

Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dalam Menurunkan Kadar Limbah Logam Berat Besi (Fe) dengan Metode Khelasi

Kiswanto^{1,2*} dan Wintah^{1,3}

¹Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu Masyarakat, Universitas Teuku Umar, Indonesia; e-mail: kiswanto@utu.ac.id

²Program Studi Pemukiman dan Perumahan, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, Indonesia

³Program Studi Magister Ilmu Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Teuku Umar, Indonesia

ABSTRAK

Logam-logam pada umumnya dapat membentuk ikatan dengan bahan-bahan organik alami maupun buatan melalui atom karbon, gugus karboksilat dan atom-atom yang mempunyai elektron bebas dalam senyawa organik sehingga membentuk kompleks koordinasi. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh konsentrasi dan waktu pencampuran belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) terhadap penurunan kadar limbah simulasi logam Besi (Fe). Variasi konsentrasi belimbing wuluh yaitu 15%, 30%, dan 45%. Variasi waktu pencampuran yaitu 30 menit dan 60 menit. Sampel limbah simulasi logam Besi (Fe) dengan konsentrasi 10 ppm dicampurkan dengan larutan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) 15%, 30%, dan 45% selama 30 menit dan 60 menit dan dianalisa menggunakan AAS. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa larutan Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dapat menurunkan kadar logam Fe yang terdapat dalam limbah simulasi. Penurunan tertinggi yaitu 52,06% pada sampel yang dicampur dengan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) pada konsentrasi 45% dan pada waktu pencampuran 60 menit. Konsentrasi Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dan waktu pencampurannya mempengaruhi penurunan kadar logam ion Fe yang terdapat dalam limbah simulasi. Semakin tinggi konsentrasi Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dan semakin lama pencampurannya maka semakin besar penurunan kadar logam Fe dalam limbah simulasi.

Kata Kunci: Logam Berat, Fe, Belimbing Wuluh, Pencampuran, Khelasi

ABSTRACT

Metals can generally form bonds with both natural and synthetic organic materials through carbon atoms, carboxylate groups, and atoms with free electrons in organic compounds, thereby forming coordination complexes. This study aims to examine the effect of the concentration and mixing time of *Averrhoa bilimbi* on the reduction of simulated iron (Fe) metal waste levels. The concentrations of used were 15%, 30%, and 45%. The mixing times were 30 minutes and 60 minutes. Simulated iron (Fe) waste samples with a concentration of 10 ppm were mixed with 15%, 30%, and 45% *Averrhoa bilimbi* solutions for 30 minutes and 60 minutes, then analyzed using AAS. Based on the research results, it was found that *Averrhoa bilimbi* solutions can reduce the Fe concentration in the simulated wastewater. The highest reduction of 52.06% occurred in the sample mixed with *Averrhoa bilimbi* at a 45% concentration and a mixing time of 60 minutes. The concentration of *Averrhoa bilimbi* and the mixing time influence the reduction in iron (Fe) ion concentration in the simulated wastewater. The higher the concentration of *Averrhoa bilimbi* and the longer the mixing time, the greater the reduction in iron (Fe) concentration in the simulated wastewater.

Keywords: Heavy metal, Fe, *Averrhoa bilimbi*, Mixing, Chelation

Citation: Kiswanto, dan Wintah. (2026). Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dalam Menurunkan Kadar Limbah Logam Berat Besi (Fe) dengan Metode Khelasi. Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(3), 770-777, doi:10.14710/jil.24.3.770-777

1. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya peningkatnya pembangunan dan perkembangan industry disekitar bantaran sungai maka akan berpengaruh terhadap kualitas air sungai dan dampak pencemaran lingkungan sekitarnya (Setiawan et al., 2018; Maimunawaro et al., 2021). Banyaknya aktifitas masyarakat seperti pertanian, pertambangan dan

kegiatan industri lainnya akan berpengaruh terhadap kandungan logam berat pada air permukaan sungai (Kiswanto et al., 2020; Fakhrudin et al., 2017).

Pencemaran lingkungan yang berbahaya antara lain adalah terjadinya pencemaran pencemaran logam berat (Kementrian Lingkungan Hidup, 2021; Anzori et al., 2019). Logam berat merupakan salah satu jenis zat polutan lingkungan yang paling umum

dijumpai dalam perairan. Logam berat ini juga dapat berdampak negatif terhadap manusia yang menggunakan air tersebut dan organisme yang ada di dalam sungai. Terdapatnya kandungan logam berat dalam organisme mengindikasikan adanya sumber logam berat yang berasal dari alam atau dari aktivitas manusia (Amalia et al., 2019; Kiswanto et al., 2020). Pencemaran yang berbahaya antara lain adalah pencemaran logam berat, Fe, Hg, Cr, Pb dan Cu (Said & Yudo, 2021; Setiawan et al., 2018; Ekwule et al., 2019). Logam berat merupakan salah satu jenis zat polutan lingkungan yang paling umum dijumpai dalam perairan. Logam berat ini juga dapat berdampak negatif terhadap manusia yang menggunakan air tersebut dan organisme yang ada di dalam sungai. Terdapatnya kandungan logam berat dalam organisme mengindikasikan adanya sumber logam berat yang berasal dari alam atau dari aktivitas manusia (Putra et al., 2020; Geomine et al., 2018; Suroso et al., 2017).

