



# Efektivitas koagulasi dengan biji kelor dalam penyisihan kandungan besi dan mangan pada air tanah: Perbandingan antara proses satu tahap dan dua tahap

YOGI SAPUTRA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas; Padang, Sumatera Barat, 25163, Indonesia

\* Korespondensi: [yogiesapoetra@gmail.com](mailto:yogiesapoetra@gmail.com)

Diterima:

Disetujui: 20 Desember 2023

## ABSTRAK

**Latar Belakang:** Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan biji kelor sebagai koagulan dalam proses penyisihan kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) pada air tanah serta membandingkan efisiensi antara proses koagulasi satu tahap dan dua tahap. **Metode:** Dalam penelitian ini, biji kelor diuji sebagai koagulan alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis dalam proses koagulasi untuk mengurangi kandungan Fe dan Mn dalam air tanah. **Temuan:** Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses koagulasi menggunakan biji kelor mampu menyisihkan Fe dan Mn dari air tanah dengan efektivitas yang signifikan. Efektivitas penyisihan Fe berkisar antara 25-42% pada proses koagulasi satu tahap dan meningkat menjadi 32-45% pada proses koagulasi dua tahap. Sementara itu, efektivitas penyisihan Mn berkisar antara 24-57% pada proses koagulasi satu tahap dan meningkat menjadi 25-63% pada proses koagulasi dua tahap. Dosis optimal koagulan biji kelor untuk penyisihan Fe dan Mn ditemukan pada kisaran 35-36 mg/L. **Kesimpulan:** Kesimpulan dari penelitian ini adalah biji kelor menawarkan potensi sebagai koagulan alternatif yang efektif dan ramah lingkungan untuk pengolahan air tanah yang terkontaminasi Fe dan Mn. Hasil ini memberikan wawasan baru dalam pengembangan teknologi pengolahan air yang berkelanjutan dan ekonomis.

**KATA KUNCI:** air tanah; kandungan besi; kandungan mangan.

## ABSTRACT

**Background:** This study aims to evaluate the effectiveness of using moringa seeds as a coagulant in the removal of iron (Fe) and manganese (Mn) content in groundwater and compare the efficiency between single-stage and two-stage coagulation processes. **Methods:** In this study, moringa seeds were tested as an environmentally friendly and economical alternative coagulant in the coagulation process to reduce Fe and Mn content in groundwater. **Finding:** The results of the study indicate that the coagulation process using moringa seeds is capable of removing Fe and Mn from groundwater with significant effectiveness. The removal effectiveness of Fe ranges from 25-42% in the single-stage coagulation process and increases to 32-45% in the two-stage coagulation process. Meanwhile, the removal effectiveness of Mn ranges from 24-57% in the single-stage coagulation process and increases to 25-63% in the two-stage coagulation process. The optimal dosage of moringa seed coagulant for the removal of Fe and Mn was found to be in the range of 35-36 mg/L. **Conclusion:** This study concludes that moringa seeds offer potential as an effective and environmentally friendly alternative coagulant for treating groundwater contaminated with Fe and Mn. These results provide new insights into the development of sustainable and economical water treatment technologies.

**KEYWORDS:** groundwater; iron content; manganese content.

## Cara Pengutipan:

Saputra, Y. (2024). Efektivitas koagulasi dengan biji kelor dalam penyisihan kandungan besi dan mangan pada air tanah: Perbandingan antara proses satu tahap dan dua tahap. *HCR: Humans and Chemical Regimes*, 1(1), 6-14. <https://doi.org/10.61511/hcr.v1i1.766>.

**Copyright:** © 2024 dari Penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan dari the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## 1. Pendahuluan

Air tanah digunakan sebagai sumber air untuk konsumsi manusia. Menurut Chandra (2006), air tanah adalah sebagian air hujan yang sampai ke permukaan bumi dan terserap ke dalam tanah sehingga menjadi air tanah. Namun, penggunaan air tanah dapat terhalang oleh tingginya kadar besi (Fe) dan mangan (Mn). Air tanah yang mengandung logam-logam ini dapat menyebabkan air berubah warna menjadi coklat kekuningan setelah kontak dengan udara. Jumlah yang berlebihan dari logam-logam ini di dalam tubuh dapat menyebabkan gangguan kesehatan, seperti serangan jantung, kerusakan pembuluh darah, dan kanker hati.

