



Efisiensi Pengolahan Limbah Cair *Tailing* Bauksit Menggunakan Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Sarah Ayani ^{a,*}, Arifin ^a, Yulisa Fitrianiingsih ^b

^aJurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

^bJurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

* Email: sarahayani258@gmail.com

Abstrak

Limbah pertambangan yang bersifat asam bisa menyebabkan korosi dan melarutkan logam-logam sehingga air yang dicemari bersifat racun dan dapat memusnahkan kehidupan akuatik. Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Pencucian Bijih Bauksit batas maksimum yang diperbolehkan untuk parameter Fe dan TSS berturut-turut adalah 5 mg/l dan 200 mg/l dengan nilai rentang pH sebesar 6-9. Berdasarkan hasil analisis dari uji pendahuluan, kualitas limbah cair *tailing* bauksit PT. Citra Mineral Investindo Tbk menunjukkan nilai konsentrasi Fe dan TSS melebihi baku mutu sehingga perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah cair *tailing* bauksit. Proses pengolahan yang digunakan yakni teknologi fitoremediasi dengan tumbuhan air kayu apu (*Pistia stratiotes*) yang memiliki kemampuan untuk mengolah limbah, baik itu berupa logam berat, zat organik maupun anorganik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan panjang akar kayu apu (*Pistia stratiotes*) yang terbaik dalam penurunan parameter Fe dan TSS pada proses fitoremediasi limbah cair *tailing* bauksit yang dilihat dari nilai efisiensi penurunan. Penelitian ini menggunakan fitoremediasi dengan tumbuhan kayu apu (*Pistia stratiotes*) dengan panjang akar 10 cm, 15 cm dan 20 cm yang dilakukan dengan tiga kali pengulangan (*triplo*). Hasil penelitian diperoleh efisiensi penurunan Fe pada limbah cair *tailing* bauksit menggunakan kayu apu (*Pistia stratiotes*) dengan panjang akar 10 cm, 15 cm dan 20 cm berturut-turut sebesar 37,3 %; 53,1 % dan 64,0 %. Sedangkan efisiensi penurunan TSS berturut-turut menunjukkan angka negatif atau tidak efisien. Berdasarkan hasil uji beda *one way* ANOVA, tidak ada pengaruh yang signifikan antara variasi panjang akar kayu apu yang digunakan dalam penelitian ini terhadap efisiensi penurunan parameter.

Kata kunci: besi (Fe), kayu apu (*Pistia stratiotes*), *tailing* bauksit, TSS, variasi panjang akar.

Abstract

Acidic mining waste can cause corrosion and dissolve metals so that polluted water is toxic and can destroy aquatic life. Based on the regulation of the State Minister of the Environment Number 34 of 2009 concerning Quality Standards for Liquid Waste for Bauxite Ore Washing Activities, the maximum permissible limits for Fe and TSS parameters respectively are 5 mg/l and 200 mg/l with range values pH of 6-9. Based on the results of the analysis of preliminary test, the quality of the bauxite tailings wastewater of PT. Citra Mineral Investindo Tbk shows that the concentration values of Fe and TSS exceed the quality standard, that it is necessary to treat bauxite tailings wastewater. The treatment process used is phytoremediation technology with *pistia stratiotes* aquatic plants which have the ability to treat waste, both in the form of heavy metals, organic and inorganic substances. The aim of this research is for determine the best root length of *Pistia stratiotes* in reducing Fe and TSS parameters in the phytoremediation process of bauxite tailings wastewater as seen from the reduction efficiency value. This research uses phytoremediation with *pistia stratiotes* with root lengths of 10 cm, 15 cm and 20 cm which was carried out with three repetitions (*triplo*). The results showed that the efficiency of Fe reduction in bauxite tailings wastewater using *pistia stratiotes* with root lengths of 10 cm, 15 cm and 20 cm respectively was 37.3%; 53.1% and 64.0%. While the efficiency of decreasing TSS successively shows a negative number or is inefficient. Based on the results of the one-way ANOVA test, there was no significant effect between variations in the length of the *pistia stratiotes* roots used in this research on the efficiency of parameter reduction.

Keywords: bauxite tailings, iron (Fe), *pistia stratiotes*, root length variation, TSS.

1. Pendahuluan

Pembangunan nasional bertujuan untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat dan pemerataan pembangunan dalam bentuk penyediaan lapangan pekerjaan maupun penyediaan barang dan jasa, adapun salah satu kegiatan dalam pembangunan nasional yakni pertambangan. Pertambangan merupakan kegiatan perindustrian yang mengolah bahan mentah yang berasal dari hasil pertambangan seperti pertambangan minyak dan gas bumi serta logam-logam mineral. Kegiatan pertambangan tersebar luas di berbagai daerah di Indonesia salah satunya yakni kegiatan pertambangan bauksit yang terdapat di daerah Kecamatan Sandai yang saat ini dimanfaatkan oleh PT. Citra Mineral Investindo Tbk. Salah satu tahap dalam penambangan bauksit yaitu proses pencucian biji bauksit, proses ini menghasilkan limbah cair *tailing* atau lumpur merah yang setelah melalui kolam pengendapan dialirkan langsung ke waduk oleh PT. Citra Mineral Investindo Tbk. Berdasarkan hasil analisis dari uji pendahuluan, kualitas limbah cair *tailing* bauksit PT. Citra Mineral Investindo Tbk menunjukkan nilai konsentrasi Fe dan TSS melebihi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Pencucian Biji Bauksit. Adapun nilai konsentrasi Fe sebesar 1.571 mg/l dengan baku mutu 5 mg/l dan nilai konsentrasi TSS sebesar 57.500 mg/l dengan baku mutu 200 mg/l.

Mengatasi permasalahan tersebut, telah dikembangkan teknologi alternatif yang dapat membantu proses pengolahan yaitu dengan teknologi fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan sebuah teknologi dengan menggunakan tumbuhan untuk menurunkan, mengekstrak atau menghilangkan kontaminan dari tanah dan air. Fitoremediasi digunakan karena mudah dilakukan dan berbiaya murah. Tumbuhan air yang digunakan yaitu kayu apu (*Pistia stratiotes*) yang memiliki kemampuan untuk mengolah limbah, baik itu berupa logam berat, zat organik maupun anorganik. Konsentrasi logam dalam tumbuhan bergantung pada konsentrasi dalam akar tumbuhan. Konsentrasi logam tertinggi pada tumbuhan ditunjukkan pada akar dan diikuti oleh daun, tunas, dan bunga. Kayu apu memiliki akar serabut sebagai modifikasi lapisan epidermis berupa rambut-rambut akar yang dapat menyerap nutrisi dan zat-zat lainnya lebih tinggi dan mengandung lebih banyak fitokelatin. Fitokelatin adalah enzim yang digunakan untuk mengikat ion logam (Paramitasari, 2014). Menurut penelitian Easter dkk. (2017) penurunan kadar Fe pada tingkat konsentrasi 20 ppm yakni sebesar 36,59%. Sedangkan menurut Rahadian dkk. (2017) efisiensi penyisihan TSS yang dilakukan oleh kayu apu berkisar antara 34% - 46%.

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai pengolahan limbah cair *tailing* bauksit menggunakan metode fitoremediasi agar dapat menentukan nilai persentase efisiensi dan panjang akar kayu apu yang terbaik dalam penurunan parameter Fe dan TSS.

