

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Karakteristik awal sampel limbah cair RPH pada penelitian ini dilakukan dengan menguji parameter *Total Coliform* dan *Escherichia Coli* (E.Coli). Pengamatan fisik limbah cair rumah potong hewan memiliki warna merah tua dan berbau. Limbah cair rumah potong hewan sebelum pengolahan dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Limbah cair RPH sebelum pengolahan

Biji kelor (*Moringa Oleifera*) yang digunakan sebagai koagulan alami masih dalam kondisi utuh dan belum diperlakukan. Pada tahap ini, biji kelor (*Moringa Oleifera*) belum siap digunakan sehingga perlu dilakukan proses persiapan terlebih dahulu. Tahap pembuatan koagulan biji kelor (*Moringa Oleifera*) dapat dilihat pada gambar 4.2 sampai gambar 4.7



Gambar 4.2 Biji Kelor (*Moringa Oleifera*) sebelum di kupas

Setelah dipisahkan dari kulitnya, biji kelor (*Moringa oleifera*) Pada tahap ini sudah siap untuk di keringkan di dalam oven dengan suhu 105⁰C selama 1 jam, dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Biji kelor (*Moringa oleifera*) sebelum diberi perlakuan

Biji kelor kemudian dikeringkan. Proses pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air sehingga biji kelor (*Moringan Oleifera*) lebih mudah diolah pada tahap selanjutnya, dapat di lihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Biji kelor (*Moringa oleifera*) Setelah dikeringkan

Biji kelor yang telah kering selanjutnya dihaluskan dan diayak hingga menjadi serbuk. Serbuk inilah yang digunakan sebagai koagulan alami dalam proses pengolahan limbah cair RPH, dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Hasil Koagulan biji kelor (*Moringa oleifera*) setelah dihaluskan dan diayak

Proses koagulasi–flokulasi dilakukan menggunakan alat flokulator. Pada tahap ini, serbuk biji kelor (*Moringa Oleifera*) ditambahkan ke dalam limbah cair dengan dosis yang telah ditentukan untuk membantu pembentukan flok, dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Proses Koagulasi-Flokulasi Menggunakan Flokulator

Setelah proses pengadukan selesai, sampel limbah cair didiamkan untuk proses pengendapan. Tahap ini bertujuan agar flok yang terbentuk dapat mengendap sebelum dilakukan analisis bakteri, dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Proses Sedimentasi

4.2 Pengukuran Awal Konsentrasi Limbah Cair RPH

Nilai parameter yang terukur dari limbah RPH dibandingkan dengan baku mutu air nasional sebagaimana diatur dalam PP Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI baku mutu air sungai kelas 3. Perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan sehingga tidak mencemari lingkungan. Hasil uji awal karakteristik limbah RPH dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Uji Awal Karakteristik Limbah Cair RPH

No	Parameter	Satuan	Hasil*	Baku Mutu**
1	Total <i>coliform</i>	MPN/100ml	49.300	10.000/100ml
2	<i>Escherichia Coli</i> (E.Coli)	CFU/100 ml	12.733	2.000/100ml
3	Suhu	⁰ C	25	Dev 3
4	pH	-	7,3	6-9

Keterangan:

* Hasil analisis laboratorium Mikrobiologi teknik kimia teknik kimia ITN Malang,2025

** Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI baku mutu air sungai kelas 3

Berdasarkan tabel 4.1 Parameter Total *coliform* dan *Escherichia Coli* (E.Coli) pada limbah cair rumah potong hewan tidak memenuhi baku mutu. Kondisi ini menunjukkan bahwa limbah cair rumah potong hewan berpotensi mencemari lingkungan apabila di buang langsung tanpa pengolahan lebih lanjut, oleh karena itu, diperlukan pengolahan air limbah untuk menurunkan parameter Total *coliform* dan *Escherichia Coli* (E.Coli) yang sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan.

4.3 Analisis Data

Analisis data deskriptif dan statistik dilakukan untuk setiap parameter penelitian dan disajikan sebagai berikut:

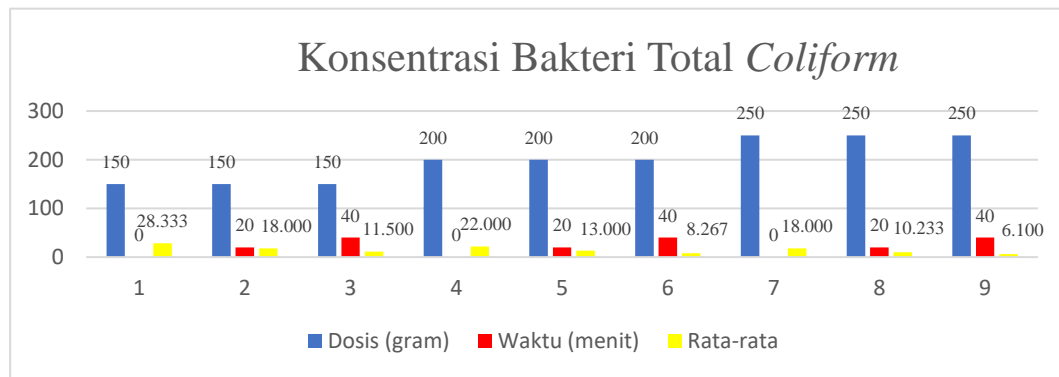
4.3.1 Analisis Deskriptif Total *Coliform*

Hasil analisis Total *Coliform* dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Analisis Total *Coliform*

Dosis koagulan (gram)	Waktu Pengendapan (Menit)	Pengulangan			Rat-Rata (mg/L)
		1	2	3	
	0	28.000	30.000	27.000	28.333

150	20	18.000	17.500	18.500	18.000
	40	11.500	12.000	11.000	11.500
200	0	22.000	21.500	22.500	22.000
	20	13.000	12.500	13.500	13.000
	40	8.500	8.000	8.300	8.267
250	0	18.000	17.500	18.500	18.000
	20	10.500	10.000	10.200	10.233
	40	6.200	6.000	6.100	6.100



