

KINERJA *MULTIPLE TRAY AERATOR* DALAM PENINGKATAN PH DAN PENURUNAN KADAR BESI (Fe) PADA SURFACE WATER

PERFORMANCE OF MULTIPLE TRAY AERATORS IN INCREASING pH AND REDUCING IRON (Fe) LEVELS IN SURFACE WATER

**Indah Prihaningtyas D.S^{1,2*}, Muhammad Alif Rizqullah¹, Kamilah Nurul
Azizah¹, Alfani Maulidah Rahmah¹, Atha Aufa Widyananda¹, Nurul Anisa
Rahmawati Rahman¹**

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Mulawarman University
Jl. Sambaliung No. 9, Gunung Kelua, Samarinda, Indonesia

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Technology and Vocational Education, Indonesia University of Education,
Jl. Dr. Setiabudhi No. 207, Bandung, Indonesia

*email : indah.unmul@gmail.com

(Received: 2025 12, 28; Reviewed: 2025 12, 25; Accepted: 2025 12, 31)


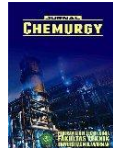
Abstrak

Konsentrasi besi (Fe) yang tinggi pada air tadah hujan yang lazim dimanfaatkan masyarakat Desa Sukamaju untuk keperluan aerasi pertanian berpotensi menimbulkan dampak merugikan terhadap pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja *Multiple Tray Aerator* dalam menurunkan kadar besi (Fe) dan turbiditas air. Tahapan pengolahan diawali dengan proses aerasi, yaitu pengontakan air dengan udara untuk mengoksidasi ion Fe terlarut menjadi bentuk yang tidak larut. Selanjutnya, air dialirkan melalui proses filtrasi menggunakan media spons, batu kerikil, dan arang untuk menahan partikel hasil oksidasi serta menyisihkan kotoran tersuspensi. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan pH dari 4 menjadi 6 dengan efisiensi sebesar 33,33%, penurunan kadar Fe dari 2,18 mg/L menjadi 0,54 mg/L dengan efisiensi 37,17%, serta penurunan turbiditas dari 1,068 MTU menjadi 0,352 MTU dengan efisiensi 67,04%. Temuan ini mengindikasikan bahwa *Multiple Tray Aerator* merupakan teknologi sederhana yang relatif mudah diterapkan, namun tetap efektif dalam memperbaiki kualitas air untuk kebutuhan pertanian, terutama dalam menurunkan kadar besi (Fe) dan turbiditas secara berkelanjutan

Kata Kunci: *Multiple Tray Aerator*, filtrasi, Aerasi, Kadar Besi (Fe)

Abstract

High iron (Fe) concentrations in rainwater harvesting systems commonly used by the residents of Sukamaju Village for agricultural aeration purposes may adversely affect plant growth. This study aims to evaluate the performance of a *Multiple Tray Aerator* in reducing iron (Fe) levels and water turbidity. The treatment process

	JURNAL CHEMURGY E-ISSN 2620-7435 Available online at http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK	 SINTA Accreditation No. 152/E/KPT/2023
---	--	--

begins with aeration, in which water is brought into contact with air to oxidize dissolved Fe ions into an insoluble form. Subsequently, the water is passed through a filtration stage using sponge, gravel, and charcoal media to retain oxidation by-products and remove suspended impurities. The test results indicate an increase in pH from 4 to 6 with an efficiency of 33.33%, a reduction in Fe concentration from 2.18 mg/L to 0.54 mg/L with an efficiency of 37.17%, and a decrease in turbidity from 1.068 MTU to 0.352 MTU with an efficiency of 67.04%. These findings suggest that the Multiple Tray Aerator is a simple and relatively easy-to-implement technology, yet remains effective in improving water quality for agricultural use, particularly by sustainably reducing iron (Fe) concentration and turbidity.

Keywords: Multiple Tray Aerator, Filtration, Aeration, Iron Concentration (Fe)

1. PENDAHULUAN

Air merupakan komponen esensial dalam sistem produksi pertanian karena berfungsi sebagai medium transportasi unsur hara, pengatur proses fisiologis tanaman, serta penentu keberhasilan budidaya pada berbagai kondisi agroekosistem. Di tingkat lapangan, air tidak hanya dipahami sebagai kebutuhan kuantitatif untuk memenuhi evapotranspirasi dan menjaga kelembapan tanah, tetapi juga sebagai faktor kualitatif yang menentukan ketersediaan hara, stabilitas sifat kimia tanah, dan kesehatan tanaman secara keseluruhan. Oleh sebab itu, pembahasan mengenai air irigasi dalam pertanian modern tidak dapat dilepaskan dari penilaian mutu air melalui parameter fisika dan kimia, termasuk pH, kekeruhan, kandungan padatan tersuspensi, serta konsentrasi logam terlarut. Di antara parameter tersebut, kadar besi terlarut atau Fe menjadi indikator penting karena sifatnya yang reaktif dan dampaknya yang dapat muncul baik secara langsung pada tanaman maupun secara tidak langsung melalui perubahan sifat tanah dan penyumbatan infrastruktur irigasi.

