatu komponen dari berbagai enzim yang mempengaruhi seluruh reaksi kimia yang penting di dalam tubuh. Besi juga merupakan komponen hemoglobin, yang memungkinkan sel darah merah membawa oksigen dan mengantarkannya ke jaringan tubuh.

Zat besi (Fe) merupakan suatu komponen dari berbagai enzim yang mempengaruhi seluruh reaksi kimia yang penting di dalam tubuh meskipun sukar diserap (10-15%). Besi juga merupakan komponen dari hemoglobin yaitu sekitar 75% yang memungkinkan sel darah merah membawa oksigen dan

mengantarkannya ke jaringan tubuh. Kelebihan zat besi (Fe) bisa menyebabkan keracunan dimana terjadi muntah, kerusakan usus, penuaan dini hingga kematian mendadak, mudah marah, radang sendi, cacat lahir, gusi berdarah, kanker, cardiomyopathies, sirosis ginjal, sembelit, diabetes, diare, pusing, mudah lelah, kulit kehitam – hitaman, sakit kepala, gagal hati, hepatitis, mudah emosi, hiperaktif, hipertensi, infeksi, insomnia, sakit liver, masalah mental, rasa logam di mulut, myasthenia gravis, nausea, nevi, mudah gelisah dan iritasi, parkinson, rematik, sikoprenia, sariawan perut, sickle-cell anemia, keras kepala, strabismus, gangguan penyerapan vitamin dan mineral, serta hemokromatis (Parulian, 2009).

Kadar besi (Fe) dalam air yang melebihi ambang batas maksimum dapat menyebabkan masalah apabila air tetap digunakan. Maka dari itu perlu dilakukan proses pengolahan untuk menurunkan kadar Fe dalam air agar air aman saat digunakan. Proses pengolahan air dapat dilakukan dengan berbagai cara, tergantung pada rencana dan tujuan penggunaan air itu sendiri. Terdapat berbagai cara pengolahan yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar Fe dalam air (Ahmad Jauhari, 2009). Ada beberapa cara untuk menurunkan besi (Fe) pada Air sebagai berikut :

a. Sedimentasi

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat dalam cairan tersebut. Pengendapan air pada instalasi pemisahan besi dan mangan. Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi dari partikel dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu yaitu Pengendapan *Free Settling*, *Flocculent Settling*, *Zone/Hindered Settling*, *Compression Settling*. Menurut penelitian Ahmad Jauhari (2009) lama waktu pengendapan sangat berpengaruh terhadap penurunan Fe. Dalam penelitian tersebut lama waktu pengendapan antara 4 jam dan 6 jam lebih efektif menggunakan lama waktu pengendapan 4 jam.

b. Aerasi

Salah satu cara untuk menghilangkan zat besi dari air adalah oksidasi dengan udara atau aerasi. Ada beberapa jenis aerator yang biasa digunakan dalam pengolahan air minum, antara lain *cascade* aerator, aerator multi-panel, *spray* aerator, *bubble* aerator (sistem pneumatik) dan aerator multi-pelat. Ventilasi memaksimalkan kontak udara-ke-udara yang bertujuan untuk meningkatkan oksigen, sehingga peningkatan waktu injeksi udara ke dalam udara mentah memaksimalkan maksimalisasi kontak dengan peningkatan takara. Aerasi merupakan salah satu proses perpindahan gas dan lebih pada perpindahan oksigen dari fase gas ke fase cair, air, dan membantu dalam pergerakan udara.

2.4 Oksigen Terlarut (DO)

Oksigen terlarut dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme, atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Selain itu, oksigen juga dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Oksigen berperan penting sebagai indikator dalam penentuan kualitas suatu perairan (Satria 2007).

Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Selain itu, oksigen juga menentukan klan biologis yang dilakukan oleh organisme aerobik atau anaerobik. Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrisi yang pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan. Dalam kondisi anaerobik, oksigen yang dihasilkan akan lebih sederhana dalam bentuk nutrisi dan gas. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan rumah tangga. Sebagaimana diketahui bahwa oksigen berperan sebagai pengoksidasi dan pereduksi bahan kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. Disamping itu, oksigen juga sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk pernapasan. Organisme tertentu, seperti mikroorganisme, sangat berperan dalam menguraikan senyawa kimia

beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. Karena peranannya yang penting ini, air buangan industri dan limbah sebelum dibuang ke lingkungan umum terlebih dahulu diperkaya kadar oksigennya. Salah satu upaya untuk memperkaya oksigen terlarut (DO) dapat digunakan cara aerasi, sebagai penambah oksigen terlarut pada air limbah. (Arsawan dkk., 2007)

2.5 Pengertian Aerasi

Dalam sistem instalasi pengolahan air limbah, terutama untuk limbah industri, diperlukan beberapa septic tank. Salah satunya adalah tangki aerasi. Sistem aerasi digunakan untuk mengurangi kebutuhan ruang lantai dan meningkatkan kecepatan pemrosesan sambil menghilangkan bau yang mungkin timbul dari oksidasi tidak sempurna. Dalam proses aerasi yang menurunkan BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) secara aerobik, aerator digunakan sebagai pembangkit oksigen, dengan cara menghubungkan aerator di kolam aerasi dengan oksigen. (Bitton, 2012).

Tujuan proses aerasi adalah mengontakkan semaksimal mungkin permukaan cairan dengan udara yang berfungsi untuk menaikkan jumlah oksigen yang terlarut di dalam air buangan sehingga berguna bagi kehidupan agar perpindahan sesuatu zat atau komponen dari satu medium ke medium yang lain berlangsung lebih efisien, maka yang terpenting adalah terjadinya turbulensi antara cairan dengan udara, sehingga tidak terjadi interface yang stagnan atau diam antara cairan dan udara yang dapat menyebabkan laju perpindahan terhenti. (Bitton, 2012).

Sistem aerasi terdapat dua jenis yaitu aerasi alami dan buatan. Aerasi alami adalah kontak antara udara dan udara yang terjadi karena pergerakan alami udara. Kemudian untuk aerasi buatan adalah salah satu metode adopsi dari aerasi alami yang sengaja dibuat untuk menggantikan aerasi alami. Adapun beberapa metode yang umum digunakan untuk meningkatkan aerasi alami, termasuk penggunaan aerator bertingkat, air terjun, dan aerator baki berbentuk kerucut. Aerasi mekanik atau dikenal juga dengan agitasi mekanik menggunakan proses pengadukan dengan alat agar udara dapat bersentuhan dengan udara.

Manfaat dari penggunaan aerasi adalah untuk menghilangkan gas terlarut, mengoksidasi kandungan besi dalam air, mengurangi kandungan amonia di air

melalui proses nitrifikasi, dan meningkatkan kandungan oksigen terlarut dalam air bersih. Selain itu, ada beberapa manfaat seperti :

- a. Penyisihan rasa dan bau aerasi mempunyai keterbatasan dalam hal penyisihan rasa dan bau. Sebagian besar rasa dan bau disebabkan oleh bahan yang sangat larut dalam air, sehingga aerasi kurang efisien dalam menyisihkan rasa dan bau ini dibandingkan dengan metoda pengolahan lain, misalnya oksidasi klorinasi atau adsorpsi.
- b. Penyisihan besi dan mangan. aerasi dalam proses ini dapat memberikan cukup banyak oksigen untuk berlangsungnya reaksi. Proses ini biasanya digunakan pada air tanah yang kebanyakan mempunyai kandungan oksigen terlarut yang rendah. Oleh karena itu, aerasi dalam aplikasi ini akan menghasilkan endapan dan meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut. Mangan sering kali tidak dapat teroksidasi pada pH normal. Peningkatan pH sampai 8,5 dapat memperbesar oksidasi mangan, khususnya jika digunakan menara aerator.