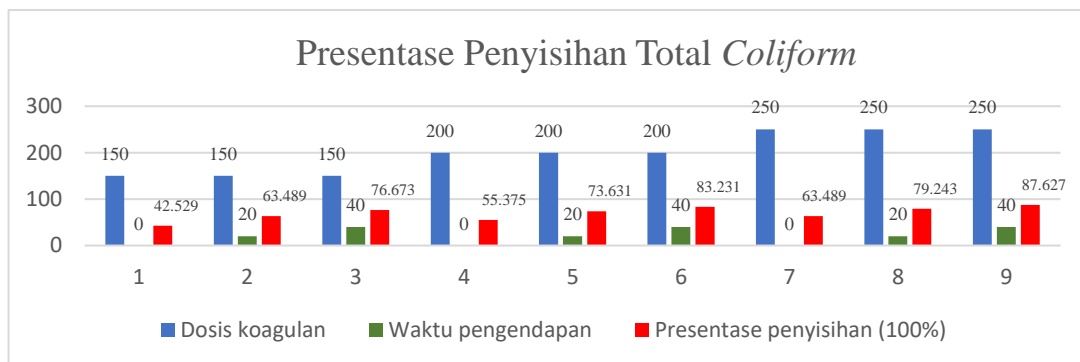
Grafik 4.1 Konsentrasi Bakteri Total *Coliform*

Berdasarkan tabel 4.2, dapat diketahui bahwa hasil dari parameter Total *Coliform* limbah cair rumah potong hewan setelah pengolahan dengan metode koagulasi-flokulasi menggunakan koagulam biji kelor (*Moringa aloeifera*) mengalami penurunan. Hasil analisis Total *Coliform* selama pengujian ketiga perlakuan menunjukkan rata-rata yang berbeda. Setiap perlakuan diuji sebanyak 3 kali pengulangan untuk memastikan keakuratan dan konsistensi data. Pada dosis 150 gram, 200 gram, dan 250 gram, dengan variasi waktu pengendapan 0 menit, 20 menit dan 40 menit. Diperoleh nilai Total *Coliform* terbesar pada dosis 150 gram dengan waktu pengendapan 0 menit sebesar 28.333 MPN/ml, dan mengalami penurunan di dosis 250 gram dengan waktu spengendapan 40 menit sebesar 6.100 MPN/ml. Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa dosis 250 gram dengan waktu pengendapan 40 menit efektif menurunkan bakteri patogen Total *Coliform*

Selanjutnya presentase penyisihan konsentrasi Total *Coliform*, yang bertujuan untuk menunjukkan tingkat efisiensi pada proses pengolahan yang telah dilakuka. Presentase penyisihan Total *Coliform* dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Presentase penyisihan Total *Coliform*

Dosis koagulan (Gram)	Waktu Pengendapan (Menit)	Konsentrasi awal Total <i>Coliform</i>	Konsentrasi Total <i>Coliform</i>	Presentase Penyisihan (100%)
150	0	49.300	28.333	42.529
	20	49.300	18.000	63.489
	40	49.300	11.500	76.673
200	0	49.300	22.000	55.375
	20	49.300	13.000	73.631
	40	49.300	8.267	83.231
250	0	49.300	18.000	63.489
	20	49.300	10.233	79.243
	40	49.300	6.100	87.627



Grafik 4.2 Presentase Penyisihan Total *Coliform*

Berdasarkan tabel 4.3 dan grafik 4.2, presentase penyisihan Total *Coliform* paling tinggi pada dosis 250 gram waktu pengendapan 40 menit, yang mencapai 87.627% dengan konsentarsi Total *Coliform* mencapai 6.100 MPN/ml. Presentase penyisihan terendah pada perlakuan dosis 150 gram dengan waktu pengendapan 0 menit 42.529% dengan konsentarsi sebesar 28.333 MPN/ml. Hal ini menunjukkan

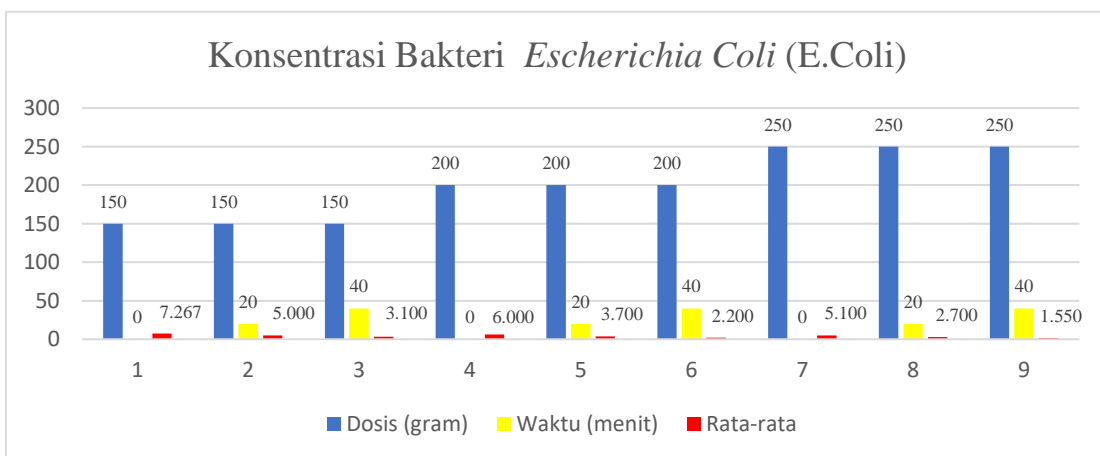
bahwa penggunaan dosis koagulan dan waktu pengendapan sudah efektif untuk menurunkan bakteri patogen Total *Coliform*.