Kehadiran Fe dalam air pada dasarnya dapat berasal dari pelapukan mineral, proses geokimia pada akuifer, serta pelindian tanah yang kaya besi, terutama pada daerah dengan kondisi reduktif. Dalam konsentrasi tertentu, besi merupakan unsur mikro yang dibutuhkan tanaman, namun ketika konsentrasinya melampaui ambang toleransi, Fe berpotensi menjadi sumber tekanan fisiologis. Berbagai literatur menyebutkan bahwa air irigasi dengan konsentrasi Fe yang tinggi, khususnya pada kisaran melebihi 1–3 mg/L, berpotensi menimbulkan gangguan kompleks pada sistem pertanian. Dampak tersebut tidak hanya terkait dengan toksisitas langsung, melainkan juga berkaitan dengan dinamika kompetisi serapan hara. Tingginya Fe dapat mengganggu keseimbangan serapan unsur penting seperti fosfor (P) dan mangan (Mn), memicu ketidakstabilan ketersediaan hara mikro lain, serta memengaruhi aktivitas enzimatik yang terkait dengan metabolisme tanaman. Secara fisiologis, tanaman dapat menunjukkan gejala klorosis akibat terganggunya pembentukan klorofil, nekrosis pada jaringan daun, penurunan laju fotosintesis, dan pada kondisi yang lebih parah dapat berujung pada penurunan hasil hingga kematian tanaman.

Selain efek pada tanaman, Fe yang tinggi juga memengaruhi lingkungan rizosfer dan fungsi mikroorganisme tanah. Dalam kondisi tertentu, endapan besi hasil oksidasi dapat membentuk lapisan pada permukaan tanah atau sekitar akar, yang pada akhirnya menghambat difusi oksigen serta mengubah mikrohabitat mikroba. Mikroorganisme yang berperan dalam siklus hara, seperti bakteri pelarut fosfat atau mikroba yang terkait dengan mineralisasi bahan organik, dapat mengalami penurunan aktivitas ketika kondisi kimia tanah menjadi tidak seimbang. Dampak ini penting diperhatikan karena keberlanjutan produktivitas pertanian sangat ditentukan oleh interaksi antara tanaman, tanah, air, dan komunitas mikroba. Dari sisi infrastruktur, kandungan Fe yang tinggi juga dapat menimbulkan persoalan teknis pada sistem irigasi, terutama pada irigasi tetes (drip irrigation). Endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ atau senyawa oksida-hidroksida besi yang terbentuk akibat oksidasi Fe^{2+} dapat

menyumbat emiter dan pipa, sehingga distribusi air menjadi tidak merata. Kondisi ini meningkatkan biaya pemeliharaan, memperpendek umur instalasi, dan menurunkan efisiensi penggunaan air.

Persoalan kualitas air irigasi di Indonesia juga perlu dibaca dalam konteks yang lebih luas, yakni kondisi sumber daya air yang menghadapi tekanan kuantitas dan kualitas secara simultan. Data dari Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan (Ditjen PPKL) menunjukkan bahwa proporsi sungai yang memenuhi baku mutu relatif kecil dibandingkan tingkat pencemarannya: sekitar 59% sungai dikategorikan tercemar berat, 26,6% tercemar sedang, 8,87% tercemar ringan, dan hanya sekitar 5,3% yang memenuhi baku mutu. Gambaran ini mengindikasikan bahwa akses terhadap air yang layak, termasuk untuk kepentingan pertanian, tidak selalu tersedia secara merata, khususnya di wilayah pedesaan yang sering bergantung pada sumber air lokal seperti air tadah hujan, air tanah dangkal, atau aliran permukaan.

Pada sisi regulasi, Peraturan Pemerintah (PP) No. 82 Tahun 2001 menetapkan klasifikasi baku mutu air berdasarkan kelas penggunaan. Namun, penerapan regulasi tersebut untuk kebutuhan irigasi sering menghadapi kendala praktis karena air irigasi kerap diposisikan harus memenuhi banyak parameter dari beberapa kelas sekaligus, terutama kelas II, III, dan IV. Dalam praktik lapangan, kondisi sumber air yang bervariasi, keterbatasan fasilitas uji, dan dinamika pemanfaatan air oleh masyarakat membuat penerapan baku mutu secara ketat menjadi menantang. Selain itu, permintaan air yang terus meningkat akibat pertumbuhan penduduk dan perluasan aktivitas ekonomi menempatkan sektor pertanian dalam situasi kompetisi dengan sektor domestik dan industri. Ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air menjadi kecenderungan yang berulang, sehingga kebutuhan untuk mengelola dan meningkatkan kualitas air menjadi semakin mendesak (Musa et al., 2025).