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 tentang Standar Kualitas Air untuk Air Minum, kadar maksimum zat besi yang diperbolehkan dalam air minum adalah 0,3 mg/L dan mangan 0,4 mg/L. Untuk memastikan bahwa air yang dikonsumsi memenuhi standar kualitas air minum, diperlukan pengolahan air. Penyisihan besi dan mangan dari air tanah dapat dilakukan dengan berbagai metode pengolahan air, salah satunya adalah koagulasi (Fearing dkk., 2004). Koagulasi adalah proses pencampuran cepat yang mengurangi kadar besi dan mangan dengan menambahkan koagulan. Koagulan bekerja dengan menetralkan muatan partikel, mendorong agregasi partikel, dan membentuk flok dengan kadar air yang rendah. Agregasi partikel menghasilkan pembentukan gumpalan yang lebih besar, yang dapat dengan mudah dihilangkan dari air yang sedang diolah.

Air tanah di Indonesia sering mengandung besi dan mangan cukup tinggi. Kedua logam ini selalu ada bersama-sama di dalam air. Bagi manusia, kedua logam adalah esensial dalam dosis rendah, tetapi juga toksik dalam dosis yang tinggi. Keberadaannya dalam air tidak hanya dapat dideteksi secara laboratoris, tetapi juga dapat dideteksi secara organoleptik (pengujian dengan alat indera/uji sensori). Dengan konsentrasi Fe atau Mn sedikitnya 1 mg/L, air terasa pahit-asam, berbau tidak enak, dan berwarna kuning kecoklatan (Rahman & Hartono, 2004).

Air tanah mengalami kontak dengan berbagai macam material yang terdapat di dalam bumi sehingga pada umumnya air tanah mengandung kation dan anion terlarut dan beberapa senyawa anorganik seperti silika ( $\text{SiO}_2$ ). Ion-ion yang biasanya terkandung dalam air tanah meliputi kalsium, besi, magnesium, natrium, kalium, klorida, sedangkan gas-gas terlarut meliputi nitrogen, karbon dioksida, metana, oksigen dan hidrogen sulfida (Fetter, 1999).

Kandungan besi dalam air tanah dapat mencapai 10 mg/L dan 2 mg/L untuk mangan. *The Secondary Drinking Water Standards* (EPA) menetapkan baku mutu maksimum untuk besi 0,3 mg/L dan untuk mangan 0,5 mg/L (Kawamura, 1990). Pada umumnya besi dalam air dapat bersifat (1) terlarut sebagai  $\text{Fe}^{2+}$  (Ferro) atau  $\text{Fe}^{3+}$  (Ferri); (2) tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter  $< 1\mu\text{m}$ ) atau yang lebih besar seperti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan sebagainya; (3) bergabung dengan zat organik atau zat padat yang inorganik seperti tanah liat.

Pada air permukaan jarang ditemui kadar Fe lebih besar dari 1 mg/L, tetapi dalam air tanah kadar Fe dapat jauh lebih tinggi. Konsentrasi Fe yang tinggi ini dapat dirasakan dan dapat menodai kain, perkakas dapur, dan alat sanitair. Kandungan mangan dalam air tanah bersamaan dengan besi berasal dari tanah dan bebatuan. Mangan adalah logam yang berwarna abu-abu putih. Mangan merupakan unsur reaktif yang mudah bergabung dengan ion dalam air dan udara. Di bumi, mangan ditemukan dalam sejumlah mineral kimia yang berbeda dengan sifat fisiknya, tetapi tidak pernah ditemukan sebagai logam bebas di alam. Mangan dalam air berbentuk mangan bikarbonat ( $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$ ), mangan klorida ( $\text{MnCl}_2$ ), dan mangan sulfat ( $\text{MnSO}_4$ ) (Setiyono, 2012).