4.3.2 Analisis Deskriptif *Escherichia Coli* (E.Coli)

Hasil analisis *Escherichia Coli* (E.Coli) dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Analisis *Escherichia Coli* (E.Coli)

Dosis koagulan (gram)	Waktu Pengendapan (Menit)	Pengulangan			Rat-Rata (mg/L)
		1	2	3	
150	0	7.500	7.200	7.100	7.267
	20	4.800	5.100	4.900	5.000
	40	3.200	3.000	3.100	3.100
200	0	6.000	5.800	6.200	6.000
	20	3.600	3.800	3.700	3.700
	40	2.300	2.100	2.200	2.200
250	0	5.200	5.000	5.100	5.100
	20	2.800	2.600	2.700	2.700
	40	1.600	1.500	1.550	1.550



Grafik 4.3 Konsentrasi *Escherichia Coli* (E.Coli)

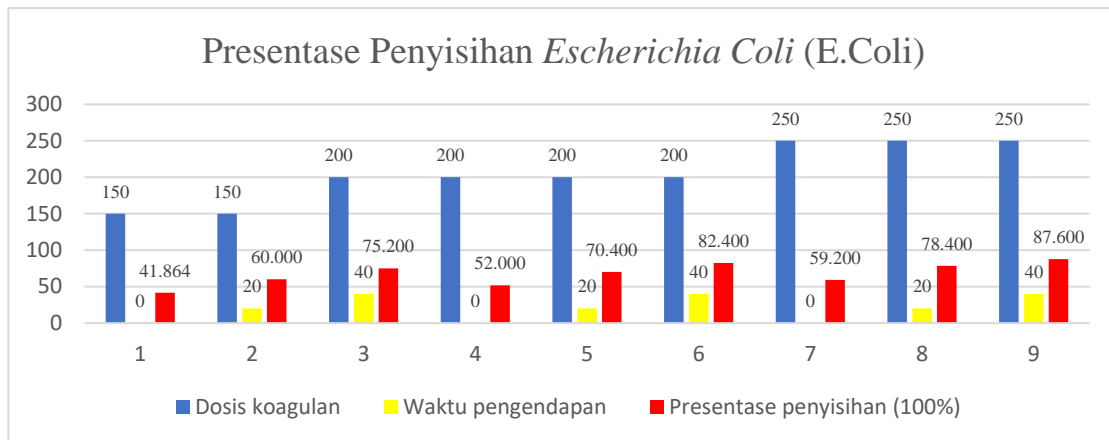
Berdasarkan tabel 4.4, dapat diketahui bahwa hasil dari parameter *Escherichia Coli* (E.Coli) limbah cair rumah potong hewan setelah pengolahan dengan metode

koagulasi-flokulasi menggunakan koagulam biji kelor (*Moringa aloeifera*) mengalami penurunan. Hasil analisis *Escherichia Coli* (E.Coli) selama pengujian ketiga perlakuan menunjukkan rata-rata yang berbeda. Setiap perlakuan diuji sebanyak 3 kali pengulangan untuk memastikan keakurata dan konsistensi data. Pada dosis 150 gram, 200 gram dan 250 gram dengan variasi waktu pengendapan 0 menit, 20 menit, dan 40 menit. Diperoleh nilai *Escherichia Coli* (E.Coli) terbesar pada dosi 150 gram dengan waktu pengendapan 0 menit sebesar 7.267 CFU/ml, dan mengalami penurunan pada dosi 250 gram dengan waktu pengendapan 40 menit sebesar 1.550 CFU/ml. Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa dosis 250 gram dengan waktu pengendapan 40 menit efektif menurunkan bakteri patogen *Escherichia Coli* (E.Coli)

Selanjutnya presentase penyisihan konsentrasi *Escherichia Coli* (E.Coli), yang bertujuan untuk menunjukkan tingkat efisiensi pada proses pengolahan yang telah dilakuka. Presentase penyisihan *Escherichia Coli* (E.Coli) dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Presentase penyisihan *Escherichia Coli* (E.Coli)

Dosis koagulan (Gram)	Waktu Pengendapan (Menit)	Konsentrasi awal Total Coliform	Konsentrasi Total Coliform	Presentase Penyisihan (100%)
150	0	12.500	7.267	41.864
	20	12.500	5.000	60.000
	40	12.500	3.100	75.200
200	0	12.500	6.000	52.000
	20	12.500	3.700	70.400
	40	12.500	2.200	82.400
250	0	12.500	5.100	59.200
	20	12.500	2.700	78.400
	40	12.500	1.550	87.600



Grafik 4.4 Presentase penyisihan *Escherichia Coli* (E.Coli)

Berdasarkan tabel 4.5 dan grafik 4.4, presentase penyisihan *Escherichia Coli* (E.Coli) paling tinggi pada dosis 250 gram waktu pengendapan 40 menit, yang mencapai 87.600% dengan konsentarsi *Escherichia Coli* (E.Coli) mencapai 1.550 CFU/ml. Presentase penyisihan terendah pada perlakuan dosis 150 gram dengan waktu pengendapan 0 menit 41.864% dengan konsentrasi sebesar 7.267 CFU/ml. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan dosis koagulaan dan waktu pengendapan sudah efektif untuk menurunkan bakteri patogen *Escherichia Coli* (E.Coli).

4.4 Analisi Statistik

1. Uji normalitas Total *Coliform*

Kriteria pengambilan keputusan dalam uji normalitas

- a. Sig. > 0,05 → data normal
- b. Sig. ≤ 0,05 → data tidak normal

Hasil analisis uji normalitas Total *Coliform* dapat di lihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Uji Normalitas Total *Coliform*

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for HASIL	.142	27	.174	.904	27	.287

a. Lilliefors Significance Correction

Berdasarkan Tabel 4.6 hasil output menunjukkan nilai sig atau signifikan uji normalitas, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,287 ($> 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal.

2. Uji homogenitas Total *Coliform*

Kriteria pengambilan keputusan dalam uji homogenitas

- a. Sig. $> 0,05$ → varians homogen
- b. Sig. $\leq 0,05$ → varians tidak homogen

Hasil analisis uji normalitas Total *Coliform* dapat di lihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Uji Homogenitas Total *Coliform*

Levene's Test of Equality of Error Variances ^a			
Dependent Variable: Total Coliform			
F	df1	df2	Sig.
2.604	8	18	.437

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + WAKTU + DOSIS + WAKTU * DOSIS

Berdasarkan tabel 4.7, hasil *output* menunjukkan test homogenitas diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,437 ($> 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa varians data total *coliform* adalah homogen.