Dalam konteks kontaminasi, perhatian terhadap logam berat pada air tanah dan air permukaan semakin meningkat karena implikasinya terhadap kesehatan manusia dan stabilitas ekosistem. Logam berat seperti timbal (Pb), merkuri (Hg), kadmium (Cd), dan arsenik (As) dikenal bersifat toksik meskipun pada konsentrasi rendah. Keberadaan logam-logam tersebut dapat menurunkan kelayakan sumber daya air dan berpotensi mengalami bioakumulasi dalam rantai makanan, yang pada akhirnya memperbesar risiko paparan jangka panjang bagi organisme hidup, termasuk manusia (Elmanfe et al., 2022). Meskipun Fe tidak selalu dikategorikan sebagai logam berat berbahaya dalam konteks yang sama dengan Pb atau Hg, konsentrasi Fe yang tinggi tetap dapat menjadi problem utama dalam pertanian karena sifatnya yang mudah berubah bentuk, memengaruhi karakteristik fisika-kimia air, dan berkontribusi pada terbentuknya endapan. Oleh karena itu, upaya pencegahan dan pengendalian pencemaran, termasuk pengolahan air untuk menurunkan kadar Fe dan parameter kualitas lain, menjadi bagian penting dari strategi perlindungan lingkungan dan ketahanan pangan.

Dorongan untuk menyediakan air pertanian yang memenuhi persyaratan mutu mendorong berkembangnya berbagai inovasi teknologi pengolahan air yang dapat diaplikasikan di tingkat komunitas. Salah satu pendekatan yang relatif sederhana dan banyak dikaji adalah teknologi aerasi. Secara prinsip, aerasi bertujuan meningkatkan transfer oksigen dari udara ke dalam air dan melepaskan gas terlarut yang tidak diinginkan. Pada air dengan pH rendah dan kandungan Fe terlarut tinggi, aerasi dapat berperan sebagai tahap awal yang krusial karena memicu oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} yang kemudian membentuk endapan dalam bentuk hidroksida besi. Mekanisme ini sangat dipengaruhi oleh pH, suhu, dan ketersediaan oksigen terlarut. Selain itu, aerasi juga dapat membantu mengurangi konsentrasi gas seperti karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S) melalui pelepasan ke atmosfer, yang pada gilirannya dapat meningkatkan pH air dan memperbaiki karakteristik bau serta rasa. Dalam beberapa kondisi, aerasi juga dapat mendorong proses nitrifikasi yang membantu menurunkan amonia, sekaligus mengoksidasi mangan terlarut yang sering muncul bersama besi (Yuniarti et al., 2019).

Teknologi aerasi memiliki variasi desain, salah satunya adalah *Multiple Tray Aerator*. Sistem ini memanfaatkan gaya gravitasi dengan mengalirkan air melalui beberapa tingkat tray yang memiliki lubang atau media tertentu, sehingga air terpecah menjadi aliran kecil atau tetesan yang memperluas

permukaan kontak dengan udara. Peningkatan luas kontak ini penting karena mempercepat laju transfer oksigen dan memperkuat proses desorpsi gas terlarut. Dari perspektif rekayasa lingkungan, *Multiple Tray Aerator* memiliki keunggulan pada aspek kesederhanaan konstruksi, kebutuhan energi yang rendah (karena bergantung pada gravitasi), serta kemudahan pengoperasian dan perawatan. Keunggulan tersebut relevan untuk konteks pedesaan dan skala pertanian rakyat, di mana teknologi yang terlalu kompleks cenderung sulit diadopsi secara berkelanjutan.

Namun demikian, aerasi saja umumnya tidak cukup untuk menghasilkan kualitas air yang stabil, terutama ketika target pengolahan mencakup penurunan Fe dan kekeruhan. Setelah Fe^{2+} teroksidasi dan membentuk partikel tidak larut, diperlukan tahapan pemisahan untuk mengurangi konsentrasi Fe total dan menurunkan turbiditas yang meningkat akibat terbentuknya flok atau endapan. Pada tahap ini, filtrasi menjadi proses pelengkap yang penting. Penggunaan media filtrasi seperti spons, kerikil, dan arang didasarkan pada mekanisme penyaringan fisik, penahanan partikel tersuspensi, serta potensi adsorpsi terhadap senyawa tertentu. Kerikil berfungsi sebagai penyangga dan penyaring kasar untuk menahan partikel berukuran lebih besar, spons dapat berperan sebagai penyaring halus yang menangkap partikel kecil, sedangkan arang memiliki sifat poros yang dapat mendukung proses penyerapan serta meningkatkan kualitas air melalui penurunan bau dan warna tertentu. Kombinasi aerasi dan filtrasi pada skema ini secara konseptual membentuk sistem pengolahan yang relatif komprehensif dan dapat diadaptasi pada kondisi lokal.