## 2. Metode

Penelitian mengenai proses koagulasi satu tahap dan koagulasi dua tahap dilakukan pada skala laboratorium dengan variasi dosis koagulan. Biji kelor digunakan sebagai

koagulan pada penelitian ini untuk melihat penyisihan kandungan Fe & Mn dalam air tanah dan pengaruh beberapa parameter operasi, seperti Mn dalam air tanah dan pengaruh beberapa parameter operasi, seperti kekeruhan, ukuran flok, residu kelor, dan kandungan air dalam flok pada proses koagulasi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas proses koagulasi satu tahap dan koagulasi dua tahap dalam penyisihan kandungan Fe & Mn dalam air tanah menggunakan biji kelor sebagai koagulan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh beberapa parameter operasi, seperti kekeruhan, ukuran flok, residu kelor, dan kandungan air dalam flok pada proses koagulasi.

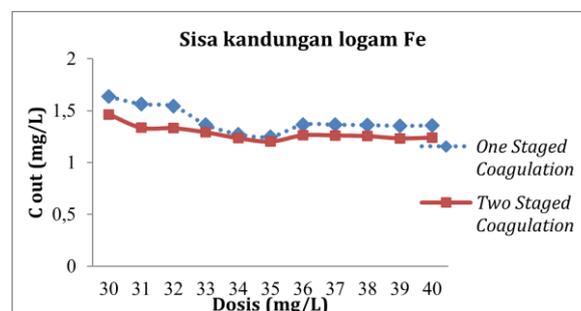
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Penyisihan kadar logam Fe

Kadar logam Fe yang terdapat pada sampel air cukup tinggi, yaitu sebesar 2,182 mg/L dengan nilai absorban 0,125. Hubungan variasi dosis koagulan terhadap konsentrasi logam Fe yang tersisa dari proses *one stage coagulation* dan *two stage coagulation* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan pengaruh *one stage coagulation* dengan *two stage coagulation* terhadap sisa dan persentase penyisihan logam Fe

No.	Dosis koagulan (mg/L)	<i>One stage coagulation</i> C out (mg/L)	% Penyisihan	<i>Two stage coagulation</i> C out (mg/L)	% Penyisihan
1	30	1,636	25,02	1,464	32,91
2	31	1,564	28,32	1,335	38,82
3	32	1,542	29,33	1,331	39,00
4	33	1,364	37,49	1,291	40,83
5	34	1,273	41,66	1,235	43,40
6	35	1,248	42,80	1,202	44,91
7	36	1,364	37,49	1,263	42,12
8	37	1,364	37,49	1,261	42,21
9	38	1,361	37,63	1,255	42,48
10	39	1,353	37,99	1,233	43,49
11	40	1,358	37,76	1,241	43,13



Gambar 1. Grafik perbandingan pengaruh proses *one stage coagulation* dengan *two stage coagulation* terhadap sisa logam Fe

Konsentrasi kadar logam Fe awal pada sampel adalah sebesar 2,182 mg/L. Data yang diperoleh dari hasil uji laboratorium dapat diketahui bahwa kemampuan koagulan biji kelor dalam menyisihkan kadar logam Fe pada proses *one stage coagulation* tidak terlalu

tinggi, berkisar antara 25-42%. Berdasarkan Gambar 1, pada pembubuhan dosis 30-35 mg/L terjadi penurunan kadar logam Fe berturut-turut adalah dari 2,182 mg/L menjadi 1,636 mg/L, 1,564 mg/L, 1,542 mg/L, 1,364 mg/L, 1,273 mg/L dan 35 mg/L terjadi penurunan persentase kandungan logam Fe yang cukup tinggi menjadi 1,248 mg/L dengan persentase penurunan kandungan logam Fe sebesar 42,80%.

Pada pembubuhan dosis 36–40 mg/L, tidak terjadi peningkatan persentase penyisihan kadar logam Fe jika dibandingkan dengan pembubuhan dosis koagulan 35 mg/L. Pada pembubuhan dosis 36 mg/L dan 37 mg/L terjadi penurunan kadar logam Fe yang sama menjadi 1,364 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 37,49%. Selanjutnya, pada konsentrasi 38-40 mg/L terjadi penurunan kadar logam Fe berturut-turut, yaitu 1,361 mg/L, 1,353 mg/L, 1,358 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan rata-rata sebesar 37,50%.