2. Metode Penelitian

Data yang telah diperoleh dari penelitian diolah dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik serta dianalisis secara deskriptif sesuai dengan teori yang ada. Analisis dilakukan dengan membandingkan kadar Fe dan TSS pada limbah cair *tailing* bauksit sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan tumbuhan kayu apu. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Pencucian Biji Bauksit. Sedangkan untuk perhitungan efisiensi pengolahan maka akan menggunakan persamaan sebagai berikut (Dewi dkk., 2014) :

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Hasil Kualitas Awal} - \text{Hasil Kualitas Akhir}}{\text{Hasil Kualitas Awal}} \times 100 \% \quad (1)$$

Analisis data panjang akar kayu apu yang terbaik dilakukan dengan uji statistik *one way* ANOVA menggunakan *software* SPSS.

2.1. Instrumentasi dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah jeriken 35 liter sebanyak 2 buah, botol sampel 1,5 liter sebanyak 13 buah, pH meter, termometer, gelas ukur 2 liter, timbangan, reaktor plastik sebanyak 12 buah, kran air 12 buah, spidol dan penggaris. Sedangkan bahan yang digunakan adalah kayu apu sebanyak 1.350 gram serta limbah cair *tailing* bauksit sebanyak 70 liter dan air galon isi ulang.

2.2. Prosedur

2.2.1 Pengambilan Tumbuhan Kayu Apu

Pengambilan tumbuhan kayu apu berdasarkan warna tumbuhan. Tumbuhan yang dipilih memiliki warna hijau terang dan segar guna memastikan tumbuhan dalam kondisi yang sehat dan memiliki biomassa yang sama yaitu 150 gram/reaktor dengan panjang akar tumbuhan yang diambil yakni 10 cm, 15 cm dan 20 cm. Total kayu apu yang diambil yakni sebanyak 1.350 gram meliputi 450 gram dengan panjang akar 10 cm, 450 gram dengan panjang akar 15 cm dan 450 gram dengan panjang akar 20 cm. Selanjutnya tumbuhan dibersihkan dengan air bersih guna menghilangkan lumpur dan tanah yang masih melekat pada tumbuhan.

2.2.2 Pengambilan Sampel Limbah Cair

Pengambilan sampel limbah cair *tailing* yang digunakan adalah limbah cair *tailing* dari hasil pencucian bijih bauksit di *washing plant* yang dilakukan secara mekanis oleh PT. Citra Mineral Investindo Tbk. Pencucian bertujuan untuk memisahkan material bijih bauksit dengan material pengotor *tailing*, pengambilan sampel limbah cair *tailing* bauksit dilakukan pada *outlet trommel* dibagian saluran air sebelum masuk ke kolam penerima limbah cair dengan cara sesaat (*grab sampling*), pengambilan limbah cair disesuaikan dengan SNI 6989.59:2008. Pengambilan limbah dilakukan pukul 09.00 WIB pada saat proses pencucian bijih bauksit pada alat *trommel* sedang beroperasi. Limbah ditampung didalam jeriken 35 liter sebanyak 2 buah hingga penuh dan ditutup rapat, jumlah sampel yang diambil yakni sebanyak 70 liter.

2.2.3 Aklimatisasi Tumbuhan

Aklimatisasi berguna untuk menstabilkan tumbuhan kayu apu serta menguatkan kembali akar tumbuhan yang terpotong dan terluka saat proses pengambilan tumbuhan. Tahap aklimatisasi dilakukan dengan memasukan kayu apu dengan panjang akar 10 cm, 15 cm dan 20 cm yang telah dibersihkan ke dalam 9 bak yang berisi air bersih masing-masing sebanyak 5 liter. Banyaknya tumbuhan kayu apu yang diaklimatisasi lebih dari jumlah yang diperlukan agar pada akhir proses aklimatisasi dapat dilakukan seleksi untuk tumbuhan dengan kondisi yang terbaik yang akan dipilih untuk proses selanjutnya yakni proses fitoremediasi.

2.3.4 Pengolahan Fitoremediasi

Limbah cair *tailing* bauksit diambil sebanyak 1.500 ml untuk dilakukan uji kualitas limbah cair sebelum pengolahan yang meliputi uji parameter pH, suhu, Fe dan TSS. Kemudian untuk pengolahan fitoremediasi, limbah cair *tailing* bauksit yang sama diambil sebanyak 60 liter dan dituang kedalam 9 reaktor fitoremediasi dan 3 reaktor kontrol yang telah disiapkan masing-masing sebanyak 5 liter dengan ketinggian air 7,25 cm dari dasar. Kemudian tumbuhan kayu apu yang telah diaklimatisasi selama 7 hari dipindahkan ke dalam masing-masing reaktor dengan biomassa 150 gram/reaktor.

Reaktor uji yang digunakan sebanyak 12 buah diantaranya 3 buah reaktor dengan panjang akar 10 cm, 3 buah reaktor dengan panjang akar 15 cm, 3 buah reaktor dengan panjang akar 20 cm dan 3 buah reaktor kontrol. Selanjutnya tumbuhan kayu apu dikontakkan dengan limbah cair *tailing* bauksit selama 10 hari.

Selama 10 hari dilakukan pengukuran pH dan suhu harian, observasi kondisi fisik limbah cair dan morfologi tumbuhan serta dokumentasi setiap proses pengolahan yang berlangsung dan setelah 10 hari sampel limbah cair *tailing* bauksit hasil pengolahan pada setiap reaktor fitoremediasi diambil melalui kran *outlet* yang terdapat pada masing-masing reaktor sebanyak 1.500 ml, kemudian botol sampel yang telah berisi limbah diberi label dan dibawa ke Balai Riset dan Standardisasi Industri Pontianak dan dilakukan pengujian serta analisis terhadap parameter Fe dan TSS.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Limbah Cair Tailing Bauksit

Kondisi fisik dari limbah cair *tailing* bauksit yang digunakan yakni berwarna jingga tanah, keruh dan tidak berbau. Pada penelitian ini terdapat tiga parameter karakteristik air limbah yang diukur yakni Fe yang menunjukkan jumlah logam dalam limbah cair serta TSS yang digunakan untuk menentukan residu dari padatan total dalam limbah cair. Berdasarkan hasil analisis dari uji sebelum pengolahan, kualitas limbah cair *tailing* bauksit PT. Citra Mineral Investindo Tbk menunjukkan nilai konsentrasi Fe dan TSS melebihi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Pencucian Bijih Bauksit.

Tabel 1 Hasil Analisis Awal Limbah Cair

Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Baku Mutu *
pH	-	6,98	6 - 9
Fe	mg/l	62,8	5
TSS	mg/l	252	200

Sumber : Hasil Analisis Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri Pontianak, 2021

* Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009

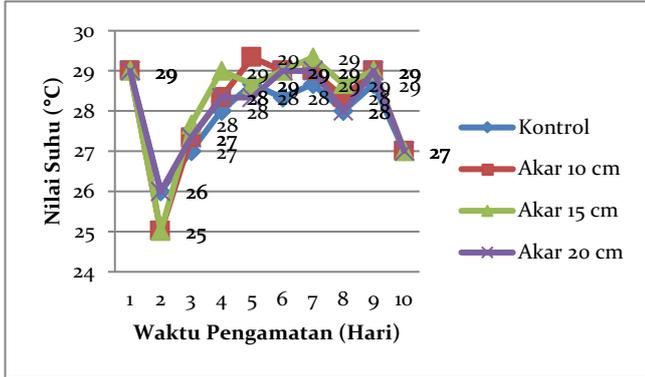
3.2 Pengamatan Faktor Lingkungan

Pada tahap ini dilakukan pengamatan faktor lingkungan karena dapat mempengaruhi pertumbuhan kayu apu. Dalam penelitian ini faktor lingkungan yang diamati meliputi temperatur dan pH.