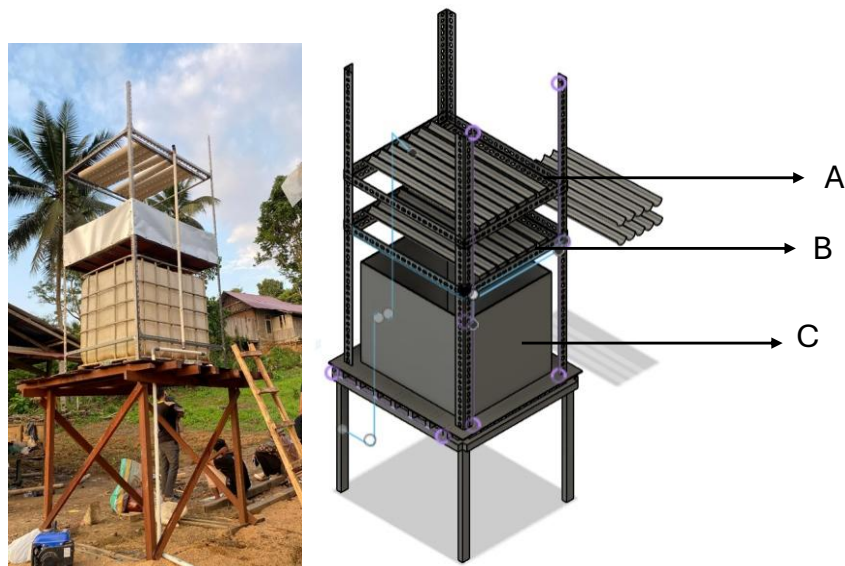
Di samping kelebihan teknis, penerapan *Multiple Tray Aerator* dalam konteks pertanian perlu dianalisis dari sisi keberterimaan sosial dan manfaat jangka panjang. Teknologi yang efektif di laboratorium belum tentu berhasil di lapangan apabila tidak sesuai dengan kebiasaan pengguna, tidak mempertimbangkan ketersediaan material lokal, atau memerlukan biaya operasional yang tinggi. Karena itu, penelitian tentang teknologi pengolahan air di sektor pertanian perlu memadukan aspek performa teknis dengan pertimbangan implementasi. Evaluasi kinerja sebaiknya tidak hanya mengukur parameter sebelum dan sesudah pengolahan, tetapi juga menilai stabilitas hasil, kebutuhan perawatan, potensi penyumbatan, serta dampak terhadap efisiensi sistem irigasi. Dalam hal Fe, parameter penting yang dapat diamati mencakup perubahan pH sebagai faktor pengendali reaksi oksidasi, penurunan konsentrasi Fe terlarut maupun total, serta penurunan kekeruhan sebagai indikator keberhasilan pemisahan partikel hasil oksidasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan untuk mengevaluasi kinerja *Multiple Tray Aerator* sebagai alternatif pengolahan air bagi kebutuhan irigasi pertanian. Fokus evaluasi ditetapkan pada tiga parameter utama, yaitu stabilitas pH, penurunan kadar besi (Fe), dan penurunan tingkat kekeruhan. Pemilihan parameter ini didasarkan pada keterkaitan yang kuat antara pH dengan proses oksidasi Fe, hubungan langsung antara Fe dan potensi gangguan pada tanaman serta sistem irigasi, serta kekeruhan sebagai representasi keberadaan partikel tersuspensi yang dapat berdampak pada kualitas air dan performa distribusi irigasi. Dengan mengkaji perubahan ketiga parameter tersebut setelah proses aerasi dan filtrasi, diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai efektivitas teknologi, batas kemampuan sistem, serta potensi penerapannya sebagai solusi yang layak bagi penyediaan air pertanian yang aman dan berkelanjutan.