Zat besi merupakan komponen mikro elemen esensial di dalam tubuh yang diperlukan dalam pembentukan darah, terutama dalam sintesis hemoglobin. Di dalam tubuh kita zat besi berkonjugasi dalam dua bentuk aktif berupa ferro (Fe^{2+}) dan bentuk inaktif berupa ferri (Fe^{3+}) (Ira Triswiyana et al., 2019; Meyzilia & Darsiharjo, 2017). Logam berat Besi (Fe) dapat terakumulasi di dalam lingkungan, tidak dapat terurai secara biologis dan bersifat toksik. Toksisitas Fe dapat merusak organ tubuh dan menurunkan kecerdasan pada anak. Logam Fe dapat masuk ke dalam tubuh melalui makanan, minuman dan pernapasan (Kamarullah et al., 2022; Ahalya et al., 2003; Kurniawan, 2016). Sumber cemaran Fe di dalam makanan dapat berasal dari polusi udara, pencemaran tanah dan air (Maimunawaro et al., 2021; Atik Rahmawati, 2012). Dari beberapa penelitian, ditemukan adanya cemaran Fe di dalam berbagai sampel bahan makanan dengan berbagai level kontaminan.

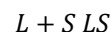
Perkembangan industri yang begitu pesat di Indonesia, menyebabkan kekhawatiran terhadap pencemaran lingkungan yang mengakibatkan lingkungan sekitarnya ikut tercemar dengan berbagai kontaminasi logam berat. Banyak penelitian yang meneliti tentang dampak pencemaran lingkungan terhadap bahan makanan. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Sutrisno, 2021; Yusbarina & Marlianis, 2013. Dalam penelitiannya terbukti bahwa dalam air, sedimen, dan organ ikan Baung (insang dan ginjal) tercemari logam berat Pb, Cd dan juga termasuk Fe. Walaupun belum melampaui ambang batas, tetapi keberadaan logam ini dalam tubuh sangat berbahaya karena dapat menumpuk dalam tubuh dalam jangka waktu yang lama sebagai racun. Penelitian yang dilakukan oleh Kiswanto, 2023 memberikan informasi bahwa air sungai di sekitar tambang batu bara telah tercemari oleh logam berat Fe cukup berat.

Pencemaran lingkungan dampak dari logam berat besi terdapat diberbagai aspek kehidupan baik di

dalam air, makanan maupun di lingkungan lainnya. Tercemarnya bahan makanan di sekitar kita menjadi kekhawatiran untuk mengkonsumsinya berbagai jenis makanan. Untuk itu perlu adanya pencegahan dan penjagaan agar makanan yang dikonsumsi aman dari logam berat. Hal ini sudah banyak yang melakukannya, diantaranya penelitian oleh Maimunawaro et al., 2021; Anzori et al., 2019. Dari hasil penelitiannya, dengan menambahkan larutan asam cuka pada daging kerang biru maka kadar logam berat Kadmium (Cd) berkurang dari sebelumnya. Hal yang sama juga dilakukan oleh Indasah, 2012; Mahbub Masduqi, 2015 yaitu dengan menambahkan air perasan jeruk nipis dalam kerang hijau untuk menurunkan kadar logam Pb, Cd, dan Cu.

Upaya menurunkan kadar logam berat pada makanan banyak dilakukan dengan penambahan bahan organik (buatan dan alami). Pada penelitian ini, menggunakan bahan organik alami yaitu buah belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*). Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) yang secara tradisional hanya digunakan oleh masyarakat sebagai bahan tambahan makanan. Belimbing Wuluh *Averrhoa Bilimbi*) sangat mudah didapatkan, namun belum dimanfaatkan secara maksimal. Belimbing wuluh masih banyak terbuang begitu saja. Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) hanya dimanfaatkan sebagai bahan penambah masakan tradisional khususnya di daerah Aceh.

Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) sebagai bahan organik ini bertindak sebagai sekuestran yang dapat mengikat logam dalam bentuk ikatan kompleks sehingga dapat mengalahkan sifat dan pengaruh buruk logam tersebut dalam bahan makanan. Proses pengikatan logam berat merupakan proses keseimbangan pembentukan ion kompleks logam dengan sekuestran (senyawa pengkelat). Artinya proses ini dipengaruhi oleh konsentrasi senyawa yang ada. Secara umum keseimbangan ini dapat ditulis sebagai berikut:



Keterangan:

L = Ion logam

S = Sekuestran (ligan)

LS = Kompleks logam-sekuestran (Tri Marwati, 2005)

Banyak penelitian yang membuktikan bahwa konsentrasi suatu pengkelat mempengaruhi penurunan kadar logam berat. Termasuk belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) mengandung asam sitrat, yang mana asam sitrat ini termasuk ke dalam asam organik lemah. Asam sitrat termasuk zat pengikat logam yang merupakan zat penstabil dalam pengolahan bahan makanan. Asam sitrat mengikat logam dalam bentuk senyawa kompleks sehingga dapat mengalahkan sifat dan pengaruh buruk logam yang terdapat dalam bahan makanan (Yusbarina & Marlianis, 2013).

Penelitian ini sangat menarik untuk melihat pengaruh konsentrasi belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dan waktu perendaman, maka digunakan

limbah simulasi yang memiliki kadar logam besi (Fe) yang tinggi sebagai sampel. Limbah simulasi merupakan limbah larutan yang dibuat di laboratorium dari larutan besi $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari metode khelasi belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dalam menurunkan kadar besi (Fe) didalam limbah simulasi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan gelas yang lazim digunakan di laboratorium penelitian kimia analitik, dan spektrofotometri serapan atom perkin elmer.

2.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah aquades, asam nitrat, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, larutan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*), simulasi 10 ppm.

2.3. Prosedur Kerja Pembuatan Limbah Simulasi Besi (Fe)

Limbah simulasi yang akan digunakan adalah limbah simulasi besi dengan konsentrasi 10 ppm. Larutan Induk besi 1000 ppm ditimbang 2,554 gram $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 ml dan ditambah aquades sampai tanda batas.

2.4. Pembuatan ekstrak belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dengan berbagai konsentrasi

Buah belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dicuci bersih. Kemudian dipotong kecil-kecil dan dimasukkan ke dalam juice extractor dan diekstrak tanpa penambahan air. Hasilnya disaring sebanyak dua kali.

- Larutan ekstrak belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) 15% 15 ml ekstrak buah belimbing wuluh dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan dengan aquades sampai tanda batas dan dihomogenkan.
- Larutan ekstrak belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) 30% 30 ml ekstrak buah belimbing wuluh dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml, kemudian ditambahkan dengan aquades sampai tanda batas dan dihomogenkan.
- Larutan belimbing wuluh 45% 45 ml ekstrak buah belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml, kemudian ditambahkan dengan aquades sampai tanda batas dan dihomogenkan.

2.5. Khelasi Logam Besi (Fe) dengan Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*)

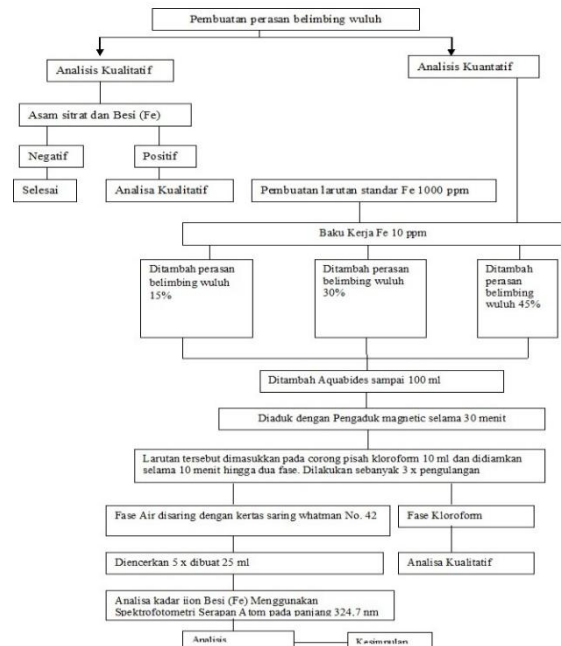
Masing-masing sebanyak 20 ml sampel limbah simulasi logam Besi (Fe) dengan konsentrasi 10 ppm berturut – berturut dicampurkan dengan larutan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) (15% selama 30 menit (sampel I), 15% selama 60 menit (sampel

II), larutan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) 30% selama 30 menit (sampel III), larutan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) 30% selama 60 menit (sampel IV), larutan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) 45% selama 30 menit (sampel V), larutan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) 45% selama 60 menit (sampel VI). Setiap 10 menit dilakukan pengadukan agar konsentrasi larutan Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) merata. Kemudian diukur kadar logam Besi (Fe) dalam limbah simulasi dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

2.6. Pengukuran kadar logam Besi (Fe) di dalam Limbah Simulasi

Untuk mengukur konsentrasi logam Besi (Fe) di dalam limbah simulasi dilakukan dengan SSA dimana metode pengukurannya mengacu pada SNI 06-6989.8-2004.