3.2.1 Temperatur (Suhu)

Peningkatan suhu akan berpengaruh terhadap tingkat penyerapan, karena suhu berkaitan dengan metabolisme dan fotosintesis tumbuhan. Semakin tinggi suhu lingkungan, maka kemampuan tumbuhan dalam menyerap ion akan semakin meningkat. Suhu 25°-30°C merupakan suhu yang optimum untuk proses

fitoremediasi. Selain mempengaruhi laju transpirasi, suhu juga mempengaruhi kadar oksigen dalam air. Berikut ini merupakan grafik hasil pengukuran suhu rata-rata pada setiap reaktor selama proses fitoremediasi.



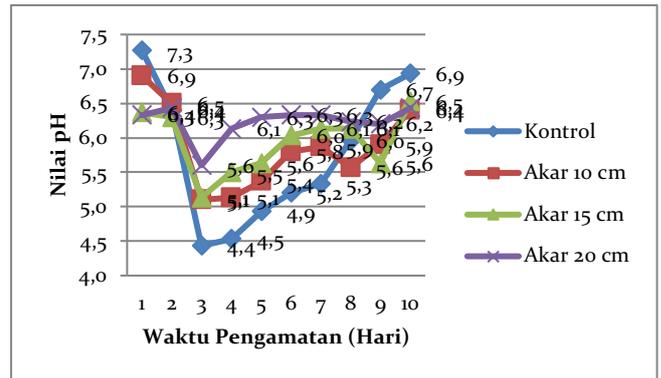
Gambar 1 Perubahan Suhu Proses Fitoremediasi

Berdasarkan nilai perubahan suhu pada tiap reaktor fitoremediasi selama 10 hari dengan perlakuan kontrol, panjang akar tumbuhan 10 cm, panjang akar tumbuhan 15 cm dan panjang akar tumbuhan 20 cm pada Gambar 1, menunjukkan bahwa baik dalam reaktor kontrol dan reaktor uji dengan kayu apu terjadi kenaikan dan penurunan suhu selama proses fitoremediasi. Kenaikan dan penurunan suhu harian tidak mencapai selisih yang terlalu besar bahkan cenderung sama. Hal ini dikarenakan suhu pada tiap reaktor tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu lingkungannya karena penelitian ini dilakukan di laboratorium *outdoor* bagian belakang *Workshop* Jurusan Teknik Lingkungan dengan kondisi cuaca pada hari pengamatan dan intensitas penyinaran matahari yang tidak tetap.

Peningkatan suhu akan berpengaruh terhadap tingkat penyerapan, karena suhu berkaitan dengan metabolisme dan fotosintesis tumbuhan. Semakin tinggi suhu lingkungan, maka kemampuan tumbuhan dalam menyerap ion akan semakin meningkat. Menurut Rahayuningtyas dkk. (2018) penyerapan ion logam tidak sepenuhnya terakumulasi oleh tumbuhan, karena ion logam dapat berpindah dari air melalui proses penguapan dengan cara berikatan dengan oksigen dan membentuk ion-ion baru. Suhu 25-30°C (suhu mesofilik) merupakan suhu yang optimum untuk proses fitoremediasi tumbuhan air. Suhu hasil pengukuran selama proses fitoremediasi pada penelitian ini yang berkisar antara 25°C-30°C pada masing-masing reaktor merupakan kondisi yang baik bagi tumbuhan kayu apu untuk tumbuh dan berkembang.

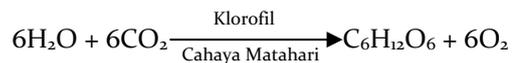
3.2.2 Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH didapat dengan mengukur pH limbah cair pada tiap reaktor kontrol maupun reaktor uji dengan kayu apu menggunakan pH meter setiap hari. Dari hasil pengukuran pH awal diperoleh sebesar 6,98 yang dapat dikatakan netral. Nilai pH dapat mempengaruhi pertumbuhan tumbuhan pada proses fitoremediasi. Kondisi pH paling baik bagi tumbuhan berkisar antara 6,0-8,0 (Spellman, 2013 dalam Rahadian dkk., 2017). Berdasarkan hasil pengukuran pH awal menunjukkan bahwa limbah cair *tailing* bauksit masih memenuhi baku mutu menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Pencucian Bijih Bauksit yaitu dalam rentang 6-9. Berikut ini merupakan grafik hubungan antara pH rata-rata limbah cair *tailing* bauksit dengan panjang akar tumbuhan kayu apu (*Pistis stratiotes*) selama proses fitoremediasi.



Gambar 2 Perubahan pH Proses Fitoremediasi

Perubahan derajat keasaman (pH) masing-masing reaktor cenderung mengalami kenaikan. Pada saat berfotosintesis tumbuhan kayu apu akan mengikat banyak senyawa CO₂ yang kemudian akan diubah menjadi glukosa dan oksigen dengan bantuan cahaya matahari sehingga keberadaan CO₂ pada limbah cair *tailing* bauksit semakin berkurang dan berdampak pula pada kenaikan pH. Berikut merupakan reaksi yang terjadi selama proses fotosintesis tumbuhan :



Adapun penurunan pH yang terjadi secara signifikan pada hari ke-3 dapat disebabkan karena berdasarkan penelitian Kholidiya (2010) dalam Apsari (2018) adanya proses penyerapan nutrisi atau logam oleh tumbuhan yang berlangsung secara terus menerus dapat menyebabkan kondisi dimana ketika ion positif (H⁺) yang diserap lebih banyak maka nilai pH akan meningkat, begitu pula sebaliknya ketika ion negatif (OH⁻) yang diserap lebih banyak maka nilai pH akan menurun. Sedangkan perubahan pH yang terjadi pada reaktor kontrol dapat dikarenakan oleh proses respirasi mikroorganisme yang melepaskan CO₂ yang dapat

meningkatkan konsentrasi asam karbonat atau bikarbonat sehingga dapat menurunkan pH. Perubahan nilai pH pada masing-masing reaktor uji dan reaktor kontrol, dapat disebabkan karena adanya proses fotosintesis dan respirasi oleh tumbuhan maupun mikroorganisme dalam air limbah.

Berdasarkan grafik hubungan antara pH rata-rata limbah cair *tailing* bauksit dengan panjang akar tumbuhan kayu apu (*Pistis stratiotes*) selama proses fitoremediasi diperoleh nilai pH dari hasil pengolahan pada hari terakhir yakni hari ke- 10 dengan rentang dari 6,4-6,9. pH tersebut memenuhi baku mutu menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Pencucian Bijih Bauksit yaitu dalam rentang 6-9. Dengan pH yang memenuhi baku mutu dapat dikatakan bahwa limbah aman untuk dibuang ke lingkungan.