3. Uji Anova Two Way

Kriteria pengambilan keputusan dalam uji ANOVA:

- a. Nilai Sig. $< 0,05$ maka H0 ditolak dan H1 diterima, yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan dalam analisis yang dilakukan.

- b. Nilai Sig. > 0,05 maka H0 diterima dan H1 ditolak, yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan dalam analisis yang dilakukan. Hasil uji ANOVA dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Uji ANOVA Total *Coliform*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Total Coliform

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1224.827 ^a	8	153.103	370.412	.000
Intercept	6114.063	1	6114.063	14792.087	.000
WAKTU	924.654	2	462.327	1118.533	.000
DOSIS	281.414	2	140.707	340.420	.000
WAKTU * DOSIS	18.759	4	4.690	11.346	.000
Error	7.440	18	.413		
Total	7346.330	27			
Corrected Total	1232.267	26			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .991)

- a. Waktu: Nilai Sig. sebesar 0.000, nilai tersebut lebih kecil dari 0,05 ($0,000 < 0,05$) maka bisa disimpulkan bahwa ada perbedaan secara signifikan antara waktu dan hasil analisis Total *Coliform*
- b. Dosis: Nilai Sig. sebesar 0.000, nilai tersebut lebih kecil dari 0,05 ($0,000 < 0,05$) maka bisa disimpulkan bahwa ada perbedaan secara signifikan antara Dosis dan hasil analisis Total *Coliform*
- c. Interaksi Waktu Dosis: Nilai Sig. sebesar 0.000, nilai tersebut lebih kecil dari 0,05 ($0,000 < 0,05$) maka bisa disimpulkan bahwa ada interaksi antara waktu dan dosis terhadap penurunan hasil analisis Total *Coliform*.

1. Uji Tukey

Sig. < 0,05 → berbeda signifikan

Sig. > 0,05 → tidak signifikan

Tabel 4.9 Hasil Uji Tukey Total *Coliform*

Multiple Comparisons

Dependent Variable: TOTAL COLIFROM

Tukey HSD

(I) DOSIS	(J) DOSIS	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
150	200	4.8556*	.30307	.000	4.0821	5.6290
	250	7.8333*	.30307	.000	7.0598	8.6068
200	150	-4.8556*	.30307	.000	-5.6290	-4.0821
	250	2.9778*	.30307	.000	2.2043	3.7513
250	150	-7.8333*	.30307	.000	-8.6068	-7.0598
	200	-2.9778*	.30307	.000	-3.7513	-2.2043

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .413.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dosis 150 vs 200

- Selisih mean = 4,8556
- $p = 0.000 < 0.05$
- Confidence Interval (CI) (4,0821 – 5,6290) tidak melewati nol
Signifikan
Rata-rata Total *Colifrom* pada dosis 150 lebih tinggi dibanding dosis 200.

b. Dosis 150 vs 250

- Selisih mean = 7,8333
- $p = 0.000$
- Confidence Interval (CI) (7,0598 – 8,6068)
Signifikan
Dosis 150 jauh lebih tinggi dibanding 250.

c. Dosis 200 vs 250

- Selisih mean = 2,9778
- $p = 0.000$

- Confidence Interval (CI) (2,2043 – 3,7513)

Signifikan

Dosis 200 lebih tinggi dibanding 250.

d. Pola Hubungan Dosis terhadap Total *Coliform*

Urutan rata-rata Total *Coliform*:

$$150 > 200 > 250$$

Artinya:

- Semakin tinggi dosis, jumlah Total *Coliform* semakin menurun
- Dosis memiliki efek penghambatan yang nyata

e. Kesimpulan Statistik

Karena semua nilai Sig < 0,05, maka:

Terdapat perbedaan yang signifikan pada jumlah Total *Coliform* antara semua tingkat dosis. Peningkatan dosis secara konsisten menurunkan jumlah bakteri Total *Coliform*.

4. PARAMETER *Escherichia Coli* (E.Coli)

1. Uji normalitas

Kriteria pengambilan keputusan dalam uji normalitas

- Sig. > 0,05 → data normal
- Sig. ≤ 0,05 → data tidak normal

Hasil analisis uji normalitas *Escherichia Coli* (E.Coli) dapat di lihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.10 Hasil Uji Normalitas *Escherichia Coli* (E.Coli)

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for HASIL	.167	27	.052	.962	27	.405

a. Lilliefors Significance Correction

Berdasarkan Tabel 4.8, hasil *output* menunjukkan hasil uji normalitas, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,405 ($> 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal.

2. Uji homogenitas

Kriteria pengambilan keputusan dalam uji Homogenitas

- a. Sig. $> 0,05$ → varians homogen
- b. Sig. $\leq 0,05$ → varians tidak homogen

Tabel 4.11 Hasil Uji Homogenitas

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: E-Coli

F	df1	df2	Sig.
.976	8	18	.485

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + WAKTU + DOSIS + WAKTU * DOSIS

Berdasarkan tabel 4.9, hasil *output* menunjukkan test homogenitas diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,485 ($> 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa varians data E-COLI adalah homogen

3. Uji Anova Two Way

Kriteria pengambilan keputusan dalam uji ANOVA:

- a. Nilai Sig. $< 0,05$ maka H0 ditolak dan H1 diterima, yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan dalam analisis yang dilakukan.
- b. Nilai Sig. $> 0,05$ maka H0 diterima dan H1 ditolak, yang berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan dalam analisis yang dilakukan.