Penyisihan kadar logam Fe tertinggi berada pada pembubuhan dosis 35 mg/L, yaitu sebesar 1,091 mg/L. Dosis ini merupakan dosis optimum dalam penyisihan logam Fe. Hal tersebut terjadi karena pada konsentrasi ini koagulan biji kelor mampu menyediakan tempat untuk mengikat ion logam Fe dengan lebih baik dan membentuk ikatan yang stabil dengan protein biji kelor dibandingkan dengan dosis lainnya. Meningkatnya konsentrasi koagulan biji kelor melebihi dosis optimum menyebabkan efektifitas penyisihan logam Fe menurun. Hal ini disebabkan ketika konsentrasi optimum protein dalam mengikat ion logam sudah terlampaui, maka penambahan koagulan tidak akan meningkatkan efektifitas koagulan (Darmono, 1995). Sementara itu, penyisihan kadar logam Fe terendah berada pada pembubuhan dosis 30 mg/L, yaitu sebesar 1,636 mg/L.

Pada proses *two stage coagulation*, persentase penyisihan kadar logam Fe berkisar antara 32-45%. Pada proses ini juga terjadi penurunan kadar logam Fe yang paling tinggi berada pada pembubuhan dosis 35 mg/L. Untuk pembubuhan dosis 30–35 mg/L terjadi penurunan kadar logam Fe berturut-turut dari 2,182 mg/L menjadi 1,464 mg/L, 1,335 mg/L, 1,331 mg/L, 1,291 mg/L, 1,235 mg/L dan pada pembubuhan dosis 35 mg/L terjadi penurunan kadar logam Fe yang cukup tinggi menjadi 1,202 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 44,91%.

Namun, pada pembubuhan dosis 36–40 mg/L tidak terjadi peningkatan persentase penyisihan kadar logam Fe jika dibandingkan dengan pembubuhan dosis koagulan 35 mg/L. Pada pembubuhan dosis 36 –40 mg/L terjadi penurunan kadar logam Fe berturut-turut 1,263 mg/L, 1,261 mg/L, 1,255 mg/L, 1,233 mg/L dan pada konsentrasi 40 mg/L terjadi penurunan kadar logam Fe menjadi 1,241 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 43,13%. Untuk lebih jelas mengenai besarnya penurunan konsentrasi logam Fe pada setiap variasi dosis dapat dilihat pada Gambar 1.

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa koagulan biji kelor pada proses *one stage coagulation* dan *two stage coagulation* sama-sama dapat menurunkan sedikit kadar logam Fe pada sampel air. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun penambahan koagulan menghasilkan flok, tetapi flok-flok tersebut tidak cukup mampu untuk menarik logam Fe ke dalam flok tersebut sehingga kurang efektif dalam menurunkan kandungan Fe dalam air. Penurunan kadar logam ini terjadi karena protein kationik dari biji kelor yang hanya mampu untuk sedikit berikatan dengan muatan negatif dari senyawa yang mengikat ion-ion logam sehingga ion-ion logam pun ikut terendapkan (Yuliasri, 2010).

Secara umum efisiensi penyisihan logam Fe pada proses *two stage coagulation* lebih tinggi jika dibandingkan dengan proses *one stage coagulation*. Lebih tingginya efisiensi penyisihan kekeruhan pada proses *two stage coagulation* dibandingkan dengan proses *one stage coagulation* disebabkan oleh mekanisme pembubuhan koagulan yang berbeda antara dua proses tersebut. Hal ini membuktikan bahwa pada proses pembubuhan koagulan dua kali menghasilkan penyisihan logam Fe yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses pembubuhan satu kali walaupun dosisnya sama. Pada proses *two stage coagulation*, terjadi dua kali pembubuhan koagulan sehingga memiliki daerah jangkauan  $1\frac{1}{2}$  lebih luas dalam pengikatan atau kontak antara koagulan dengan logam Fe. Pada pembubuhan koagulan pertama, terjadi kontak antara koagulan dengan logam Fe.

Selanjutnya, pada proses *two stage coagulation* besar kemungkinan bertemunya koagulan dengan logam Fe yang belum bergabung sebelumnya sehingga kemungkinan terjadinya kontak akan bertambah (Liu et al., 2011). Jadi, terjadinya perbedaan efisiensi penyisihan kadar logam Fe pada proses *two stage coagulation* dibanding proses *one stage coagulation* yang disebabkan oleh mekanisme pembubuhan koagulan. Pembubuhan dua kali menghasilkan penyisihan logam Fe yang lebih baik dibandingkan dengan pembubuhan satu kali walaupun dosisnya sama karena pembubuhan dua kali memungkinkan terjadinya kontak yang lebih banyak antara koagulan dengan logam Fe.