3.3 Efisiensi Penurunan Fe dan TSS dengan Fitoremediasi

Pengolahan limbah cair *tailing* bauksit dengan cara fitoremediasi dengan variasi panjang akar 10 cm, 15 cm dan 20 cm menggunakan tumbuhan kayu apu serta terdapat bak kontrol dengan tiga kali pengulangan atau triplo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari kayu apu dalam menyerap parameter Fe dan TSS pada limbah cair *tailing* bauksit dengan cara fitoremediasi.

Tabel 2 Nilai Efisiensi Penurunan Fe dan TSS

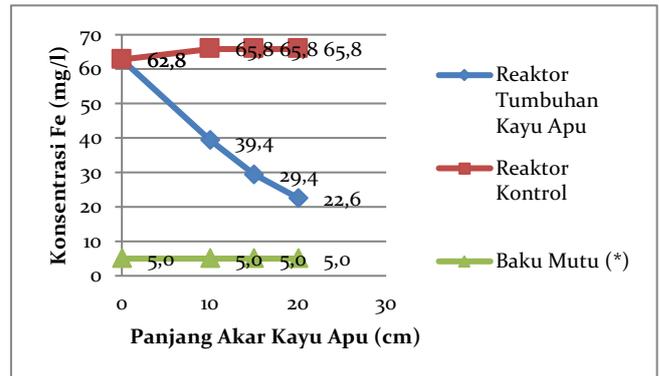
Sumber : Hasil Analisis Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri Pontianak, 2021
Keterangan :
K : Reaktor Kontrol

Reaktor Uji	Parameter	Konsentrasi (mg/l)		Baku Mutu (*)	Efisiensi (%)
		Awal	Akhir		
K			65,8		tidak efisien
KPA10	Fe	62,8	39,4	5	37,3
KPA15			29,4		53,1
KPA20			22,6		64,0
K			535,3		tidak efisien
KPA10	TSS		323,0	200	tidak efisien
KPA15			331,7		tidak efisien
KPA20			255,7		tidak efisien

KPA10 : Reaktor Tumbuhan Kayu Apu Panjang Akar 10 cm
KPA15 : Reaktor Tumbuhan Kayu Apu Panjang Akar 15 cm
KPA20 : Reaktor Tumbuhan Kayu Apu Panjang Akar 20 cm
* Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009

3.3.1 Penurunan Parameter Fe

Pengukuran parameter Fe dalam penelitian ini dilakukan pada hari ke 10 yakni hari terakhir proses fitoremediasi pada limbah cair *tailing* bauksit yang sudah di fitoremediasi menggunakan tumbuhan kayu apu.



Gambar 3 Penurunan Konsentrasi Fe pada Reaktor Uji dan Kontrol

Berdasarkan Gambar 3 tumbuhan kayu apu dengan panjang akar 10 cm, 15 cm dan 20 cm dapat menurunkan nilai Fe dari 62,8 mg/l berturut-turut menjadi 39,4 mg/l; 29,4 mg/l dan 22,6 mg/l dengan efisiensi penurunan yaitu sebesar 37,3 %; 53,1 % dan 64,0 %. Penurunan konsentrasi Fe ini dapat disebabkan karena penyerapan Fe yang terjadi pada kayu apu adalah proses penyerapan kontaminan bersamaan dengan penyerapan nutrisi dan air oleh akar. Kayu apu memiliki mekanisme akumulasi logam sehingga tidak berbahaya bagi pertumbuhan tumbuhan dengan cara menyimpan banyak air untuk mengencerkan logam Fe yang diserap sehingga dapat mengurangi toksisitasnya, tumbuhan akan membentuk khelat berupa fitokhela untuk mengikat logam kemudian diikat oleh atom belerang pada fitokhela. Logam Fe yang telah diikat oleh fitokhela akan masuk ke dalam sel akar melalui transpor aktif, selanjutnya akan diangkut oleh jaringan floem dan xilem. Logam Fe yang telah masuk ke dalam tubuh tumbuhan akan dieksresikan dengan cara menggugurkan daunnya yang sudah tua atau menggugurkan anakan akar tumbuhan. Selain itu, pada daun jika logam Fe melebihi ambang batas toleransi maka akan terjadi kerusakan jaringan epidermis, bunga karang, dan jaringan pagar yang ditandai dengan klorosis dan nekrosis. Berdasarkan pengamatan terhadap morfologi daun yang dilakukan yang menunjukkan daun mengalami bercak kuning, layu atau berlubang saat proses fitoremediasi hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Widowati (2011) yang menyatakan bahwa diduga karena adanya serapan logam dalam jumlah kecil yang dapat merusak struktur kloroplas sebagai bahan warna hijau pada batang dan daun, sehingga dapat berakibat menurunnya warna hijau pada daun atau dengan kata

lain daun akan menguning dan mengalami klorosis. Adapun logam Fe yang berikatan dengan hidroksida dan menghasilkan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang bersifat tidak larut dan mengendap akan terserap dan menempel pada akar tumbuhan kayu apu.

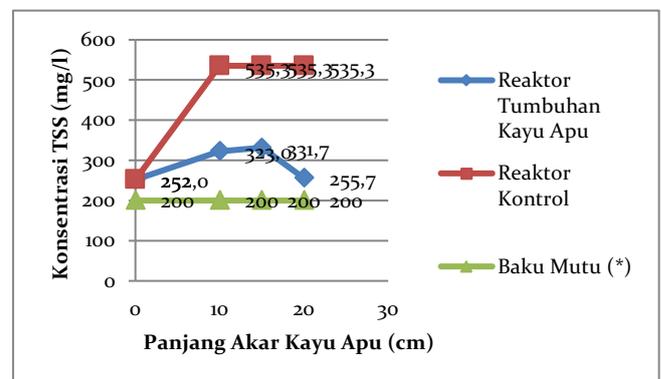
Hasil pengolahan limbah cair *tailing* bauksit menggunakan tumbuhan kayu apu untuk parameter Fe belum memenuhi standar baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Pencucian Bijih Bauksit dimana batas maksimum yang diperbolehkan untuk parameter Fe adalah 5 mg/l. Pada pengolahan ini terjadi peningkatan nilai Fe pada reaktor kontrol (tanpa tumbuhan kayu apu) yaitu sebesar 65,8 mg/l (tidak efisien) sehingga belum memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Peningkatan parameter Fe pada reaktor kontrol (tanpa tumbuhan) dapat disebabkan karena kondisi pH limbah cair *tailing* bauksit selama proses fitoremediasi pada **Gambar 2** yang cenderung mengalami peningkatan hingga hari terakhir proses fitoremediasi yakni hari ke-10 dapat mempengaruhi kandungan logam Fe yang terdapat didalam bak kontrol. Menurut Gelyaman (2018) kelarutan dan pengendapan besi dalam tanah terjadi pada pH yang hampir sama dengan keberadaannya dalam air, yaitu besi larut pada pH asam dan mengendap pada pH basa. Namun, nilai pH kelarutan besi didalam larutan tanah sedikit bergeser, yang mana besi masih larut pada pH 3 dalam tanah, sedangkan besi dalam air sudah mengendap seluruhnya pada pH 3 dengan kehadiran ion OH^- . Hal ini dapat dijelaskan dengan berdasarkan penelitian Effendi (2003) bahwa peningkatan pH menyebabkan ion ferri (Fe^{3+}) mengalami oksidasi dan berikatan dengan hidroksida menghasilkan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang bersifat tidak larut dan mengendap serta membentuk warna kemerahan pada substrat. Sehingga pada saat akan melakukan pengambilan sampel uji sesudah pengolahan dan dikarenakan letak saluran *outlet* yang berada dekat dengan dasar bak, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang mengendap didasar bak ikut tersedot ke saluran *outlet* dan oleh karena tidak adanya akar tumbuhan untuk tempat melekatnya endapan menyebabkan logam Fe yang terukur pada hasil uji pada bak kontrol mengalami peningkatan.