Alur penelitian penambahan belimbing wuluh untuk khelasi ion logam berat Besi (Fe) dapat digambarkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Penelitian Metode Khelasi Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi*)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) sebagai sekuestran dalam penelitian ini disebabkan Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) sudah sejak lama digunakan oleh masyarakat sebagai bumbu masak dan mudah didapat. Serta belum dimanfaatkan secara maksimal. Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) banyak terbuang begitu saja, padahal belimbing ini dapat digunakan sebagai sekuestran yang mengikat logam berbahaya dalam makanan.

Belimbing wuluh yang digunakan adalah buah belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dengan tingkat kematangan yang cukup, tidak terlalu muda dan tidak terlalu tua (Gambar 2).



Gambar 2. Belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*)

Adapun kandungan dari buah belimbing wuluh adalah asam format, asam sitrat, asam askorbat (Vitamin C), saponin, tanin, glukosid, flavonoid, dan beberapa mineral terutama kalsium dan kalium dalam bentuk kalium sitrat dan kalsium oksalat. Rasa asam dari buah belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) berasal dari senyawa asam yang terkandung dalamnya yaitu asam format, asam sitrat, dan asam askorbat.

Proses pembuatan ekstrak buah belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) diawali dengan pencucian. Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) yang sudah dicuci dipotong kecil dan dimasukkan kedalam *juice extractor* tanpa menambahkan air. Air tidak digunakan karena kandungan air belimbing wuluh sudah cukup tinggi. Pengupasan juga tidak dilakukan karena kulit buah belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) sangat tipis. Selanjutnya buah belimbing dihancurkan dengan *juice extractor* untuk diambil sarinya. Pada pembuatan ekstrak buah belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dilakukan penyaringan sebanyak dua kali yang bertujuan memisahkan sari buah dengan ampas yang terbawa pada saat penghancuran. Setelah di dapat ekstrak belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dilanjutkan dengan

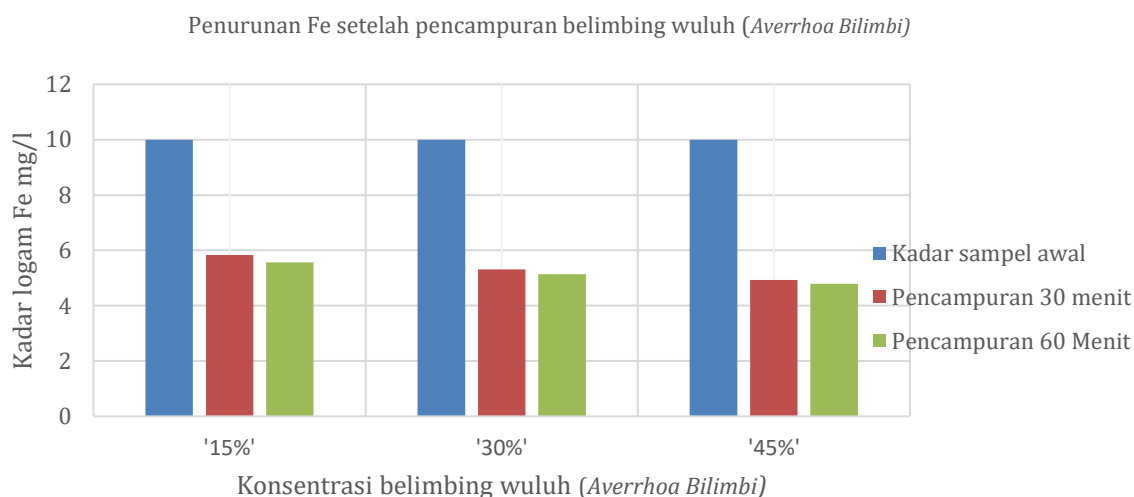
pembuatan ekstrak belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dengan konsentrasi 15%, 30%, dan 45%.

Pemilihan tiga konsentrasi yaitu 15%, 30%, dan 45% agar dapat melihat seberapa besar pengaruh konsentrasi belimbing wuluh dalam penurunan kadar logam Fe, dengan membandingkan penurunannya dalam setiap konsentrasi. Konsentrasi ini diambil karena tidak terlalu tinggi sehingga tidak terlalu asam. Jika terlalu asam, ini akan mempengaruhi cita rasa jika diaplikasikan ke dalam bahan makanan.

Nilai penurunan kadar logam berat Fe dalam limbah simulasi setelah diberi perlakuan pencampuran dengan perasan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dengan konsentrasi 30%, 45% dan waktu pencampuran 30 menit dan 60 menit dapat dilihat pada Gambar 3.