Pada akhirnya, kebutuhan untuk meningkatkan kualitas air pertanian bukan semata-mata persoalan teknis, melainkan bagian dari upaya menjaga produktivitas pertanian, melindungi sumber daya lingkungan, dan memperkuat ketahanan pangan dalam jangka panjang. Ketika sumber air menghadapi tekanan pencemaran dan ketersediaannya semakin terbatas, teknologi pengolahan yang sederhana, terjangkau, dan dapat dioperasikan di tingkat lokal menjadi semakin relevan. *Multiple Tray Aerator*, terutama bila dikombinasikan dengan filtrasi media yang mudah diperoleh, memiliki potensi untuk menjembatani kebutuhan tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pemahaman mengenai mekanisme penurunan Fe dan kekeruhan melalui aerasi dan filtrasi, tetapi juga menyediakan dasar pertimbangan praktis bagi pengembangan sistem pengolahan air yang sesuai dengan kondisi pertanian masyarakat

2. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan adalah metode aerasi dimana air akan di kontakkan dengan oksigen sehingga akan terjadi pengikatan ion besi dengan oksigen dalam bentuk terlarut (Ferro) menjadi bentuk tidak larut (Ferri) (Bangun *et al.*, 2022), kemudian Fe dalam bentuk tidak terlarut (Ferri) akan terpisah membentuk sedimen yang selanjutnya akan dipisahkan dari air menggunakan media filtrasi. Alat *Multiple Tray Aerator* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Multiple Tray Aerator*

2. Prosedur Penelitian

2.1 Persiapan Sampel

Sampel air diambil dari air permukaan yang berlokasi di desa Suka Maju Kabupaten Kutai Kartanegara. Sebelum air dialirkan pada alat *Multiple Tray Aerator*, dilakukan perlakuan awal yaitu penyaringan agar air permukaan tersebut bersih dari partikel pengotor sehingga tidak menghambat proses selanjutnya.

Proses Aerasi-Filtrasi

- Air dialirkan ke dalam tray pertama yang telah diisi oleh batu kapur dengan tujuan meningkatkan pH agar mendekati netral sehingga proses aerasi dapat berlangsung optimal, selanjutnya air yang telah berkontak dengan batu kapur akan melewati lubang-lubang pada tiap tray yang kemudian akan bereaksi dengan oksigen membentuk besi tidak larut (Ferri).
- Setelah proses aerasi berlangsung, air akan memasuki tray kedua yang berisi spons, batu kerikil, dan arang dimana proses filtrasi berlangsung, ion besi yang sudah membentuk sedimen akan tertahan pada media filter dan air akan mengalir memasuki tangki penampungan. Selain untuk memisahkan sampel dengan sedimen besi yang terbentuk, tahap filtrasi juga berfungsi untuk menurunkan kadar kekeruhan atau turbiditas dari air.
- Tray terakhir berfungsi sebagai bak penampungan untuk menyimpan air yang telah melalui proses aerasi dan filtrasi sebelum digunakan.

Pengukuran Parameter

- Input : Sampel yang berasal dari air permukaan disaring dari komponen pengotor dan dilakukan pengujian awal yang meliputi pengukuran pH, kadar konsentrasi besi (Fe), dan Turbiditas.
- Output : Sampel yang telah melewati proses aerasi dan filtrasi akan dilakukan pengujian akhir yang meliputi pengukuran pH, kadar konsentrasi besi (Fe), dan Turbiditas.

2.2 Analisis data

Kinerja alat *Multiple Tray Aerator* dianalisa dengan membandingkan kualitas air permukaan sebelum diolah (Input) dengan air permukaan yang telah diolah dengan *Multiple Tray Aerator* (Output). Analisis data disajikan dalam bentuk tabel yang kemudian divisualisasikan menggunakan grafik berupa grafik penurunan kadar Fe pada sampel awal dan sampel akhir, grafik kenaikan pH pada sampel awal dan sampel akhir, dan grafik penurunan nilai turbidity pada sampel awal dan sampel akhir.

Menurut (Rosidah *et al.*, 2022) analisis data untuk menentukan efisiensi penurunan kadar besi (Fe), dan turbiditas, serta peningkatan pH yang ada pada surface water menggunakan rumus :

$$\% \text{ Removal} = \frac{C_i \times C_{out}}{C_i} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

% Removal = Efisiensi penyisihan kadar Fe (%)

C_{in} = Konsentrasi awal (mg/L)

C_{out} = Konsentrasi akhir (mg/L)