Berdasarkan nilai efisiensi penurunan parameter Fe pada masing-masing panjang akar tumbuhan dapat disimpulkan bahwa reaktor dengan panjang akar tumbuhan kayu apu 20 cm memiliki nilai efisiensi penurunan parameter Fe lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor dengan panjang akar tumbuhan kayu apu 10 cm dan 15 cm, sehingga panjang akar kayu apu yang terbaik dalam penurunan parameter Fe pada penelitian ini yakni tumbuhan kayu apu dengan panjang akar 20 cm. Pada penelitian sebelumnya, menurut Easter dkk. (2017) penurunan konsentrasi Fe

pada tingkat konsentrasi 20 ppm yakni sebesar 36,59 % sehingga jika dibandingkan dengan penelitian ini didapatkan hasil nilai efisiensi penurunan parameter Fe yang lebih tinggi yakni sebesar 64,0 %. Kayu apu dapat mengakumulasi Fe karena memiliki rongga atau *aerenkim* pada penyusunnya sehingga tidak padat dan berat dan membuat tumbuhan ini memiliki kemampuan sebagai fitoremediator.

3.3.2 Penurunan Parameter TSS

TSS adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak larut dan tidak dapat mengendap langsung. TSS dapat meningkatkan nilai kekeruhan yang selanjutnya akan menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam air dan akhirnya berpengaruh terhadap proses fotosintesis di perairan (Rahman, 2007). Pengukuran parameter TSS dalam penelitian ini dilakukan pada hari ke 10 yakni hari terakhir proses fitoremediasi pada limbah cair *tailing* bauksit yang sudah di fitoremediasi menggunakan tumbuhan kayu apu.



Gambar 4 Penurunan Konsentrasi TSS pada Reaktor Uji dan Kontrol

Berdasarkan **Gambar 4** tumbuhan kayu apu dengan panjang akar 10 cm, 15 cm dan 20 cm meningkatkan nilai TSS dari 252 mg/l berturut-turut menjadi 323 mg/l; 331,7 mg/l dan 255,7 mg/l dengan efisiensi penurunan menunjukkan angka negatif atau tidak efisien. Peningkatan nilai TSS dapat dipengaruhi oleh bagian tumbuhan yang mati sehingga menyebabkan kandungan bahan organik dalam air limbah berupa padatan tersuspensi meningkat, pada penelitian ini peningkatan nilai TSS yang terjadi disebabkan karena selama 10 hari proses fitoremediasi terdapat beberapa bagian tumbuhan yang mengalami penguraian sisa tumbuhan terutama pada bagian akar tumbuhan yang telah rusak, rontok dan mati oleh logam ataupun mikroorganisme yang terdapat dalam air limbah. Menurut Felani (2007), pengolahan menggunakan tumbuhan secara umum mengalami peningkatan nilai TSS hal ini terjadi selain konsentrasi

limbah yang dihasilkan cukup tinggi, juga adanya padatan yang berasal dari tumbuhan baik itu berupa akar ataupun serpihan daun dan batang yang membusuk di perairan. Selain dikarenakan terdapat bagian tumbuhan yang membusuk pada limbah cair, peningkatan nilai TSS pada penelitian ini juga disebabkan karena pada saat pengangkatan tumbuhan kayu apu dari limbah cair telah terjadi gesekan antara akar dengan endapan sehingga sedimentasi yang terdapat pada dasar bak melebur yang kemudian pada saat pembukaan saluran *outlet* koloid tersebut ikut masuk kedalam sampel uji. Pada reaktor tumbuhan kayu apu dengan panjang akar 15 cm mengalami peningkatan nilai TSS jika dibandingkan dengan panjang akar 10 cm, hal ini dapat dikaitkan dengan pengamatan morfologi tumbuhan yang dilakukan selama proses fitoremediasi. Tumbuhan dengan panjang akar 15 cm mengalami perubahan kondisi fisik yang awalnya hidup segar menjadi berlubang dan gugur pada daun, batang maupun akar yang jika dibandingkan dengan panjang akar 10 cm yang mengalami kondisi daun layu dan berlubang. Peningkatan dan penurunan nilai TSS dapat dipengaruhi oleh bagian tumbuhan yang mati sehingga menyebabkan kandungan bahan organik dalam air limbah berupa padatan tersuspensi meningkat dan sebaliknya.

Hasil pengolahan limbah cair *tailing* bauksit menggunakan tumbuhan kayu apu untuk parameter TSS belum memenuhi standar baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan Pencucian Bijih Bauksit dimana batas maksimum yang diperbolehkan untuk parameter TSS adalah 200 mg/l. Peningkatan nilai TSS juga terjadi pada reaktor kontrol (tanpa tumbuhan kayu apu) yaitu sebesar 535,3 mg/l (tidak efisien) sehingga belum memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Peningkatan parameter TSS pada reaktor kontrol (tanpa tumbuhan) yang signifikan dapat disebabkan karena terjadinya guncangan atau penghomogenan pada saat pemindahan reaktor terhadap sedimentasi dengan limbah cair saat akan melakukan pengambilan sampel uji sesudah pengolahan dan dikarenakan letak saluran *outlet* yang berada dekat dengan dasar bak sehingga endapan dan koloid yang terdapat didasar bak ikut tersedot ke saluran *outlet*.

Berdasarkan nilai efisiensi penurunan parameter TSS pada masing-masing panjang akar tumbuhan dapat disimpulkan bahwa reaktor dengan panjang akar tumbuhan kayu apu 20 cm memiliki peningkatan nilai parameter TSS lebih kecil dibandingkan dengan reaktor dengan panjang akar tumbuhan kayu apu 10 cm dan 15 cm, sehingga panjang akar kayu apu yang terbaik dalam penelitian ini untuk parameter TSS yakni tumbuhan kayu apu dengan panjang akar 20 cm. Pada penelitian sebelumnya, menurut Rahadian dkk. (2017)

efisiensi penyisihan TSS oleh kayu apu berkisar antara 34%-46% sehingga jika dibandingkan dengan penelitian ini didapatkan hasil nilai efisiensi penurunan parameter TSS yang lebih rendah. Tumbuhan kayu apu dapat digunakan untuk pengolahan limbah karena tingkat pertumbuhannya tinggi dan kemampuannya untuk menyerap hara langsung dari kolam air. Akarnya menjadi tempat filtrasi dan adsorpsi padatan tersuspensi dan tumbuhan air ini memiliki potensi dalam menurunkan kadar pencemar air limbah (Suryati dan Budhi, 2003 dalam Sari dan Dessy, 2018).

3.4 Pengamatan Morfologi Tumbuhan

Dalam proses fitoremediasi menggunakan limbah cair *tailing* bauksit dengan tumbuhan kayu apu menunjukkan respon yang diakibatkan adanya penyerapan kontaminan oleh tumbuhan. Bagian-bagian yang diamati pada morfologi tumbuhan yaitu dari perubahan warna daun dan kondisi fisik tumbuhan. Pengamatan warna tumbuhan diamati dengan melihat secara langsung perubahan warna daun dari awal hingga akhir proses fitoremediasi pada setiap reaktor uji. Sedangkan pengamatan kondisi fisik tumbuhan diamati dengan melihat secara langsung perubahan seperti layu, berlubang, busuk atau gugur pada tumbuhan dari awal hingga akhir proses fitoremediasi.