3.1. Kadar logam Fe (ppm) Konsentrasi Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi*)

kadar awal sampel pencampuran 30 menit pencampuran 60 menit, gambar 2 di atas menunjukkan bahwa pencampuran limbah simulasi dengan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dengan konsentrasi 15%, 30%, dan 45% pada waktu 30 menit dan 60 menit mampu menurunkan kadar logam Fe dalam limbah simulasi masing-masing rata-rata berturut-turut sebesar 5,8334 ppm (sampel I), 5,5750 ppm (sampel II), 5,3167 ppm (sampel III), 5,1479 ppm (sampel IV), 4,9271 ppm (sampel V), 4,7938 ppm (sampel VI). Penurunan kadar logam Pb dan Fe ini dapat kita ketahui setelah membandingkan kadar logam besi (Fe) sebelum pencampuran dengan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dengan kadar logam Fe setelah pencampuran dengan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*). Data lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Kadar Logam Fe dalam Sampel Setelah Khelasi dengan Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi*)

Tabel 2. Prosentase Penurunan Kadar Fe

Konsentrasi Belimbing wuluh (<i>Averrhoa Bilimbi</i>)	Lama Perendaman (menit)	Kadar Fe (ppm)	Rata-rata kadar Fe (ppm)	Penurunan Kadar Fe (%)	Rata-rata Penurunan kadar Fe (%)
0%	0 menit	10	10	0	0
		10		0	
		10		0	
		10		0	
		10		0	
		10		0	
15%	30 Menit (Sampel I)	5,90	5,83	41,00%	41,67%
		5,90		41,00%	
		5,81		41,90%	
		5,80		42,00%	
		5,80		42,00%	
		5,80		42,00%	
30%	30 menit (Sampel III)	5,50	5,32	45,00%	46,83%
		5,50		45,00%	
		5,50		45,00%	
		5,20		48,00%	
		5,20		48,00%	
		5,10		49,00%	
45%	30 menit (Sampel V)	5,10	4,92	49,00%	50,73%
		5,00		49,00%	
		5,00		50,00%	
		4,94		50,60%	
		4,80		52,00%	
		4,70		53,00%	
15%	60 Menit (sampel II)	5,63	5,57	43,67%	44,25%
		5,58		44,25%	
		5,57		44,30%	
		5,55		44,50%	
		5,56		44,40%	
		5,55		44,50%	
30%	60 menit (Sampel IV)	5,23	5,14	47,66%	48,52%
		5,22		47,80%	
		5,22		47,83%	
		5,21		47,90%	
		5,11		48,90%	
		4,90		51,00%	
45%	60 menit (Sampel VI)	4,85	4,79	51,50%	52,06%
		4,83		51,70%	
		4,78		51,20%	
		4,76		52,40%	
		4,76		52,40%	
		4,75		52,50%	

Tabel 1. Penurunan Kadar Logam Fe dalam Sampel

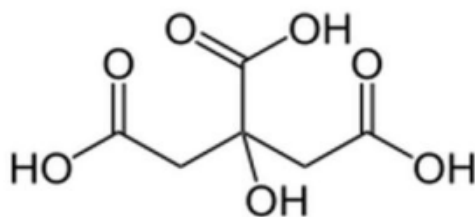
Sampel	Kadar Fe Sebelum Pencampuran (ppm)	Kadar Fe Setelah Pencampuran (ppm)	% Penurunan Kadar Fe (ppm)
Sampel I	10	5,8334	41,67%
Sampel II	10	5,5750	44,25%
Sampel III	10	5,3167	46,83%
Sampel IV	10	5,1479	48,52%
Sampel V	10	4,9271	50,73%
Sampel VI	10	4,7938	52,06%

Tabel 1 menunjukkan keefektifan metode khelasi menggunakan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dalam menurunkan kadar logam Fe. Penurunan kadar logam besi (Fe) dengan metode khelasi ini sudah melebihi 50%. Yang berperan sebagai pengkelat dalam belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) ini adalah asam sitrat. Hal ini dikarenakan logam berat berikatan dengan atom yang memiliki ion bebas, sedangkan asam sitrat memiliki empat elektron bebas pada kompleks (pengikat logam). Terjadinya reaksi antara zat pengikat logam dengan ion logam melalui ikatan koordinasi menyebabkan ion logam kehilangan sifat ionnya dan

mengakibatkan logam berat tersebut kehilangan sebagian besar toksisitasnya. Asam sitrat mempunyai 4 pasang elektron bebas pada molekulnya yaitu pada gugus karboksilat yang dapat diberikan pada ion logam sehingga menyebabkan terbentuknya ion kompleks yang dengan mudah larut dalam air (Setiawan, S. T. et al., 2012).