Menurut Informasi Kesling (2016) macam-macam metode aerasi sebagai berikut:

- a. *Waterfall* aerator (aerator air terjun) Pengolahan air aerasi dengan metoda *Waterfall* aerator susunannya sangat sederhana dan tidak mahal serta memerlukan ruang yang kecil. Jenis aerator terdiri atas 4-8 tray dengan dasarnya penuh lobang-lobang pada jarak 30-50 cm. Melalui pipa berlobang air dibagi rata melalui atas tray, dari sini percikan-percikan kecil turun kebawah dengan kecepatan kira-kira 0,02 m /detik per m² permukaan tray. Tetesan yang kecil menyebar dan dikumpulkan kembali pada setiap tray berikutnya. Tray-tray ini bisa dibuat dengan bahan yang cocok seperti lempengan-lempengan abestos cement berlobang-lobang, pipa plastik yang berdiameter kecil atau lempengan yang terbuat dari kayu secara paralel.
- b. *Cascade* Aerator Pada dasarnya aerator ini terdiri atas 4-6 step/tangga, setiap step kira-kira ketinggian 30 cm dengan kapasitas kira-kira ketebalan 0,01 M³ /det per meter². Untuk menghilangkan gerak putaran (turbulence) guna menaikkan efisiensi aerasi, hambatan sering ditepi peralatan pada setiap step. Dibanding dengan tray aerators, ruang (tempat) yang diperlukan bagi

casade aerators agak lebih besar tetapi total kehilangan tekanan lebih rendah. Keuntungan lain adalah tidak diperlukan pemeliharaan.

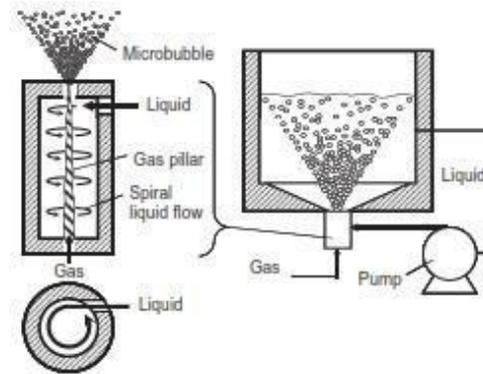
- c. *Sumberged Cascade* aerator, aerasi tangga aerator penangkapan udaranya terjadi pada saat air terjun dari lempengan-lempengan trap yang membawanya. Oksigen kemudian dipindahkan dari gelembung-gelembung udara ke dalam air. Total ketinggian jatuh kira-kira 1,5 m dibagi dalam 3-5 step. Kapasitas bervariasi antara 0,005 dan 05 m³ /det per meter luas.
- d. *Multiple Plat* aerator memakai prinsip yang sama, lempengan-lempengan untuk menjatuhkan air guna mendapatkan kontak secara penuh udara terhadap air.
- e. *Spray* aerator terdiri atas nosel penyemprot yang tidak bergerak (*Stationary nozzles*) dihubungkan dengan kisi lempengan yang mana air disemprotkan ke udara disekeliling pada kecepatan 5-7 m /detik, dengan pengeluaran air kearah bawah melalui batang-batang pendek dari pipa yang panjangnya 25 cm dan diameter 15 -20 mm. piringan melingkar ditempatkan beberapa centimeter di bawah setiap ujung pipa, sehingga bisa berbentuk selaput air tipis melingkar yang selanjutnya menyebar menjadi tetesan-tetesan yang halus. Nosel untuk spray aerator bentuknya bermacam-macam, ada juga nosel yang dapat berputar-putar.
- f. *Bubble* aerator jumlah udara yang diperlukan untuk aerasi gelembung udara tidak banyak, tidak lebih dari 0,3- 0,5 m³ udara/m³, volume udara ini dengan mudah bisa dinaikan melalui suatu alat. Udara disemprotkan melalui dasar dari bak air yang akan diaerasi