Tumbuhan kayu apu pada hari terakhir proses fitoremediasi yakni hari ke-10 masih bertahan hidup namun mengalami perubahan warna dan kondisi fisik pada daun. Warna daun sebelum proses fitoremediasi yang awalnya hijau segar menjadi hijau kekuningan atau terdapat bercak kuning, sedangkan kondisi fisik daun yang awalnya hidup segar menjadi layu, gugur dan berlubang namun pada tumbuhan dengan panjang akar 20 cm percobaan kedua terlihat masih hidup segar hingga hari terakhir proses fitoremediasi. Hal ini terjadi karena pada tumbuhan dengan panjang akar 20 cm percobaan kedua memiliki tubuh/daun yang lebih besar/lebar jika dibandingkan dengan tumbuhan dengan panjang akar 20 cm percobaan pertama dan ketiga. Menurut Zaman dkk. (2016) kayu apu sendiri merupakan tumbuhan dengan toleransi tinggi yang dapat tumbuh baik dalam limbah, pertumbuhannya cepat serta menyerap dan mengakumulasi logam dengan baik dalam waktu singkat. Pengamatan terhadap morfologi daun yang menunjukkan daun mengalami bercak kuning, layu atau berlubang saat proses fitoremediasi diduga karena adanya serapan logam dalam jumlah kecil yang dapat merusak struktur kloroplas sebagai bahan warna hijau pada batang dan daun, sehingga berakibat menurunnya warna hijau, akhirnya menguning dan mengalami klorosis (Widowati, 2011).

Logam masuk dalam jaringan tumbuhan terjadi ketika penyerapan hara oleh akar dan penyerapan melalui stomata daun. Faktor yang dapat mempengaruhi penyerapan logam adalah pertumbuhan tumbuhan dan kondisi lingkungan (Khodijah dkk., 2016). Menurut Hartati dkk. (2011) semakin tinggi kadar logam dalam media tumbuhan maka penurunan laju pertumbuhan tumbuhan semakin meningkat yang disebabkan masuknya logam ke dalam sel dan berikatan dengan enzim sebagai katalisator sehingga reaksi kimia dalam sel akan terganggu. Kerusakan tersebut ditandai dengan nekrosis dan klorosis pada akar dan daun (Palar, 2004 dalam Paramitasari, 2014).

3.5 Perubahan Biomassa Tumbuhan

Biomassa (berat basah) tumbuhan merupakan ukuran yang paling sering digunakan untuk menggambarkan dan mempelajari pertumbuhan tumbuhan. Biomassa merupakan berat tumbuhan baik sebelum maupun sesudah penelitian.

Tabel 3 Perubahan Biomassa Tumbuhan Kayu Apu

Perlakuan	Biomassa Awal (gram)	Biomassa Akhir (gram)
Panjang Akar 10 cm		123
Panjang Akar 15 cm	150	132
Panjang Akar 20 cm		140

Sumber : Hasil Analisis, 2020

Berdasarkan **Tabel 3** dapat dilihat bahwa semakin panjang akar tumbuhan maka biomassa tumbuhan kayu apu semakin sedikit mengalami penurunan. Hal tersebut sesuai dengan pengamatan morfologi bahwa semakin panjang akar tumbuhan semakin baik tumbuhan dalam bertahan hidup dan minim dalam mengalami klorosis dan nekrosis. Berat basah tumbuhan sebelum perlakuan fitoremediasi adalah sebesar 150 gram. Pada akar tumbuhan yang lebih panjang, tumbuhan kayu apu dengan panjang akar 20 cm mengalami lebih sedikit penurunan biomassa, hal ini dapat disebabkan karena seiring tumbuhan menyerap kontaminan yang terdapat dalam limbah cair, tumbuhan dengan akar yang lebih panjang memiliki bagian tumbuhan terutama daun yang lebih lebar, sehingga proses fotosintesis akan berjalan lebih baik serta penyerapan dan pengendapan kontaminan pada bagian tumbuhan berada pada tempat yang lebih luas, hal ini membuat tumbuhan kayu apu tidak banyak mengalami klorosis dan nekrosis serta penurunan biomassa. Dibandingkan dengan akar tumbuhan yang lebih pendek tumbuhan kayu apu dengan panjang akar 10 cm memiliki bagian tumbuhan yang lebih kecil dan daun yang tidak begitu lebar sehingga penyerapan dan pengendapan kontaminan

pada bagian tumbuhan berada pada tempat yang lebih sempit yang kemudian akan lebih mudah mengalami kerontokan, layu dan busuk bahkan mati sehingga dapat mengakibatkan biomassa tumbuhan menurun. Logam yang telah masuk ke dalam tubuh tumbuhan akan dieksresikan dengan cara menggugurkan daunnya yang sudah tua atau menggugurkan anakan akar tumbuhan. Selain itu, berdasarkan penelitian Oktaviani dkk. (2014) pada daun jika logam melebihi ambang batas toleransi maka akan terjadi kerusakan jaringan epidermis, bunga karang, dan jaringan pagar yang ditandai dengan klorosis dan nekrosis.

3.6 Transpirasi pada Proses Fitoremediasi

Pengukuran nilai transpirasi bertujuan untuk mengetahui volume limbah cair setelah dilakukan proses fitoremediasi dan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan kayu apu dalam menyerap kontaminan pada limbah cair *tailing* bauksit. Pada penelitian ini nilai transpirasi dihitung dari jumlah volume air yang hilang pada hari terakhir penelitian. Volume transpirasi dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 4 Perubahan Volume Limbah Cair

Perlakuan	Volume Awal (ml)	Volume Akhir (ml)
Kontrol		4250
Panjang Akar 10 cm	5000	3583
Panjang Akar 15 cm		3367
Panjang Akar 20 cm		3200

Sumber : Hasil Analisis, 2020

Berdasarkan **Tabel 4** volume limbah cair sebelum perlakuan fitoremediasi adalah sebesar 5000 ml. Semakin panjang akar tumbuhan kayu apu maka volume limbah cair yang dihasilkan menjadi semakin berkurang, tumbuhan kayu apu dengan panjang akar 20 cm mengalami penurunan volume limbah cair lebih banyak dibandingkan kayu apu dengan panjang akar 15 cm dan 10 cm. Hal ini dapat disebabkan karena tumbuhan mengalami proses transpirasi yaitu proses kehilangan air dalam bentuk uap dalam jaringan tumbuhan yang sebagian besar melalui mulut daun atau stomata yang akan menyerap CO₂ dan menghasilkan O₂. Menurut Agustyadevi (2013) semakin banyak air yang diserap oleh tumbuhan air maka semakin banyak ion logam berat yang masuk dalam tubuh tumbuhan dan menyebabkan penurunan logam pada limbah cair dan sebaliknya.