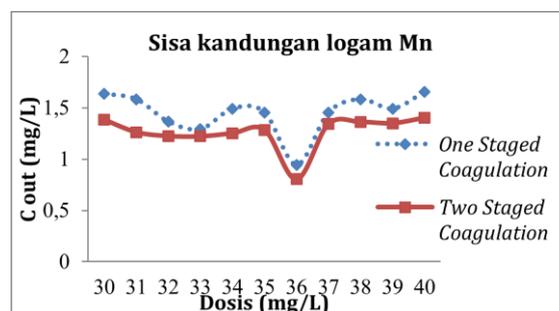
### 3.2. Penyisihan kadar logam Mn

Kadar logam Mn yang terdapat pada sampel air sebesar 1,388 mg/L. Tabel 2 dan Gambar 2 berikut menyajikan data sisa dan persentase penyisihan logam Mn dari proses *one stage coagulation* dan *two stage coagulation*.

Tabel 2. Data perbandingan pengaruh proses *one stage coagulation* dengan *two stage coagulation* terhadap sisa dan persentase penyisihan logam Mn

No.	Dosis koagulan (mg/L)	<i>One stage coagulation</i> C out (mg/L)	% Penyisihan	<i>Two stage coagulation</i> C out (mg/L)	% Penyisihan
1	30	1,636	25,02	1,382	36,66
2	31	1,582	27,50	1,261	42,21
3	32	1,364	37,49	1,224	43,90
4	33	1,291	40,83	1,221	44,04
5	34	1,491	31,67	1,251	42,67
6	35	1,455	33,32	1,284	41,15
7	36	0,945	56,69	0,804	63,15
8	37	1,455	33,32	1,342	38,50
9	38	1,582	27,50	1,361	37,63
10	39	1,491	31,67	1,349	38,18
11	40	1,655	24,15	1,402	35,75

Untuk lebih jelasnya mengenai hubungan antara dosis dengan penurunan kadar logam Mn pada proses *one stage coagulation* dan *two stage coagulation* dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Grafik perbandingan pengaruh proses *one stage coagulation* dengan *two stage coagulation* terhadap sisa logam Mn

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa koagulan biji kelor juga dapat menurunkan kadar logam Mn pada sampel air walaupun dengan efisiensi yang tidak terlalu tinggi. Pada proses *one stage coagulation*, penurunan kadar logam Mn berkisar antara 24-57% dan pada proses *two stage coagulation* berkisar antara 25-63%. Penurunan kandungan Mn

pada proses *one stage coagulation* dan *two stage coagulation* tidak terlalu tinggi. Hal ini terjadi sama halnya dengan proses penurunan kandungan logam Fe.

Kadar logam Mn awal yang terdapat pada sampel air sebesar 1,888 mg/L. Penyisihan kadar logam Mn yang paling tinggi pada proses *one stage coagulation* ini berada pada pembubuhan dosis 36 mg/L. Pada pembubuhan dosis 30–36 mg/L terjadi penurunan kadar logam Mn berturut-turut adalah dari 1,888 mg/L menjadi 1,636 mg/L, 1,582 mg/L, 1,364 mg/L, 1,291 mg/L, 1,491 mg/L, 1,455 mg/L dan pada pembubuhan dosis 36 mg/L terjadi penurunan kadar logam Mn yang signifikan, yaitu menjadi 0,045 mg/L dengan tingkat persentase sebesar 49,947%.

Pada dosis 37–40 mg/L tidak terjadi peningkatan persentase penyisihan kadar logam Mn jika dibandingkan dengan dosis koagulan 36 mg/L. Pada pembubuhan dosis 37 mg/L terjadi penurunan kadar logam Mn menjadi 1,455 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 22,934%. Selanjutnya, pada konsentrasi 38 mg/L terjadi penurunan kadar logam Mn menjadi 1,582 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 16,208%, konsentrasi 39 mg/L terjadi penurunan kadar logam Mn menjadi 1,491 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 21,208%, dan pada konsentrasi 40 mg/L terjadi penurunan kadar logam Mn menjadi 1,655 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 12,341%.