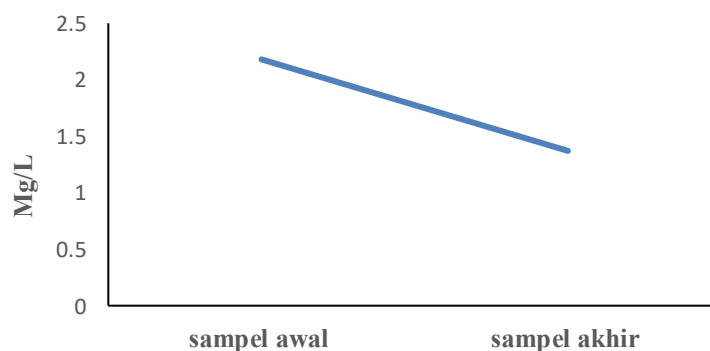
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkaian alat *Multiple Tray Aerator* terdiri dari 3 tingkat, tingkat pertama merupakan tray yang berfungsi untuk mengontakkan air dengan batu kapur guna menaikkan pH air sehingga proses aerasi dapat berjalan secara optimal. Tingkat kedua merupakan rangkaian alat filtrasi yang berfungsi untuk menyaring kotoran dan juga besi yang sudah teroksidasi membentuk partikel-partikel kecil. Dan tingkat terakhir adalah bak penampungan air yang sudah mengalami proses aerasi dan filtrasi, bak ini juga digunakan untuk menampng air dengan kadar besi yang lebih rendah dan pH yang sesuai dengan standar. Hasil kinerja alat *Multiple Tray Aerator* disajikan sesuai Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisa Kinerja Alat *Multiple Tray Aerator*

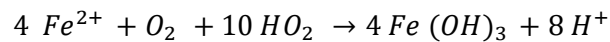
No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa			Standar Air Suplai Pertanian	Efisisensi
			Awal	Akhir	Perbedaan		
1	Besi (Fe)	mg/L	2,18 mg/L	0,54 mg/L	0,81 Mg/L	0,1 – 1,5	37,17 %
2	pH		4	6	2	6-8	33,33 %
3	Turbidity	MTU	1,068 MTU	0,352 MTU	0,716 MTU	0,1 – 1,5	67,04 %

Berdasarkan data pada Tabel 1, penerapan *Multiple Tray Aerator* menghasilkan perubahan kualitas air yang nyata pada tiga parameter utama, yaitu kadar besi (Fe), pH, dan kekeruhan (*turbidity*). Perubahan ini tidak hanya menunjukkan peningkatan mutu air secara numerik, tetapi juga menggambarkan berlangsungnya mekanisme fisika–kimia tertentu selama proses aerasi dan penyaringan.

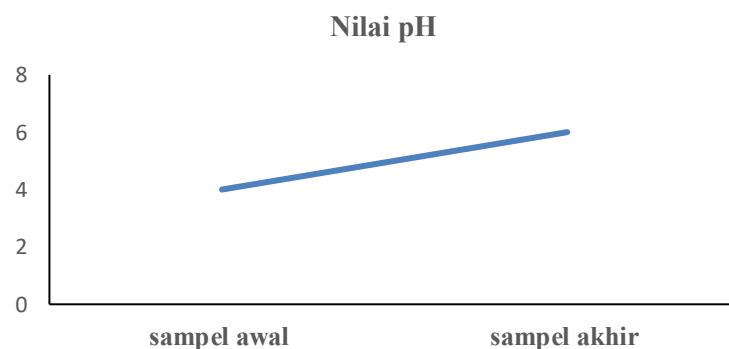


Gambar 2. Grafik Penurunan Kadar Fe pada Sampel Awal dan Sampel Akhir

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar Fe adalah metode aerasi menggunakan *Multiple Tray Aerator*. Air yang berkontak dengan udara mengikat besi dengan oksigen sehingga kadar besi yang ada pada air akan berkurang, (Zilmy et al., 2022) Besi II hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) mempunyai kelarutan yang besar sehingga jika terus dilakukan oksidasi dengan udara atau aerasi akan terjadi reaksi ion sebagai berikut:



Berdasarkan Gambar 2, pada parameter besi (Fe), konsentrasi awal air sebesar 2,18 mg/L menurun menjadi 0,54 mg/L setelah pengolahan, dengan efisiensi penurunan 37,17%. Nilai akhir tersebut sudah berada dalam rentang mutu air suplai pertanian (0,1–1,5 mg/L), sehingga air hasil pengolahan lebih aman untuk digunakan. Fenomena penurunan Fe ini dapat dijelaskan melalui mekanisme aerasi yang meningkatkan kontak air dengan oksigen di udara. Dalam kondisi awal, Fe umumnya berada dalam bentuk Fe^{2+} (ferrous) yang lebih mudah larut. Ketika diaerasi, Fe^{2+} mengalami oksidasi menjadi Fe^{3+} (ferric) yang cenderung membentuk senyawa tidak larut seperti $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (endapan berwarna kecoklatan). Endapan yang terbentuk kemudian lebih mudah dipisahkan pada tahap filtrasi karena berubah menjadi partikel padat. Namun, efisiensi penurunan Fe yang “sedang” (tidak setinggi turbiditas) dapat terjadi karena beberapa faktor, misalnya waktu kontak aerasi yang terbatas, kadar oksigen terlarut yang belum optimal, atau pH awal yang sangat asam (pH 4) yang secara kimia dapat memperlambat pembentukan endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Pada kondisi asam, Fe^{3+} cenderung tetap lebih stabil dalam bentuk terlarut sehingga tidak seluruh Fe dapat mengendap dan tersaring.