Bentuk daun kayu apu yang cenderung melebar membantu kayu apu untuk dapat mengapung di atas permukaan air karena luas kontak dengan air lebih luas dan membantu kayu apu untuk melakukan penguapan air secara berlebih (Rijal, 2014). Menurut Herdina dkk (2018) transpirasi berfungsi untuk menjaga stabilitas

suhu daun, menjaga turgiditas sel tumbuhan (kemampuan sel untuk mengatur gerakan osmosis suatu cairan) agar tetap pada kondisi optimal dan mempercepat laju pengangkutan unsur hara melalui pembuluh xylem.

3.7 Panjang Akar Kayu Apu yang Terbaik dalam Proses Fitoremediasi

Sebagian besar dari mekanisme fitoremediasi menempatkan akar sebagai bagian tumbuhan yang paling terpenting dalam menangani kontaminan yang akan diserap dan diakumulasi kedalam tubuh tumbuhan sekaligus dapat menjadi tempat filtrasi, adsorpsi dan menempelnya padatan tersuspensi. Bagian tumbuhan yang dapat mempengaruhi bagian-bagian tumbuhan lainnya akibat zat-zat yang diberikan adalah akar. Konsentrasi logam dalam tumbuhan bergantung pada konsentrasi dalam akar tumbuhan. Konsentrasi logam tertinggi pada tumbuhan ditunjukkan pada akar dan diikuti oleh daun, tunas, dan bunga. Kontaminan masuk dalam jaringan tumbuhan terjadi ketika penyerapan hara oleh akar dan penyerapan melalui stomata daun (Khodijah dkk., 2016).

Tabel 5 Perubahan Panjang Akar Kayu Apu

Perlakuan	Panjang Akar Awal (cm)	Panjang Akar Akhir (cm)
Panjang Akar 10 cm	10	11
Panjang Akar 15 cm	15	16
Panjang Akar 20 cm	20	23

Sumber : Hasil Analisis, 2020

Berdasarkan **Tabel 5** dapat dilihat bahwa panjang akar tumbuhan kayu apu mengalami penambahan atau dengan kata lain kayu apu mengalami pertumbuhan selama proses fitoremediasi. Faktor yang dapat mempengaruhi penyerapan kontaminan adalah pertumbuhan tumbuhan dan kondisi lingkungan. Hal tersebut sesuai dengan pengamatan morfologi bahwa semakin panjang akar tumbuhan semakin baik tumbuhan dalam bertahan hidup, pertumbuhan kayu apu juga sejalan dengan pengamatan faktor lingkungan yang dilakukan yakni kondisi suhu pada **Gambar 1** dan kondisi pH pada **Gambar 2** yang optimal untuk pertumbuhan kayu apu serta pemaparan sinar matahari yang cukup terhadap tumbuhan karena penelitian dilakukan di laboratorium *outdoor*.

Penelitian ini dilakukan analisis statistik dengan jenis metode uji *one way* ANOVA menggunakan *software* SPSS. Uji ANOVA digunakan untuk mengetahui pengaruh utama dan pengaruh interaksi dari variabel independen kategorikal terhadap variabel dependen metrik, pengaruh interaksi adalah pengaruh bersama dua atau lebih variabel independen terhadap variabel dependen (Ghozali, 2006), analisis uji statistik

ini dilakukan untuk menentukan panjang akar terbaik dalam efisiensi penurunan Fe dan TSS pada limbah cair *tailing* bauksit.

Uji statistik yang dilakukan untuk menentukan panjang akar terbaik dalam mengolah limbah cair *tailing* bauksit yaitu dengan kriteria pengambilan keputusan diambil berdasarkan nilai probabilitas (*Sig.*) jika nilai probabilitas (*Sig.*) >0,05 tidak terjadi perbedaan yang signifikan maka H_0 diterima. Jika nilai probabilitas (*Sig.*) <0,05 terjadi perbedaan yang signifikan maka H_0 ditolak. Pengujian statistik ditentukan hipotesis awal (H_0) pada panjang akar terbaik yakni pengolahan limbah cair *tailing* bauksit dengan cara fitoremediasi dengan variasi panjang akar 10 cm, 15 cm dan 20 cm tidak memiliki perbedaan. Hipotesis alternatif (H_1) yaitu pengolahan limbah cair *tailing* bauksit dengan cara fitoremediasi dengan variasi panjang akar 10 cm, 15 cm dan 20 cm memiliki perbedaan.

Tabel 6 Hasil Uji Beda ANOVA (Panjang Akar Terbaik) Terhadap Fe

Uji Beda	<i>Sig.</i>	Hasil Analisis
KPA ₁₀ dan KPA ₁₅	0,612	Tidak terjadi perbedaan signifikan
KPA ₁₅ dan KPA ₂₀	0,821	Tidak terjadi perbedaan signifikan
KPA ₂₀ dan KPA ₁₀	0,224	Tidak terjadi perbedaan signifikan

Sumber : Hasil Analisis, 2020

Keterangan :

KPA₁₀ : Reaktor Tumbuhan Kayu Apu Panjang Akar 10 cm

KPA₁₅ : Reaktor Tumbuhan Kayu Apu Panjang Akar 15 cm

KPA₂₀ : Reaktor Tumbuhan Kayu Apu Panjang Akar 20 cm

Berdasarkan **Tabel 6** hasil yang di dapatkan untuk menentukan panjang akar terbaik dalam efisiensi penurunan Fe pada limbah cair *tailing* bauksit terhadap variasi panjang akar kayu apu 10 cm, 15 cm dan 20 cm memiliki nilai (*Sig.*) >0,05 hal ini menandakan tidak terjadi perbedaan yang signifikan maka H_0 diterima. Dapat ditarik kesimpulan dikarenakan (H_0) diterima maka hipotesis yang digunakan yaitu pada penelitian ini hasil pengolahan limbah cair *tailing* bauksit dengan cara fitoremediasi dengan variasi panjang akar 10 cm, 15 cm dan 20 cm tidak memiliki perbedaan yang signifikan, yang artinya tidak ada pengaruh yang signifikan antara variasi panjang akar kayu apu yang digunakan dalam penelitian ini terhadap efisiensi penurunan Fe.

Uji statistik yang sama dilakukan untuk menentukan panjang akar terbaik dalam efisiensi penurunan TSS yaitu dengan kriteria pengambilan keputusan diambil berdasarkan nilai probabilitas, dengan hipotesis awal (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1) yang sama dengan sebelumnya untuk hasil uji beda *one way* ANOVA terhadap panjang akar terbaik dalam efisiensi penurunan TSS.

Tabel 7 Hasil Uji Beda ANOVA (Panjang Akar Terbaik) Terhadap TSS

Uji Beda	Sig.	Hasil Analisis
KPA10 dan KPA15	0,999	Tidak terjadi perbedaan signifikan
KPA15 dan KPA20	0,639	Tidak terjadi perbedaan signifikan
KPA20 dan KPA10	0,715	Tidak terjadi perbedaan signifikan

Sumber : Hasil Analisis, 2020

Keterangan :

KPA10 : Reaktor Tumbuhan Kayu Apu Panjang Akar 10 cm

KPA15 : Reaktor Tumbuhan Kayu Apu Panjang Akar 15 cm

KPA20 : Reaktor Tumbuhan Kayu Apu Panjang Akar 20 cm

Berdasarkan **Tabel 7** hasil yang di dapatkan untuk menentukan panjang akar terbaik dalam efisiensi penurunan TSS pada limbah cair *tailing* bauksit terhadap variasi panjang akar kayu apu 10 cm, 15 cm dan 20 cm memiliki nilai (Sig.) >0,05 hal ini menandakan tidak terjadi perbedaan yang signifikan maka H_0 diterima. Dapat ditarik kesimpulan dikarenakan (H_0) diterima maka hipotesis yang digunakan yaitu pada penelitian ini hasil pengolahan limbah cair *tailing* bauksit dengan cara fitoremediasi dengan variasi panjang akar 10 cm, 15 cm dan 20 cm tidak memiliki perbedaan yang signifikan, yang artinya tidak ada pengaruh yang signifikan antara variasi panjang akar kayu apu yang digunakan dalam penelitian ini terhadap efisiensi penurunan TSS.