Tabel 2 menunjukkan menunjukkan keefektifan metode khelasi menggunakan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dalam menurunkan kadar logam Fe. Penurunan kadar logam Besi (Fe) dengan metode khelasi ini sudah melebihi 50%. Yang berperan sebagai pengkelat dalam belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) ini adalah asam sitrat. Hal ini dikarenakan logam berat berikatan dengan atom yang memiliki ion bebas, sedangkan asam sitrat memiliki empat elektron bebas pada kompleks (pengikat logam). Terjadinya reaksi antara zat pengikat logam dengan ion logam melalui ikatan koordinasi menyebabkan ion logam kehilangan sifat ionnya dan mengakibatkan logam berat tersebut kehilangan sebagian besar toksisitasnya. Asam sitrat mempunyai

4 pasang elektron bebas pada molekulnya yaitu pada gugus karboksilat yang dapat diberikan. Struktur asam sitrat dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Asam Sitrat

Keasaman asam sitrat didapatkan dari tiga gugus karboksil COOH yang dapat melepas proton dalam larutan. Jika hal ini terjadi, ion yang dihasilkan adalah ion sitrat.

Sitrat sangat baik digunakan dalam larutan penyangga untuk mengendalikan pH larutan. Ion sitrat dapat bereaksi dengan banyak ion logam membentuk garam sitrat. Selain itu, sitrat dapat mengikat ion-ion logam dengan pengkelatan. Logam-logam pada umumnya dapat membentuk ikatan dengan bahan-bahan organik alam maupun bahan-bahan organik buatan. Proses pembentukan ikatan tersebut dapat terjadi melalui pembentukan garam organik dengan gugus karboksilat seperti misalnya asam sitrat, tartarat, dan lain-lain. Di samping itu, logam dapat berikatan dengan atom-atom yang mempunyai elektron bebas dalam senyawa organik sehingga terbentuk kompleks (Suryani et al., 2018). Selanjutnya dilakukan uji statistik ANOVA dua arah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi dan waktu pencampuran belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) terhadap penurunan kadar logam Fe dalam sampel.

3.2. Hasil Uji Pencampuran Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) Terhadap Penurunan Kadar Logam Fe

Hasil uji ANOVA dua arah dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Ringkasan ANOVA dari Pengaruh Konsentrasi Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) terhadap Penurunan Kadar Logam Fe

Jumlah Variasi	dk	Jumlah Kuadrat	Rata-Rata Kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}	
					1%	5%
Antar kelompok	2	2,1457	1,0729	4433,4711	6,93	3,86
Dalam kelompok	12	0,0029	0,000242			
Total	14	2,1486				

Berdasarkan hasil data pada Tabel 3, F hitung lebih besar dari F_{tabel} baik pada taraf signifikan 1% maupun 5%, sehingga H_a diterima dan H₀ ditolak. Ini berarti bahwa konsentrasi belimbing wuluh mempengaruhi penurunan kadar logam Fe dalam sampel. Dengan diterimanya H_a perlu dilakukan uji pasca ANOVA untuk melihat konsentrasi mana yang berbeda atau yang baik yang mempengaruhi penurunan kadar logam Fe. Hasilnya diketahui

bahwa konsentrasi yang baik dalam menurunkan kadar logam Fe adalah konsentrasi 45%. Yang menyebabkan semakin menurunnya kadar logam Fe oleh kenaikan konsentrasi adalah kandungan asam sitratnya. Kita ketahui bahwa asam sitratlah yang bertindak sebagai pengkelat logam Fe. Jika semakin tinggi konsentrasi belimbing wuluh maka kandungan asam sitratnya akan semakin banyak dan semakin banyak pula logam berat Fe yang terikat. Logam berat Fe selain mudah terikat oleh asam sitrat juga mudah terikat oleh asam humat (Kiswanto, 2023; Yuliyati et al., 2016).

Tabel 4. Tabel Ringkasan ANOVA dari Pengaruh Waktu Pencampuran Belimbing Wuluh terhadap Penurunan Kadar Logam Fe

Jumlah Variasi	dk	Jumlah Kuadrat	Rata-Rata Kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}	
					1%	5%
Antar kelompok	1	0,157	0,157	648,7603	9,33	4,75
Dalam kelompok	12	0,0029	0,000242			
Total	13	0,1599				