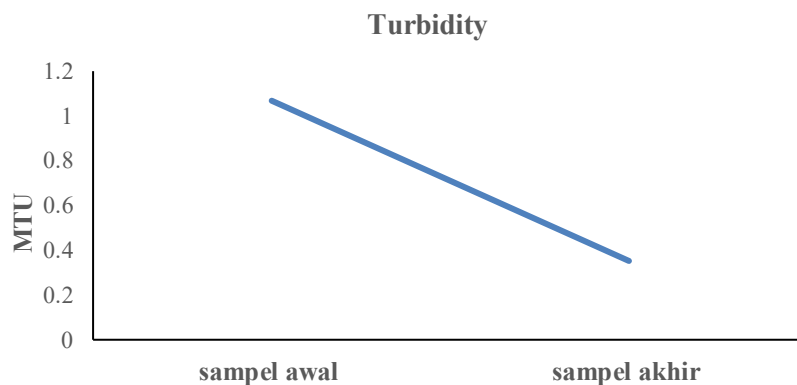
Gambar 3. Grafik Kenaikan pH pada Sampel Awal dan Sampel Akhir

Penambahan batu kapur atau CaCO_3 bertujuan untuk menetralkan kadar pH pada air dimana pH awal tergolong asam sehingga membutuhkan perlakuan awal agar pH dapat berada pada kondisi basa. Batu kapur mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) yang larut dalam air dan melepaskan kalsium karbonat yang dapat meningkatkan pH. (Saptawartono et al., 2024), beberapa bahan kimia yang selama ini biasa dipergunakan oleh perusahaan pertambangan dalam menetralkan air asam tambang, diantaranya yaitu: kapur (CaCO_3), hydrated lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), soda ash (Na_2CO_3), atau caustic soda (NaOH).

Singer dan Stumm menyatakan bahwa laju oksidasi Fe^{2+} oleh O_2 sebagai fungsi pH, dimana untuk $\text{pH} > 4,5$ laju reaksi mengikuti hubungan kinetika yang memuat $[\text{OH}^-]^2$, artinya menaikkan pH (menaikkan $[\text{OH}^-]$) mempercepat pembentukan $\text{Fe}(\text{III})$.

Selanjutnya dari Gambar 3.2, terjadi peningkatan pH dari 4 menjadi 6 dengan efisiensi 33,33%. Peningkatan pH ini menunjukkan air yang awalnya bersifat asam bergerak menuju kondisi yang lebih netral, dan pada akhir proses sudah mencapai batas bawah standar mutu (6–8) untuk suplai pertanian. Fenomena kenaikan pH umumnya berkaitan dengan proses aerasi yang mampu melepaskan gas-gas asam terlarut, terutama CO_2 , dari dalam air. Ketika CO_2 terlarut berkurang, konsentrasi asam karbonat (H_2CO_3) juga menurun, sehingga pH naik. Selain itu, proses oksidasi besi dan pembentukan endapan dapat memengaruhi kesetimbangan ion di dalam air. Walau demikian, pH akhir masih berada pada batas minimum, yang mengindikasikan bahwa kapasitas penyangga (*buffering capacity*)

air relatif rendah atau kandungan komponen penyebab keasaman masih cukup besar. Artinya, aerasi efektif menaikkan pH, tetapi peningkatannya dapat “terbatas” karena sistem tidak menambahkan zat penetral (misalnya kapur/dolomit) dan hanya mengandalkan pertukaran gas serta proses oksidasi.



Gambar 4. Grafik Penurunan Nilai Turbidity pada Sampel Awal dan Sampel Akhir

Turbidity adalah ukuran dari tingkat kejernihan atau kekotoran air, yang disebabkan oleh partikel-partikel tersuspensi yang ada di dalamnya, salah satu treatment yang dilakukan untuk menurunkan kadar turbidity adalah memberikan/mengkontakkan dengan adsorben salahsatunya adalah arang aktif, arang aktif berfungsi mengikat partikel-partikel yang ada pada air sampel sehingga tingkat kejernihan pada air akan meningkat