4. Kesimpulan

Efisiensi penurunan Fe pada limbah cair *tailing* bauksit menggunakan kayu apu dengan panjang akar 10 cm, 15 cm dan 20 cm berturut-turut sebesar 37,3 %; 53,1 % dan 64,0 %. Sedangkan efisiensi penurunan TSS pada limbah cair *tailing* bauksit menggunakan kayu apu dengan panjang akar 10 cm, 15 cm dan 20 cm menunjukkan angka negatif atau tidak efisien. Berdasarkan hasil uji beda *one way* ANOVA, tidak ada pengaruh yang signifikan antara variasi panjang akar kayu apu yang digunakan dalam penelitian ini terhadap efisiensi penurunan parameter.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada dosen pembimbing skripsi, Bapak Dr. Arifin, S.T., M.Eng.Sc. dan Ibu Yulisa Fitriyaningsih, S.T., M.T. serta dosen penguji skripsi, Ibu Isna Apriani, S.T., M.Si. dan Ibu Suci Pramadita, S.T., M.T. dan semua pihak yang terlibat dalam membantu selama proses pengerjaan skripsi yang tidak dapat diucapkan satu persatu.

Referensi

- Apsari, L. 2018. *Fitoremediasi Limbah Cair Laundry Menggunakan Melati Air (Echinodorus palaefolius) dan Eceng Padi (Monochoria vaginalis)*. Bioprospek. Vol. 13, No. 2 : 29 – 38.
- Dewi, N.L.P.M., Mahendra, M.S. dan Suyasa, I.W.B. 2014. *Pengembangan Fitoremediasi Untuk Meningkatkan Kualitas Air Limbah Hasil Pengolahan Instalasi Pengolahan Air Limbah Suwung*. Jurnal Ecotrophic. Vol. 8, No. 1. ISSN 1907-5626.
- Easter, B., Yulianti, L.I.M. dan Jati, A.W.N. 2017. *Kemampuan Kayu Apu (Pistia Stratiotes. L) dalam Meremediasi Air Tercemar Logam Berat (Fe)*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Yogyakarta.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air : Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Penerbit Kanisius : Yogyakarta.
- Felani, M. 2007. *Fitoremediasi Limbah Cair Industri Tapioka dengan Tanaman Eceng Gondok*. Buana Sains. Vol. 7, No. 1 : 11-20.
- Gelyaman, G.D. 2018. *Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Bioavailabilitas Besi Bagi Tumbuhan*. JSLK 1 (1) 14-16.
- Ghozali, Imam. 2006. *Analisis Multivariate Lanjutan dengan Program SPSS*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Hartati, I., Riwayati, I. dan Kurniasari, L. 2011. *Potensi xanthate pulpa kopi sebagai adsorben pada pemisahan ion timbal dari limbah industri batik*. J Momentum 7(2): 25- 30.
- Herdina, S.P., Budiyono dan Suhartono. 2018. *Efektivitas Variasi Lama Kontak Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) dalam Menurunkan Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr⁶⁺) pada Limbah Industri Pelapisan Logam*. Jurnal Kesehatan Masyarakat. Vol. 6. No. 6. ISSN: 2356-3346.
- Khodijah, N.S., Rudjito, A.S., Harun, M.U. dan Robiartini, B. 2016. *Cekaman Lingkungan dan Potensi Logam Berat pada Budidaya Sayuran di Lahan Pasca Tambang Timah*. Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 2016, Palembang. ISBN 979-587-659-7.
- Oktaviani R., Rachmadiarti F. dan Wisanti. 2014. *Potensi Pistia stratiotes dan Spirogyra Sebagai Agen Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Perairan*. Lentera Bio. 3(3):276-81.
- Paramitasari, A. 2014. *Kemampuan Tumbuhan Air Kiapu Pistia stratiotes dan Kiambang Salvinia molesta dalam Fitoremediasi Timbal*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 34 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pertambangan Bijih Bauksit.
- Rahadian, R. Sutrisno, E. dan Sumiyati, S. 2017. *Efisiensi Penurunan COD dan TSS Dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Studi Kasus: Limbah Laundry*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Rahayuningtyas, I., Wahyuningsih, N.E. dan Budiyono. 2018. *Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak dan Berat Tanaman Apu-Apu (Pistia Stratiotes L.) Terhadap Kadar Timbal pada Irigasi Pertanian*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Rahman, Z.N. 2007. *Pengaruh Variasi Tebal Media Filter Pasir, Zeolit dan Kerikil dalam Menurunkan Kadar Kekeuhan dan TSS pada Air Permukaan*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rijal, M. 2014. *Studi Morfologi Kayu Apu (Pistia Stratiotes) dan Kiambang (Salvinia Molesta)*. IAIN. Ambon.

- Sari, E. dan Dessy, Y.S. 2018. *Efektivitas Media Penyaring dan Kayu Apu (Pistia stratiotes) dalam Fitoremediasi Air Lindi (Leachate)*. Universitas Lancang Kuning. Pekanbaru.
- Widowati, H. 2011. *Pengaruh Logam Berat Cd, Pb Terhadap Perubahan Warna Batang dan Daun Sayuran*. Pengaruh Logam Berat (167-173). El-Hayah Vol. 1. No.4.
- Zaman, B., Andarani, P., Cahyani, M. dan Hapsari, S. 2016. *Penyisihan Logam Berat dan COD dalam Limbah Elektroplating pada Reaktor Evaporasi Tertutup Sistem Batch dengan Menggunakan Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.)*. Universitas Diponegoro. Semarang.

Biografi Penulis

Nama Sarah Ayani, S.T., lahir pada tanggal 29 Mei 1997 sebagai anak ke-5 dari 5 bersaudara. Menjalani pendidikan di perguruan tinggi negeri di kota Pontianak Universitas Tanjungpura pada program studi Teknik Lingkungan dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada tahun 2022.

Nama Dr. Arifin, S.T., M.Eng.Sc., lahir pada tanggal 28 Oktober 1972. Menjalani pendidikan di perguruan tinggi di kota Yogyakarta Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada tahun 1997. Melanjutkan pendidikan pascasarjana di Malaya University Kuala Lumpur Malaysia, beliau memperoleh gelar Master of Science (M.Eng.Sc) pada tahun 2008. Kemudian beliau melanjutkan kembali pendidikan di Universitas Sebelas Maret Surakarta Solo dan pada tahun 2016 beliau memperoleh gelar keserjanaan tertinggi Doktor (Dr).

Nama Yulisa Fitrianiingsih, S.T., M.T., lahir pada tanggal 12 Juli 1983. Menjalani pendidikan di perguruan tinggi di kota Yogyakarta Universitas Islam Indonesia dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada tahun 2006. Melanjutkan pendidikan pascasarjana di Institut Teknologi Bandung, beliau memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada tahun 2012.