Dari data Tabel 4 terlihat bahwa terjadi perbedaan yang signifikan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} baik pada tara 1% maupun pada taraf 5%. Apabila F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} maka H_a diterima dan H₀ ditolak. Dengan diterimanya H_a berarti adanya pengaruh yang diberikan oleh lamanya waktu pencampuran terhadap penurunan kadar logam Fe dalam sampel. Selanjutnya dilakukan uji pasca ANOVA untuk melihat perbedaan antara waktu pencampuran. Hasilnya bahwa waktu pencampuran yang mempunyai perbedaan dan yang baik dalam menurunkan kadar logam Fe adalah waktu pencampuran 60 menit. Hal ini dikarenakan, semakin lama waktu pencampuran atau perendaman maka logam berat Fe akan semakin banyak terikat oleh pengkelatnya. Karena dengan semakin lamanya waktu pencampuran ini, kesempatan pengkelat semakin besar untuk mengikat logam berat Fe (Santosa & Mada, 2016; Fajri et al., 2016).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa larutan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dapat menurunkan kadar logam Fe yang terdapat dalam limbah simulasi. Dengan penurunan tertinggi yaitu 52,06% pada sampel yang dicampur dengan belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) pada konsentrasi 45% dan pada waktu pencampuran 60 menit. Konsentrasi belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dan waktu pencampurannya mempengaruhi penurunan kadar logam Fe yang terdapat dalam limbah simulasi. Semakin tinggi konsentrasi belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dan semakin lama pencampurannya maka semakin besar penurunan kadar logam Fe dalam limbah simulasi. Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) menjadi alternatif penambahan bahan khelasi untuk mengikat ion logam berat khususnya ion logam berat Fe.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Teuku Umar atas penyediaan lokasi penelitian dan berbagai fasilitas laboratorium dan fasilitas pendukung lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahalya, N., Ramachandra, T. V., & Kanamadi, R. D. (2003). Review Paper: Biosorption Of Heavy Metals. *Research Journal Of Chemistry And Environment*, 7(4), 71–79.
- Amalia, I. W., Nurnanda, D., Hendrianie, N., & Darmawan, R. (2019). Proses Pembuatan Asam Sitrat Dari Molasses Dengan Metode Submerged Fermentation. 8(2).
- Aniek Suryani, Kukuh Nirmala, D. D. (2018). The Accumulation Of Heavy Metal (Lead And Copper) In Milkfish (*Chanos-Chanos*, Forskal) Ponds From Dukuh Tapak, Kelurahan Tugurejo, Semarang. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal Of Natural Resources And Environmental Management)*, 8(3), 271–278. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.3.271-278>
- Anzori, I., Pringgenies, D., & Redjeki, S. (2019). Pengaruh Kenaikan Ph Terhadap Kandungan Logam Berat Cu Dan Cd Serta Struktur Insang Dan Mantel Kerang Anadara Granosa Dengan Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) (The Effect Of Increasing Ph On Heavy Metal Content Of Cu And Cd And Structure Of The . 3(April), 23–27.
- Atik Rahmawati, S. J. S. (2012). Studi Adsorpsi Logam Pb(II) Dan Cd(II) Pada Asam Humat Dalam Medium Air Atik Rahmawati 1 , Sri Juari Santoso 2 2. 2(1).
- Ekwule, O. R., Akpen, G. D., & Ugbede, G. M. (2019). The Effect Of Coal Mining On The Water Quality Of Water Sources In Nigeria. *Bartın University International Journal Of Natural And Applied Sciences*, 2(2), 251–260.
- Fajri, M., Agusta, H., Asmono, D., Departemen Agronomi Dan Hortikultura, M., & Riset Sampoerna Agro Tbk Staf Pengajar Departemen Agronomi Dan Hortikultura, D. P. (2016). Pengaruh Asam Humat Pada Absorpsi Logam Berat Pb, Cd, Ba Dan Pertumbuhan Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Tahap Pembibitan.
- Fakhrudin, Nurdiana, J., & Wijayanti, D. W. (2017). Analisis Penurunan Kadar Cr (Chromium), Fe (Besi) Dan Mn (Mangan) Pada Limbah Cair Laboratorium Teknologi Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman Samarinda Dengan Menggunakan Metode Elektrolisis. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Iv*, November, 10–15.
- Geomine, J., Wahyudin, I., Widodo, S., & Nurwaskito, A. (2018). Analisis Penanganan Air Asam Tambang Batubara. 6(2), 85–89.
- Indasah. (2012). Dampak Penambahan Chelating Agent (Asam Asetat, Asam Sitrat Dan Jeruk Nipis) Terhadap Kadar Fe, Zn Dan Protein Daging Kupang Beras (*Corbula Faba*). *Strada Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 1(1), 37–49.
- Ira Triswiyana, Ayu Permatasari, & Ardiansyah Kurniawan. (2019). Utilization Of Ex Tin Mine Lake For Aquaculture: Case Study Of Muntok Sub District, West Bangka Regency. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 10(2), 99–104. <https://doi.org/10.35316/jsapi.V10i2.534>
- Kamarullah, M. A., Triantoro, A., & Dwiatmoko, M. U. (2022). Analisis Pengaruh Air Asam Tambang Sekitar Disposasi Ucw Di Pt Jorong Barutama Greston Analysis Of The Effect Of Acid Mine Water Around Ucw Disposasi. 7(2), 69–74.
- Kementrian Lingkungan Hidup. (2021). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2021 Tentang Tata Cara Penerbitan Persetujuan Teknis Surat Kelayakan Operasional Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan. Kementrian Lingkungan Hidup.
- Kiswanto, W. (2023). Ability Of Humic Acid In The Absorption Of Heavy Metal Content Of Lead And Iron In Fish Culture Media. 24(5), 95–102.
- Kiswanto, Wintah, & Rahayu, N. L. (2020). Analisis Logam Berat (Mn, Fe , Cd), Sianida Dan Nitrit Pada Air Asam Tambang Batu Bara. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*, 18, 20–26.
- Kurniawan, A. (2016). Microorganism Communities Response Of Ecological Changes In Post Tin Mining Ponds. July.
- Mahbub Masduqi, S. N. (2015). Efek Lama Perendaman Dan Konsentrasi Sari Jeruk Nipis Terhadap Penurunan Kadar Timbal (Pb) Pada Daging Sapi (Studi Kasus Di Tpa Jatibarang Semarang) Mahbub. 4(1), 45–53.
- Maimunawaro, M., Rahman, S. K., & Irawan, C. (2021). Pemanfaatan Asam Humat Dari Sampah Organik Sebagai Adsorben Pada Limbah Cair Sintesis Timbal (Pb). *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 19(1), 26. <https://doi.org/10.5614/jtki.2020.19.1.5>
- Meyzilia, A., & Darsiharjo. (2017). Pemanfaatan Kolong Bekas Galian Tambang Timah. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 17(2), 153–158.
- Putra, R. S., Annisa, A. D., & Budiarjo, S. (2020). Batik Wastewater Treatment Using Simultaneous Process Of Electrocoagulation And Electro-Assisted Phytoremediation (Eapr). *Indonesian Journal Of Chemistry*, 20(6), 1221–1229. <https://doi.org/10.22146/ijc.47898>
- Said, N. I., & Yudo, S. (2021). Status Kualitas Air Di Kolam Bekas Tambang Batubara Di Tambang Satui, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(1), 048–057. <https://doi.org/10.29122/jtl.V22i1.3900>
- Santosa, S. J., & Mada, U. G. (2016). Studi Adsorpsi Logam Pb (II) Dan Cd (II) Pada Asam Humat Dalam Unsur Kadmium Dan Timbal Secara Alamiah Merupakan Unsur-Unsur Yang Ke Lingkungan Dalam Jumlah Besar Mengakibatkan Lingkungan Tercemar Dan I . Makhluk Hidup . Kadmium Termasuk Logam Yang Sa. January. <https://doi.org/10.18860/Al.V0i0.2296>
- Sastra Setiawan, T., Rachmadiarti, F., & Raharjo. (2012). The Effectiveness Of Various Types Of Orange (Citrus Sp.) To The Reduction Of Pb (Lead) And Cd (Cadmium) Heavy Metals Concentration On White Shrimp (*Panaeus Marguensis*). *Lentera Bio*, 1(1), 35–40. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/LenteraBio/Article/View/192>
- Setiawan, A. A., Budianta, D., Suheryanto, S., & Priadi, D. P. (2018). Review : Pollution Due To Coal Mining Activity And Its Impact On Environment. *Sriwijaya Journal Of Environment*, 3(1), 1–5. <https://doi.org/10.22135/Sje.2018.3.1.1-5>
- Sutrisno. (2021). Pemberian Asam Sitrat Terhadap Pencucian Merkuri (Hg) Pada Ikan Patin Siam (