Hasil uji ANOVA dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.12 Hasil Uji ANOVA *Escherichia Coli* (E.Coli)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: E-Coli

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	85.653 ^a	8	10.707	605.403	.000
Intercept	445.301	1	445.301	25179.314	.000
WAKTU	67.401	2	33.700	1905.565	.000
DOSIS	17.822	2	8.911	503.859	.000
WAKTU * DOSIS	.431	4	.108	6.094	.003
Error	.318	18	.018		
Total	531.273	27			
Corrected Total	85.972	26			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .995)

- a. Waktu: Nilai Sig. sebesar 0.000, nilai tersebut lebih kecil dari 0,05 ($0,000 < 0,05$) maka bisa disimpulkan bahwa ada perbedaan secara signifikan antara waktu dan hasil analisis *Escherichia Coli* (E.Coli)
- b. Dosis: Nilai Sig. sebesar 0.000, nilai tersebut lebih kecil dari 0,05 ($0,000 < 0,05$) maka bisa disimpulkan bahwa ada perbedaan secara signifikan antara Dosis dan hasil analisis *Escherichia Coli* (E.Coli)
- c. Interaksi Waktu Dosis: Nilai Sig. sebesar 0.000, nilai tersebut lebih kecil dari 0,05 ($0,0003 < 0,05$) maka bisa disimpulkan bahwa ada interaksi antara waktu dan dosis terhadap penurunan hasil analisis *Escherichia Coli* (E.Coli)

1. Uji Tukey

Sig. < 0,05 → berbeda signifikan

Sig. > 0,05 → tidak signifikan

4.13 Hasil Uji Tukey *Escherichia Coli* (E.Coli)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: E-COLI

Tukey HSD

(I) DOSIS	(J) DOSIS	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
150	200	1.1333 [*]	.06269	.000	.9733	1.2933
	250	1.9833 [*]	.06269	.000	1.8233	2.1433
200	150	-1.1333 [*]	.06269	.000	-1.2933	-.9733
	250	.8500 [*]	.06269	.000	.6900	1.0100
250	150	-1.9833 [*]	.06269	.000	-2.1433	-1.8233
	200	-.8500 [*]	.06269	.000	-1.0100	-.6900

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .018.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dosis 150 vs 200

- Selisih mean = 1.1333
- $p = 0.000 < 0.05$
- Confidence Interval (CI) (0.9733 – 1.2933) tidak melewati nol
Signifikan

Rata-rata *Escherichia Coli* (E.Coli) pada dosis 150 lebih tinggi dibanding dosis 200.

b. Dosis 150 vs 250

- Selisih mean = 1.9833
- $p = 0.000$
- Confidence Interval (CI) (1.8233 – 2.1433)
Signifikan

Dosis 150 jauh lebih tinggi dibanding 250.

c. Dosis 200 vs 250

- Selisih mean = 0.8500
- $p = 0.000$

- Confidence Interval (CI) (0.6900 – 1.0100)
Signifikan
Dosis 200 lebih tinggi dibanding 250.
- d. Pola Hubungan Dosis terhadap *Escherichia Coli* (E.Coli)
Urutan rata-rata *Escherichia Coli* (E.Coli) :
 $150 > 200 > 250$
Artinya:
- Semakin tinggi dosis, jumlah *Escherichia Coli* (E.Coli) semakin menurun
 - Dosis memiliki efek penghambatan yang nyata
- e. Kesimpulan Statistik
Karena semua nilai Sig < 0,05, maka:
Terdapat perbedaan yang signifikan pada jumlah *Escherichia Coli* (E.Coli) antara semua tingkat dosis. Peningkatan dosis secara konsisten menurunkan jumlah bakteri *Escherichia Coli* (E.Coli) .

4.5 Pembahasan

4.5.1 Pengaruh Dosis dan waktu pengendapan terhadap Bakteri Total *Coliform*

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa peningkatan dosis koagulan biji kelor (*Moringa oleifera*) dan lamanya waktu pengendapan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan jumlah bakteri Total *Coliform* pada limbah cair RPH. Nilai Total *Coliform* tertinggi diperoleh pada perlakuan dosis 150 mg/L dengan waktu pengendapan 0 menit sebesar 28.333 MPN/ml, sedangkan nilai terendah diperoleh pada dosis 250 mg/L dengan waktu pengendapan 40 menit sebesar 6.100 MPN /ml.

Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin besar dosis koagulan yang diberikan, semakin tinggi pula kemampuan koagulan dalam mengikat partikel pencemar dan mikroorganisme. Hal ini dapat dijelaskan oleh sifat protein kationik dalam biji (*Moringa oleifera*) yang memiliki titik isoelektrik tinggi dan bermuatan positif, sehingga dapat berinteraksi elektrostatis dengan partikel

bermuatan negatif serta permukaan sel bakteri, mendukung pembentukan flok yang lebih besar dan penghilangan mikroba melalui adsorpsi dan destabilisasi koloid (Liew., *et.,al* 2022)

Selain itu, waktu pengendapan berperan penting dalam proses pengendapan flok. Semakin lama waktu pengendapan, semakin besar peluang flok untuk mengendap secara sempurna sehingga jumlah bakteri dalam fase cair semakin berkurang. Hal ini sesuai dengan penelitian Saputra *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa waktu sedimentasi 30–60 menit memberikan hasil optimal dalam penurunan bakteri pada limbah cair rumah potong hewan.

Penurunan Total *Coliform* juga dipengaruhi oleh kemampuan senyawa bioaktif dalam biji kelor (*Moringa Oleifera*) seperti tanin dan senyawa fenolik yang bersifat antimikroba. Senyawa ini bekerja dengan cara merusak struktur dinding sel bakteri, menghambat aktivitas enzim, serta mengganggu proses metabolisme sel sehingga bakteri kehilangan kemampuan untuk berkembang biak (Syamsuddin *et al.*, 2019)

Penurunan kadar bakteri Total *Coliform* terjadi akibat proses pengikatan muatan negatif dalam limbah cair oleh ion – ion positif yang terdapat dalam koagulan biji kelor (*moringa oelifera*). Reaksi ini menimbulkan gaya tarik menarik antara koagulan dan partikel koloid dalam limbah cair rumah potong hewan, sehingga terbentuk flok – flok berukuran lebih besar. Selain itu, penurunan kandungan bakteri Total *Coliform* juga dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan koagulan, yang meningkatkan peluang antar partikel untuk bereaksi dan mengikat bahan organik dalam limbah. Partikel – partikel tersebut kemudian saling bertabrakan, tetap menyatu, dan akhirnya mengendap sebagai endapan (Setyawati *et al.*, 2017).