2.6 Microbubble

Microbubble adalah gelembung halus dengan diameter ekuivalen dalam kisaran sama dengan atau lebih besar dari 1 µm sampai kurang dari 100 µm. *Microbubble* aerator adalah alat untuk menghasilkan gelembung dengan cara transfer oksigen. *Microbubble* dapat dibuat dalam beberapa cara dengan sifat yang berbeda antara lain aerator gelembung mikro elektrolitik, pelat berpori (PP), aerator gelembung tipe tabung aerasi, dan benda bulat dalam tabung air yang mengalir (Sumber). Penggunaan teknologi *microbubble* ini telah merambah ke berbagai bidang industri seperti pada industri gula yakni untuk mengolah limbah

yang sering digunakan dalam departemen irigasi, kemudian pada industri kertas yang digunakan untuk mengolah limbah dari hasil *washing process* serta dalam industri perikanan saat ini sedang booming digunakan metode aerasi. Metode aerasi yang digunakan dalam industri perikanan berfungsi untuk meningkatkan kadar oksigen di kolam atau tambak, sehingga diharapkan bobot ikan akan lebih cepat naik (Abdur Rofik dkk., 2020). Ada beberapa teori yang menjelaskan terkait dengan prinsip kerja dari *system microbubble* aerator seperti :

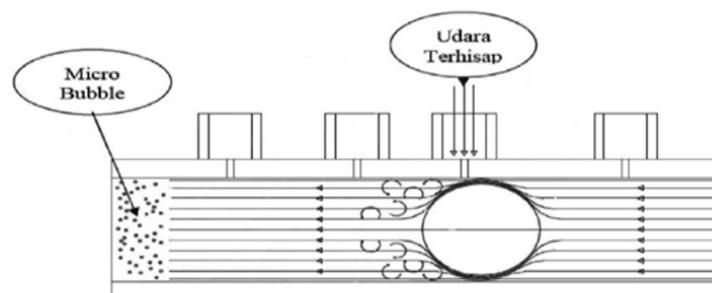
1. *Spiral Liquid flow Type*



Gambar 1. *Spiral liquid Flow Type*

Air yang dipompa adalah dimasukkan secara tangensial dari lubang samping ke dalam silinder. Itu menghasilkan aliran cairan spiral membentuk rongga seperti pusaran di silinder. Gas disedot dari sebuah lubang di bagian bawah lalu menyemburkan dengan cairan dari lubang di bagian atas silinder, dimana fase gas dikurangi menjadi gelembung yang sangat kecil, gelembung mikro karena efek sentrifugasi yang disebabkan oleh aliran cairan berputar berkecepatan tinggi.

2. *Spherical ball*

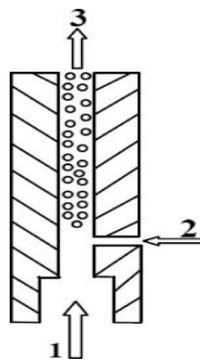


Gambar 2. *Spherical ball*

Prinsip kerja utama dari *microbubble* aerator metode *spherical ball* adalah

menciptakan beda tekanan antara tekanan udara luar dengan tekanan fluida dalam pipa sampai titik tekanan vakum sehingga udara (gas) terhisap masuk kedalam aliran fluida melalui lubang-lubang kecil pada dinding pipa. Ilustrasi di atas menggambarkan aliran air bertekanan masuk dari sisi inlet pipa. Aliran air akan bertambah kecepatannya saat melewati bola karena penyempitan penampang aliran dan pertambahan panjang lintasan partikel air saat menyusuri dinding bola. Pertambahan kecepatan menyebabkan tekanan disekitar bola menurun dan lebih rendah dari tekanan udara luar, sehingga udara luar terhisap masuk melalui lubang intake disekitar bola dan membentuk gelembung-gelembung kecil yang keluar dari sisi outlet pipa.