Kiswanto, dan Wintah. (2026). Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) dalam Menurunkan Kadar Limbah Logam Berat Besi (Fe) dengan Metode Khelasi. Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(3), 770-777, doi:10.14710/jil.24.3.770-777

- Pangasionodon Hypophthalmus . F .J Dari Sungai Batanghari Skripsi Disusun Oleh : Sutrisno :
- Y Suroso, E., Said, M., & Jaya Priatna, S. (2017). River Water Pollution Control Strategy Due To Coal Mining Activities (Case Study In Kungkulan River West Merapi District, Lahat). Sriwijaya Journal Of Environment, 2(2), 50-57. <https://doi.org/10.22135/Sje.2017.2.2.-50-57>
- Yuliyati, Y. B., Yuliyati, Y. B., Natanael, C. L., Kimia, J., Matematika, F., & Alam, P. (2016). Isolasi Karakterisasi T Asam Humat Dan Penentuan Daya Serap Nya Terhadap Ion Logam Pb (li) Cu (li) Dan Fe (li). 4(Ii), 43-53.
- Yusbarina, & Marlianis. (2013). Penurunan Kadar Limbah Logam Timbal (Pb) Dengan Metode Khelasi Menggunakan Belimbing Wuluh. Photon: Jurnal Sain Dan Kesehatan, 4(1), 1-8. <https://doi.org/10.37859/jp.V4i1.163>