Penurunan bakteri Total *Coliform* dapat terjadi karena partikel halus dan koloid yang stabil dalam air mengalami destabilisasi muatan permukaannya dengan bantuan zat koagulan. Proses ini menyebabkan partikel-partikel tersebut saling tarik menarik dan membentuk flok dalam tahap koagulasi - flokulasi.

Flok yang terbentuk dari proses koagulasi kemudian dapat dipisahkan dari air limbah melalui tahap sedimentasi atau pengendapan (Lafiyah, 2017).

Dosis yang paling optimum dalam menurunkan kadar bakteri Total *Coliform* yaitu dosis 250 gram, yang mampu menurunkan kadar bakteri total *coliform* dari 49.300 MPN/ml menjadi 6.100 MPN/ml dengan persentase penyisihan 87,627 %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak dosis koagulan yang ditambahkan dalam air sampel, maka semakin menurunkan kadar bakteri total *coliform* (Fitriyah, et al 2022).

Dosis koagulan berperan penting dalam menentukan efektivitas penurunan kadar bakteri Total *Coliform*, sehingga diperlukan dosis optimum. Pada konsentrasi optimum, koloid telah dinetralkan dan mengendap, sehingga kelebihan koagulan dapat menyebabkan koagulan berikatan dengan partikel-partikel yang tidak diperlukan, sehingga air limbah kembali menjadi keruh (Dwidewitra et al., 2024)

Waktu pengendapan juga berpengaruh terhadap penurunan bakteri Total *Coliform* karena kelompok bakteri ini umumnya berasosiasi dengan bahan organik dan padatan tersuspensi dalam limbah cair. Pada waktu pengendapan 0 menit, proses pemisahan antara flok dan air belum terjadi, sehingga Total *Coliform* masih terdistribusi di dalam fase cair. Seiring bertambahnya waktu pengendapan menjadi 20 menit, flok yang terbentuk mulai mengalami pengendapan parsial, menyebabkan penurunan jumlah Total *Coliform*. Pada waktu pengendapan 40 menit, proses sedimentasi berlangsung lebih sempurna, sehingga bakteri Total *Coliform* yang terikat pada flok dan partikel organik dapat mengendap secara lebih efektif. Hal ini sejalan dengan penelitian Oliver et al. (2017) yang menyatakan bahwa bakteri indikator fekal, termasuk Total *Coliform*, banyak terakumulasi pada sedimen dan partikel tersuspensi, sehingga waktu pengendapan yang lebih lama akan meningkatkan efisiensi penyisihan bakteri melalui mekanisme pengendapan.

Berdasarkan hasil penelitian, parameter Total *Coliform* sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No. 22

tahun 2021, Lampiran VI untuk standar kualitas air sungai kelas 3, , diperuntukkan untuk kegiatan pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, dan irigasi pertanian.

4.6 Pengaruh Dosis dan waktu pengendapan terhadap Bakteri *Escherichia Coli* (E-Coli)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah *Escherichia Coli* (E.Coli) mengalami penurunan yang signifikan seiring dengan peningkatan dosis biji kelor dan lamanya waktu pengendapan. Nilai *Escherichia Coli* (E-Coli) tertinggi terdapat pada dosis 150 mg/L dengan waktu pengendapan 0 menit sebesar 7.267 CFU/ml, sedangkan nilai terendah diperoleh pada dosis 250 mg/L dengan waktu pengendapan 40 menit sebesar 1.550 CFU/ml. Pola ini menunjukkan bahwa kombinasi antara dosis koagulan yang lebih tinggi dan waktu sedimentasi yang lebih lama berperan penting dalam meningkatkan efektivitas proses penurunan bakteri. Semakin lama waktu pengendapan, semakin besar peluang terbentuknya flok yang stabil dan mengendap, sehingga bakteri yang terikat pada partikel organik dapat tersisihkan dari fase air. Hal ini sejalan dengan pendapat Droppo et al. (2019) yang menyatakan bahwa bakteri indikator fekal cenderung berasosiasi dengan partikel tersuspensi dan akan ikut terendapkan selama proses sedimentasi.

Penurunan jumlah *Escherichia Coli* (E-Coli) ini disebabkan oleh adanya senyawa protein kationik dalam biji kelor yang berperan sebagai antibakteri alami sekaligus agen koagulasi. Protein kationik tersebut memiliki muatan positif yang mampu berinteraksi secara elektrostatis dengan dinding sel bakteri yang bermuatan negatif. Interaksi ini menyebabkan ketidakstabilan membran sel, meningkatkan permeabilitas, dan memicu kebocoran komponen intraseluler, yang pada akhirnya mengakibatkan kematian sel bakteri (Ndabigengesere et al., 2021). Selain itu, protein kationik biji kelor juga berperan dalam proses koagulasi-flokulasi dengan mengikat bakteri dan partikel organik

menjadi flok yang lebih besar, sehingga mudah mengendap selama waktu sedimentasi (Narasiah et al., 2020).

Selain protein kationik, biji kelor (*Moringa Oleifera*) juga mengandung senyawa fenolik dan flavonoid yang memiliki aktivitas antibakteri yang kuat. Senyawa fenolik diketahui mampu merusak struktur dinding sel bakteri melalui mekanisme oksidatif, sedangkan flavonoid dapat menghambat sintesis protein dan mengganggu sistem enzimatis sel mikroba. Kombinasi mekanisme tersebut menyebabkan terganggunya metabolisme bakteri sehingga menghambat pertumbuhan dan kelangsungan hidup *Escherichia Coli* (E-Coli). Hal ini sejalan dengan penelitian Syamsuddin et al. (2019) yang menyatakan bahwa ekstrak biji kelor mampu menurunkan jumlah *Escherichia Coli* (E-Coli) secara signifikan melalui mekanisme antibakteri alami yang bekerja secara sinergis.