3. *Ejector type*



Gambar 3. *Ejector type*

Ejector menggunakan efek venturi dari nosel konvergen-divergen untuk mengubah energi tekanan fluida motif menjadi energi kecepatan yang menciptakan zona tekanan rendah yang menarik dan memasukkan gas hisap. Setelah melewati leher *injektor*, terjadi percampuran antara gas dan cairan sehingga kecepatannya berkurang. Percampuran gas dan cairan dalam aliran turbulen menciptakan gelembung mikro. *Microbubble* dengan diameter 40–50 μm dapat dibentuk dengan metode ini. *nozzle ejector* biasanya digunakan untuk menghasilkan *microbubble* pada mesin diesel supaya dapat meningkatkan hasil pembakaran. Faktor yang mempengaruhi meningkat dan menurunnya kadar oksigen yang terlarut pada proses aerasi tipe *ejector* yaitu cuaca, temperatur air, temperatur udara, dan sinar matahari (Abdur Rofik dkk., 2020).

2.7 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang terkait dengan proses aerasi untuk penurunan kadar besi terlarut dan menjadi referensi saat melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan oleh Aizar L tahun 2015 menggunakan *tray* aerator dan diffuser aerator, hasil penelitiannya menyatakan bahwa tray aerator 5 tingkat mampu menurunkan kadar besi terlarut sebesar 10%, dan diffuser aerator mampu menurunkan kadar besi sebesar 2,6%.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Hendra Bagus, dkk tahun 2019 menggunakan *waterfall* aerator menyatakan bahwa *waterfall* aerator mampu menurunkan kadar besi terlarut sebesar 6,6%.
3. Penelitian yang dilakukan oleh Rasman dan Muh Saleh 2016 menggunakan *spray* aerator menyatakan bahwa *spray* aerator mampu menurunkan kadar besi terlarut sebesar 66,7 %.

2.8 Titrasi Permanganometri

Proses titrasi permanganometri menggunakan kalium permanganat merupakan oksidator kuat dalam larutan yang bersifat basa. Reaksi pembentukan Mn^{2+} dari ion permanganat tidak berlangsung bolak balik. Sedangkan potensial elektrodanya yang baku diukur secara tidak langsung dan sangat bergantung pada pH. Oleh karena itu, saat titrasi harus dilakukan dalam suasana asam kuat (misalnya asam sulfat). Sedangkan bobot permanganat adalah seperlima dari bobot rumusnya. Meskipun demikian, kalium permanganat juga merupakan oksidator kuat dalam larutannya yang bersifat asam lemah, basa atau netral.

Titrasi ini didasarkan pada titrasi redoks kalium permanganat ($KMnO_4$) yang telah digunakan secara luas sebagai zat pengoksidasi selama lebih dari 100 tahun. Reagen ini dipilih dengan alasan mudah diperoleh, murah dan tidak memerlukan indikasi kecuali digunakan larutan yang sangat encer. Permangan bereaksi dengan cara yang berbeda, karena mangan dapat memiliki keadaan oksidasi +2, +3, +4, +6, dan +7 (Underwood, 2002).

Permanganometri adalah titrasi yang didasarkan pada reaksi redoks. Dimana ion MnO_4^- bertindak sebagai oksidator. Ion MnO_4^- akan berubah menjadi Mn^{2+} dalam suasana asam. Teknik titrasi ini biasa digunakan untuk menentukan kadar

oksalat atau besi dalam suatu sampel. Kalium permanganate adalah oksidator yang paling baik untuk menentukan kadar besi yang terdapat dalam sampel dalam suasana asam menggunakan asam sulfat (H_2SO_4). Titrasi permanganometri ini banyak digunakan dalam menganalisa zat-zat organik (Taufik, 2007).