Adapun pada proses *two stage coagulation*, penyisihan kadar logam Mn yang paling tinggi juga berada pada pembubuhan dosis 36 mg/L dengan tingkat persentase sebesar 63,15%. Pada pembubuhan dosis 30–35 mg/L terjadi penurunan konsentrasi Mn berturut-turut dari 1,888 mg/L menjadi 1,382 mg/L, 1,261 mg/L, 1,224 mg/L, 1,221 mg/L, 1,251 mg/L dan 1,284 mg/L.

Pada dosis 37–40 mg/L tidak terjadi peningkatan persentase penyisihan kadar logam Mn jika dibandingkan dengan dosis koagulan 36 mg/L. Pada pembubuhan dosis 37 mg/L terjadi penurunan kadar logam Mn menjadi 1,342 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 38,50%. Selanjutnya, pada konsentrasi 38 mg/L terjadi penurunan kadar logam Mn menjadi 1,361 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 37,63%, konsentrasi 39 mg/L terjadi penurunan kadar logam Mn menjadi 1,349 dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 28,18%. Pada konsentrasi 40 mg/L terjadi penurunan kadar logam Mn menjadi 1,402 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 35,75%.

Sama seperti pada proses *one stage coagulation*, penurunan kadar logam Mn tertinggi juga berada pada pembubuhan dosis 36 mg/L, yaitu sebesar 0,804 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 63,15%, sedangkan penurunan kadar logam Mn terendah berada pada pembubuhan dosis 40 mg/L yaitu sebesar 1,402 mg/L dengan tingkat persentase penyisihan sebesar 35,75%. Pada pembubuhan koagulan biji kelor dengan dosis 36 mg/L terjadi penurunan kadar logam Mn dengan maksimal. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2. Efisiensi penyisihan logam Mn pada proses *two stage coagulation* juga lebih besar jika dibandingkan dengan proses *one stage coagulation*. Mekanisme penyisihan kadar logam Mn ini sama dengan mekanisme penyisihan logam Fe sebelumnya, di mana pembubuhan dua kali menghasilkan penyisihan logam Mn yang lebih baik dibandingkan dengan pembubuhan satu kali walaupun dosisnya sama karena pembubuhan dua kali memungkinkan terjadinya kontak yang lebih banyak antara koagulan dengan logam Mn.

#### 4. Kesimpulan

Pertama, dalam hal efektivitas penyisihan Fe dan Mn, penelitian ini menunjukkan bahwa biji kelor efektif sebagai koagulan dalam proses koagulasi untuk menyisihkan kandungan Fe dan Mn dalam air tanah. Efektivitas penyisihan Fe berkisar antara 25-42% pada proses koagulasi satu tahap dan 32-45% pada proses koagulasi dua tahap. Sementara itu, efektivitas penyisihan Mn berkisar antara 24-57% pada proses koagulasi satu tahap dan 25-63% pada proses koagulasi dua tahap. Kedua, dalam hal dosis optimal

koagulan, dosis optimal koagulan biji kelor untuk penyisihan Fe dan Mn ditemukan pada kisaran 35-36 mg/L. Pada dosis ini, terjadi penurunan kandungan Fe dan Mn yang signifikan, yang menunjukkan efisiensi maksimal dari biji kelor sebagai koagulan.

Ketiga, dalam hal perbandingan proses koagulasi satu tahap dan dua tahap, secara umum, proses koagulasi dua tahap menunjukkan efisiensi penyisihan Fe dan Mn yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses koagulasi satu tahap. Hal ini menunjukkan bahwa pembubuhan koagulan dua kali dalam proses koagulasi dua tahap memungkinkan terjadinya kontak yang lebih banyak antara koagulan dengan logam Fe dan Mn sehingga meningkatkan efektivitas penyisihan. Keempat, dalam hal implikasi untuk pengolahan air tanah, hasil penelitian ini memberikan bukti bahwa biji kelor dapat dijadikan alternatif koagulan yang ramah lingkungan dan ekonomis untuk pengolahan air tanah yang terkontaminasi Fe dan Mn. Penggunaan biji kelor sebagai koagulan tidak hanya efektif dalam menyisihkan kandungan logam berat, tetapi juga menawarkan solusi yang berkelanjutan untuk pengolahan air minum.