Penggunaan serbuk biji kelor dengan dosis 200–250 mg/L mampu menurunkan jumlah *Escherichia Coli* (E-Coli) secara signifikan pada limbah rumah potong ayam, dengan efisiensi penurunan mencapai lebih dari 80% (Saputra et.,al 2020). Biji kelor (*Moringa Oleifera*) efektif dalam menurunkan bakteri indikator fekal pada air limbah karena memiliki kemampuan ganda, yaitu sebagai koagulan alami dan sebagai agen antibakteri. Konsistensi hasil ini menunjukkan bahwa biji kelor (*Moringa Oleifera*) berpotensi besar digunakan sebagai alternatif koagulan alami yang ramah lingkungan dalam pengolahan limbah cair, khususnya untuk menurunkan parameter mikrobiologis seperti *Escherichia coli*. (Ali, 2021)

Waktu pengendapan merupakan faktor penting dalam proses koagulasi-flokulasi karena menentukan lamanya kontak antara flok yang terbentuk dengan media air, sehingga memengaruhi efektivitas penyisihan bakteri *Escherichia Coli* (E.Coli) . Pada waktu pengendapan 0 menit, flok yang terbentuk belum memiliki kesempatan untuk mengendap secara optimal, sehingga bakteri yang terikat pada partikel tersuspensi masih banyak berada dalam fase air. Peningkatan waktu pengendapan menjadi 20 menit memberikan kesempatan bagi flok yang mengandung bakteri untuk mulai mengendap, sehingga jumlah *Escherichia Coli*

(E.Coli) mengalami penurunan. Penurunan yang lebih signifikan terjadi pada waktu pengendapan 40 menit karena flok yang terbentuk semakin stabil dan berat, sehingga bakteri *Escherichia Coli* (E.Coli) yang berasosiasi dengan partikel organik dapat tersisihkan secara maksimal. Menurut Droppo (2019), bakteri indikator fekal seperti *Escherichia Coli* (E.Coli) cenderung melekat pada partikel tersuspensi dan akan ikut mengendap seiring bertambahnya waktu sedimentasi, sehingga waktu pengendapan yang lebih lama berkontribusi langsung terhadap penurunan konsentrasi bakteri dalam air limbah.

Berdasarkan hasil penelitian, parameter *Escherichia Coli* (E.Coli) sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021, Lampiran VI untuk standar kualitas air sungai kelas 3, diperuntukkan untuk kegiatan pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, dan irigasi pertanian.

4.7 Hubungan Dosis dan Waktu terhadap Efektivitas Proses Koagulasi-Flokulasi

Hasil uji statistik ANOVA *Two way* menunjukkan bahwa dosis koagulan dan waktu pengendapan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan total *coliform* dan *Escherichia Coli* (E-Coli) ($p < 0,05$). Hal ini membuktikan bahwa kedua variabel tersebut saling berinteraksi dalam menentukan efektivitas proses koagulasi-flokulasi.

Secara teoritis, semakin tinggi dosis koagulan, semakin banyak muatan positif yang tersedia untuk menetralkan partikel bermuatan negatif. Namun, efektivitas koagulasi juga sangat dipengaruhi oleh waktu pengendapan, karena proses pembentukan flok membutuhkan waktu agar partikel dapat saling bertumbukan dan membentuk agregat yang lebih besar (Kusniawati et al., 2023). Hasil penelitian ini sejalan dengan pernyataan Rachmania (2020) yang menyebutkan bahwa keberhasilan koagulasi tidak hanya ditentukan oleh jenis koagulan, tetapi juga oleh waktu kontak dan kondisi pengadukan yang optimal.

Penambahan dosis koagulan biji kelor (*Moringa oleifera*) terbukti meningkatkan efektivitas proses koagulasi dalam menurunkan jumlah bakteri

Escherichia Coli (E-Coli). Pada dosis 150 gram dengan waktu pengendapan 40 menit, jumlah *Escherichia Coli* (E-Coli) mengalami penurunan dari 12.733 CFU/ml menjadi 3.100 CFU/ml. Selanjutnya, peningkatan dosis menjadi 200 gram pada waktu pengendapan yang sama menghasilkan penurunan lebih lanjut hingga 2.200 CFU/ml. Penurunan paling besar terjadi pada dosis 250 gram dengan waktu pengendapan 40 menit, yaitu mencapai 1.550 CFU/ml.

Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis koagulan yang digunakan, semakin besar kemampuan koagulan dalam menurunkan jumlah bakteri. Hasil tersebut menunjukan bahwa koagulan biji kelor (*moringa Oleifera*) memiliki kemampuan untuk parameter mikroorganismenya, sehingga membentuk flok yang kemudian mengendap dan mengurangi tingkat pencemaran. Pembentukan flok dari koagulan biji kelor berperan penting dalam menurunkan bakteri *escherichia coli* (E.Coli), karena flok tersebut mengikat bakteri mikroorganismenya seperti *escherichia coli* (E.Coli). Parameter mikroorganismenya merupakan penyebab pencemaran pada limbah cair rumah potong hewan. Ketika flok mengendap, partikel-partikel ini terpisah dari air, sehingga menurunkan kadar bakteri *escherichia coli* (E.Coli) .

Parameter mikroorganismenya dalam limbah cair rumah potong hewan mengandung bakteri *fecal* yang menyumbang terhadap kandungan bakteri *escherichia coli* (E.Coli) . Ketika partikel-partikel ini diikat dan diendapkan melalui proses koagulasi-flokulasi, kandungan bakteri *fecal* dalam air menurun, sehingga kandungan bakteri *escherichia coli* (E.Coli) juga ikut turun (Rafi dan Mirwan, 2025). Bakteri *fecal* merupakan kelompok mikroorganismenya yang berasal dari saluran pencernaan manusia dan hewan berdarah panas, yang umumnya dikeluarkan melalui feses. Bakteri fekal dijadikan sebagai indikator pencemar lingkungan karena keberadaannya berkorelasi dengan kemungkinan ditemukannya patogen enterik, yaitu mikroorganismenya penyebab penyakit pada saluran pencernaan, seperti diare dan infeksi usus (Droppo, 2019).