Pada parameter kekeruhan (turbidity) yang ditunjukkan pada Gambar 4, nilai awal 1,068 MTU turun menjadi 0,352 MTU, dengan penurunan sebesar 0,716 MTU dan efisiensi paling tinggi, yaitu 67,04%. Nilai akhir ini sudah memenuhi rentang mutu air suplai pertanian (0,1–1,5 MTU), menandakan air menjadi jauh lebih jernih setelah pengolahan. Tingginya efisiensi turbiditas terutama disebabkan oleh peran filtrasi yang sangat dominan dalam menyaring partikel tersuspensi. Pada proses aerasi, Fe yang teroksidasi membentuk partikel endapan (flok) sehingga kekeruhan sementara bisa meningkat, tetapi pada tahap berikutnya media filter seperti spons (penyaring halus), kerikil (penyaring kasar/penyangga), dan arang (media berpori dengan kemampuan adsorpsi) bekerja efektif menangkap partikel-partikel tersebut. Karena kekeruhan berkaitan langsung dengan jumlah partikel tersuspensi, maka ketika filtrasi berjalan baik, turbiditas cenderung turun lebih drastis dibanding penurunan Fe terlarut yang masih dipengaruhi oleh reaksi kimia dan kondisi pH.

4. KESIMPULAN

Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa sistem pengolahan mampu memperbaiki mutu air dengan pola hasil yang konsisten: turbiditas turun paling besar, diikuti penurunan Fe, dan pH meningkat menuju kisaran yang dipersyaratkan. Pola ini logis karena kekeruhan sangat responsif terhadap proses filtrasi fisik, sedangkan Fe memerlukan tahapan oksidasi terlebih dahulu sebelum bisa disisihkan, dan reaksi oksidasi Fe sangat dipengaruhi kondisi pH. Dengan demikian, kombinasi *Multiple Tray Aerator* + filtrasi dapat dinilai efektif untuk meningkatkan kualitas air pertanian, khususnya untuk mengurangi partikel tersuspensi dan menurunkan kadar besi ke rentang yang lebih aman. Namun, mengingat pH akhir berada pada batas bawah standar dan efisiensi Fe belum maksimal, perbaikan kinerja masih berpotensi dicapai melalui optimasi waktu kontak aerasi, peningkatan efisiensi kontak udara–air, atau penguatan tahap pasca-pengolahan (misalnya penyesuaian pH) agar hasil lebih stabil dan konsisten dalam penggunaan lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Bangun, H. A., Sitorus, M. E. J., Manurung, K., & Ananda, Y. R. (2022). Penurunan Kadar Besi (Fe) Dengan Metode Aerasi-Filtrasi Air Sumur Bor Masyarakat Kelurahan Tanjung Rejo. *Human Care Journal*, 7(2), 450–459.

- Elmanfe, G. M., Tyeb, T. A., Abdeghani, K. A., Abdulathim, A. A., Asbeeh, J. A., Muftah, H. S., & Ali, A. F. (2022). *Assessment of Groundwater Wells Pollution by Some Heavy Metals in El-Beida City-Libya. Journal of Pure & Applied Sciences*, 21(4), 270–275. <https://doi.org/10.51984/jopas.v21i4.2214>
- Musa, R., Ali, B., & Ashad, H. (2025). Kajian Kebutuhan Air Irigasi Akibat Perluasan Lahan. *Spesial Volume*, 303–316. <https://doi.org/10.52005/teslink.v11i5i1.xxx>
- Rosidah, C., Pramitasari, N., Kartini, A. M., & Fildzah, C. A. (2022). Pengaruh Waktu Aerasi dan Waktu Sedimentasi Terhadap Penurunan Kadar Besi (Fe) Pada Air Sumur. *Proteksi : Jurnal Lingkungan Berkelanjutan*, 2(1), 1–11.
- Saptawartono, Murati, F., Iashania, Y., Firdayanti, N., Melinda, S., & Reba, I. Y. (2024). Pengelolaan dan Pengendalian Air Asam Tambang Pada Kegiatan Pertambangan Batubara. *Jurnal Teknik Pertambangan (JTP)*, 24(1), 44–51.
- Singer, P.C. & Stumm, W. (1970) – *Acidic Mine Drainage: The Rate-Determining Step (Science)*.
- Yuniarti, D. P., Komala, R., & Aziz, S. (2019). Pengaruh Proses Aerasi Terhadap Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit di PTPN VII Secara Aerobik. *Jurnal Redoks*, 4(2), 7–16. <https://doi.org/10.31851/redoks.v4i2.3504>.
- Zilmy, D. O., Utomo, K. P. & Kadaria, U. (2022). Pengaruh Koefisien Transfer Gas (K_{la}) Terhadap Penurunan Parameter Besi (Fe) Dalam Air Sumur Gali Menggunakan *Multiple Tray Aerator*. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis*, 3(1), 91–100.