Meskipun penelitian ini telah menunjukkan potensi biji kelor sebagai koagulan dalam penyisihan Fe dan Mn, disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh parameter lain seperti pH, suhu, dan waktu kontak terhadap efektivitas penyisihan. Selain itu, penelitian lebih lanjut juga diperlukan untuk menguji aplikasi biji kelor dalam skala yang lebih besar dan kondisi lapangan yang beragam. Penelitian ini menegaskan potensi penggunaan bahan alami seperti biji kelor dalam teknologi pengolahan air, yang tidak hanya efektif tetapi juga menawarkan solusi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan dibandingkan dengan koagulan kimia konvensional.

### **Kontribusi Penulis**

Penulis berkontribusi dalam penulisan artikel ini.

### **Pendanaan**

Penelitian ini tidak menggunakan pendanaan eksternal.

### **Pernyataan Dewan Peninjau Etis**

Tidak berlaku.

### **Pernyataan *Informed Consent***

Tidak berlaku.

### **Pernyataan Ketersediaan Data**

Tidak berlaku.

### **Konflik Kepentingan**

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

### **Akses Terbuka**

©2024. Artikel ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution 4.0, yang mengizinkan penggunaan, berbagi, adaptasi, distribusi, dan reproduksi dalam media atau format apa pun. selama Anda memberikan kredit yang sesuai kepada penulis asli dan sumbernya, berikan tautan ke lisensi Creative Commons, dan tunjukkan jika ada perubahan. Gambar atau materi pihak ketiga lainnya dalam artikel ini

termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel tersebut, kecuali dinyatakan lain dalam batas kredit materi tersebut. Jika materi tidak termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel dan tujuan penggunaan Anda tidak diizinkan oleh peraturan perundang-undangan atau melebihi penggunaan yang diizinkan, Anda harus mendapatkan izin langsung dari pemegang hak cipta. Untuk melihat salinan lisensi ini, kunjungi: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Daftar Pustaka

- Chandra. (2006). *Hidrologi Lingkungan*. Andhi.
- Darmono. (1995). *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia (UI-Press).
- Fearing, D.A, Banks, J, Wilson, D., Hillis, P.H., Campbell, A.T., Parsons, S.A. (2004). NOM control option: the next generation. *Water Suply*, 4(4), 139-145. <https://doi.org/10.2166/ws.2004.0071>.
- Fetter, C.W. (1999). *Contaminant Hydrogeology*. Second Edition. Prentice Hall Inc.
- Kawamura, S. (1991). *Design of Basic Treatment Process Units: Coagulation and Chemical Application Considerations*. Integrated Design Of Water Treatment Facilities.
- Liu, T., Cheng, Z-l., Yu, W-z., Shen, J-m., & Gregory, J. (2011). Effect of two-stage coagulant addition on coagulation-ultrafiltration process for treatment of humic-rich water. *Water Research*, 45(11), 4260-4268. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.05.037>.
- Rahman, A. & Hartono, B. (2004). *Penyaringan Air Tanah dengan Zeolit Alami untuk Menurunkan Kadar Besi dan Mangan*. Universitas Indonesia.
- Setiyono, A. (2012). Studi Kadar Mangan (Mn) Pada Air Sumur Gali di Desa Karangnunggal, Kecamatan Karangnunggal, Kabupaten Tasikmalaya. *Jurnal Kesehatan Komunitas Indonesia*, 10(1), 974-981.
- Yuliastri, R.I. (2010). *Penggunaan Serbuk Biji Kelor (Moringa oleifera) sebagai Koagulan dan Flokulan dalam Perbaikan Kualitas Air Limbah dan Air Tanah* [Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah]. Repositori Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/3685/1/INDRA%20RANI%20YULIASTRI-FST.pdf>.

**Biografi Penulis**

**YOGI SAPUTRA**, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas.

- Email: [yogiesapoetra@gmail.com](mailto:yogiesapoetra@gmail.com)
- ORCID: -
- Web of Science ResearcherID: -
- Scopus Author ID: -
- Homepage: -