Efektivitas biji kelor (*Moringa Oelifera*) dalam menurunkan *Escherichia Coli* (E-Coli) juga berkaitan dengan mekanisme netralisasi muatan

dan adsorpsi biologis. Protein kationik dalam biji kelor (*Moringa Oelifera*) memiliki muatan positif yang mampu berinteraksi dengan dinding sel bakteri yang bermuatan negatif, sehingga menyebabkan pengendapan mikroorganisme (Ndabigengesere dan Narasiah, 2021). waktu kontak yang cukup memungkinkan terjadinya adsorpsi mikroorganisme pada permukaan flok secara maksimal, sehingga bakteri dapat terperangkap dan terendapkan bersama padatan lainnya. (Ali., 2021)

Dosis biji kelor (*Moringa Oelifera*) yang paling optimum dalam menurunkan kadar bakteri *escherichia coli* (E.Coli) pada penelitian ini adalah sebesar 250 gram. Pada dosis tersebut, konsentrasi bakteri Total *Coliform* berhasil diturunkan dari 12.733 CFU/mL menjadi 1.550 CFU/mL, dengan persentase penyisihan mencapai 87,600%. Tingginya efisiensi penurunan ini menunjukkan bahwa peningkatan dosis koagulan berpengaruh signifikan terhadap kemampuan pengikatan dan pengendapan bakteri dalam limbah cair. Semakin besar dosis biji kelor (*Moringa Oelifera*) yang digunakan, semakin banyak pula senyawa aktif yang tersedia untuk berinteraksi dengan partikel tersuspensi dan mikroorganisme, sehingga proses koagulasi–flokulasi berlangsung lebih efektif. peningkatan dosis biji kelor (*Moringa Oelifera*) secara signifikan meningkatkan efisiensi penurunan bakteri indikator, termasuk *Escherichia Coli* (E-Coli) karena meningkatnya intensitas interaksi antara koagulan dan mikroorganisme dalam air limbah (Mangale., *et al* 2021)

Efektivitas proses koagulasi-flokulasi tidak hanya ditentukan oleh dosis koagulan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh waktu pengendapan yang diberikan. Pada waktu pengendapan 0 menit, meskipun koagulan telah ditambahkan, flok yang terbentuk belum sempat mengendap sehingga efektivitas penyisihan bakteri masih rendah. Pemberian waktu pengendapan 20 menit memungkinkan terjadinya pertumbuhan dan penggabungan flok (flokulasi), sehingga partikel dan bakteri yang terikat mulai terpisah dari fase air. Efektivitas tertinggi dicapai pada waktu pengendapan 40 menit karena flok telah mencapai ukuran dan massa yang cukup untuk mengendap secara optimal. Menurut Eddy

(2024), waktu sedimentasi yang memadai sangat diperlukan dalam proses koagulasi-flokulasi untuk memastikan partikel tersuspensi dan mikroorganisme yang terikat dapat tersisihkan secara maksimal, sehingga kombinasi antara dosis koagulan yang tepat dan waktu pengendapan yang cukup akan menghasilkan efisiensi pengolahan yang optimal.

4.8 Efektivitas Biji Kelor (*Moringa Oelifera*) Sebagai Koagulan Alami

Biji kelor terbukti efektif sebagai koagulan alami karena mengandung protein larut air dengan muatan positif, tanin, dan senyawa fenolik yang berperan dalam proses koagulasi dan inaktivasi mikroorganisme. Keunggulan biji kelor (*Moringa Oelifera*) dibandingkan koagulan kimia terletak pada sifatnya yang biodegradable, tidak beracun, mudah diperoleh, serta ramah lingkungan.

Penggunaan biji kelor (*Moringa Oelifera*) juga mendukung konsep pengolahan limbah berkelanjutan karena tidak menghasilkan residu berbahaya seperti koagulan kimia. Selain itu, biji kelor (*Moringa Oelifera*) dapat diperoleh dengan biaya rendah dan mudah diaplikasikan di skala kecil maupun menengah, sehingga sangat potensial diterapkan pada pengolahan limbah RPH di Indonesia (Putra *et al.*, 2019).

4.9 Hubungan Koagulan sebagai desinfektan Dibandingkan Efektivitas Pengendapan

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa efektivitas koagulan alami tidak hanya ditentukan oleh kemampuan membentuk flok dan mengendapkannya, tetapi juga oleh interaksi langsung antara senyawa aktif koagulan dengan sel bakteri. Ali *et.,al.* (2020) mengatakan bahwa penggunaan biji *Moringa oleifera* menghasilkan penurunan jumlah *Escherichia Coli* (E-Coli) dan Total *Coliform* bahkan pada kondisi kekeruhan yang relatif rendah, yang mengindikasikan adanya mekanisme selain pengendapan semata.

Ndabigengesere *et.,al.* (2020) menyatakan bahwa bakteri yang tidak sepenuhnya terikat dalam flok masih dapat mengalami inaktivasi akibat kontak

dengan protein kationik biji kelor (*Moringa Oelifera*) selama waktu pengendapan. Temuan ini menunjukkan bahwa lama waktu kontak antara koagulan dan bakteri menjadi faktor penting dalam mendukung fungsi desinfeksi, selain proses pemisahan fisik.

Dalam studi lain, Lea (2014) menekankan bahwa efektivitas penurunan bakteri oleh biji kelor (*Moringa Oelifera*) meningkat seiring bertambahnya waktu kontak, yang memungkinkan senyawa antimikroba bekerja lebih optimal. Hal ini memperkuat pandangan bahwa peran koagulan alami sebagai desinfektan tidak dapat dilepaskan dari dinamika waktu pengendapan, dan tidak semata-mata bergantung pada besarnya flok yang terbentuk.

Dengan demikian, hubungan antara koagulan dan desinfektan dalam penggunaan biji kelor (*Moringa Oelifera*) dapat dipahami sebagai kombinasi antara mekanisme fisik melalui pengendapan dan mekanisme biologis melalui inaktivasi bakteri. Kedua proses tersebut dinyatakan saling melengkapi dalam menurunkan bakteri indikator pencemaran fekal pada air limbah.