

**KOAGULASI LIMBAH SINTETIK  
ZAT WARNA TUNGKAL DAN BINER  
DENGAN EKSTRAK KASAR BIJI *Moringa oleifera***

**Laporan Penelitian**

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar  
sarjana di bidang Ilmu Teknik Kimia

Oleh:

**Yovita Nathania Mueta**

(6141901046)

Dosen Pembimbing:

**Hans Kristianto, S.T., M.T.**

**Susiana Prasetyo S., S.T., M.T.**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG**

**2022**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**Nama** : Yovita Nathania Mueta  
**NPM** : 6141901046  
**Judul** : Koagulasi Limbah Sintetik Zat Warna Tunggal dan Biner dengan Ekstrak Kasar Biji *Moringa oleifera*

**CATATAN :**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Telah diperiksa dan disetujui,  
Bandung, 24 Januari 2023

Pembimbing 1

Hans Kristianto, S.T., M.T.

Pembimbing 2

Susiana Prasetyo S., S.T., M.T.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

LEMBAR REVISI

**Nama** : Yovita Nathania Mueta  
**NPM** : 6141901046  
**Judul** : Koagulasi Limbah Sintetik Zat Warna Tunggal dan Biner dengan Ekstrak Kasar Biji *Moringa oleifera*

**CATATAN :**

1. Pembahasan mengenai mengapa tidak menggunakan panjang gelombang maksimum gabungan
2. Pembahasan mengenai volume *sludge* VS jumlah atau massa *sludge* terhadap dosis koagulan
3. Peran dan mekanisme yang terjadi akibat adanya globulin dan albumin saat koagulasi
4. Perubahan struktur molekul protein, *congo* merah dan *tartrazine* saat terjadi perubahan pH (semakin basa) terhadap kondisi koagulasi
5. Dampak positif dari ketidakstabilan *congo* merah pada pH asam saat kondisi tunggal
6. Penjelasan teoritis yang menjelaskan berat molekul mempengaruhi perbedaan persen *removal* pada *tartrazine* dan *congo* merah saat kondisi biner
7. Penyebab tingginya volume *sludge* pada persen *removal* yang lebih rendah pada variasi dosis koagulan dan hubungannya dengan ukuran flok yang terbentuk.

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 9 Februari 2023

Penguji 1

Ariestya Arlene Arbita, S.T., M.T., Ph.D.

Penguji 2

Kevin Cleary Wanta, S.T, M.Eng.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yovita Nathania Mueta

NPM : 6141901046

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

**Koagulasi Limbah Sintetik Zat Warna Tunggal dan Biner  
dengan Ekstrak Kasar Biji *Moringa oleifera***

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 31 Januari 2023

Yovita Nathania Mueta

(6141901046)

## INTISARI

Limbah cair industri mengandung zat warna kompleks yang berbahaya bagi lingkungan dan manusia jika tidak diolah terlebih dahulu. Koagulasi dan flokulasi merupakan salah satu metode terbaik pengolahan limbah cair industri. Penggunaan koagulan inorganik yang umum dilakukan memberikan efisiensi pengolahan limbah zat warna yang baik untuk zat warna tunggal ataupun campuran biner; namun bersifat tidak ramah lingkungan karena dapat menghasilkan volume *sludge* yang tinggi, tidak mudah diurai oleh mikroorganisme, serta harganya kurang ekonomis. Penggunaan koagulan alami di dalam pengolahan limbah zat warna menjadi salah satu alternatif; selain harganya yang ekonomis juga meminimisasi volume *sludge* yang dihasilkan dan lebih mudah terurai oleh mikroorganisme. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan; biji *Moringa oleifera* dapat digunakan sebagai bahan aktif koagulan alami. Namun pemanfaatannya masih terbatas pada zat warna tunggal sehingga pada penelitian ini akan diaplikasikan untuk zat warna biner.

Biji *Moringa oleifera* diekstraksi menggunakan pelarut NaCl 1 M dengan rasio sebesar 1 : 20 (b/v) sehingga didapatkan ekstrak kasar yang digunakan sebagai bahan aktif koagulan. Ekstrak kasar yang diperoleh dianalisa konsentrasi proteinnya menggunakan metode *Bradford*. Koagulasi dilakukan untuk mengamati pengaruh beberapa faktor koagulasi; mencakup variasi pH pada 3 – 8, dosis koagulan sebesar 800 – 1800 mg eq BSA/L serta konsentrasi awal zat warna tunggal dan biner sebesar 50 – 100 mg/L. Zat warna biner yang digunakan adalah *congo* merah dan *tartrazine* dengan rasio 1 : 1. Respon yang diamati berupa persen *removal* zat warna hasil koagulasi menggunakan metode spektrofotometri UV/Vis dan volume *sludge* endapan hasil koagulasi menggunakan metode *imhoff cone*. Profil persen *removal* zat warna dan volume *sludge* yang diperoleh; digunakan untuk menentukan kondisi terbaik koagulasi zat warna tunggal dan biner menggunakan koagulan alami ekstrak kasar biji *Moringa oleifera*.

Koagulasi terbaik zat warna biner dicapai pada pH 3, karena pada kondisi ini zat warna bermuatan negatif dan koagulan bermuatan positif sehingga menyebabkan terjadinya *charge neutralization*. Dosis koagulan terbaik untuk koagulasi zat warna biner adalah 1000 mg eq BSA/L; apabila dosis koagulan ditingkatkan hingga 1400 mg eq BSA/L tidak lagi memberikan perubahan signifikan terhadap persen *removal*. Variasi konsentrasi awal zat warna biner dengan perbandingan *congo* merah dan *tartrazine* 1:1 menimbulkan efek *non interactive* pada *congo* merah serta sinergistik pada *tartrazine* seiring dengan penambahan konsentrasi hingga 200 mg/L. Hal tersebut ditandai dengan persen *removal tartrazine* pada kondisi tunggal (51 – 77%) lebih rendah dibandingkan pada kondisi binernya (72 – 76%), sementara *congo* merah cenderung konstan (93 – 95%). Timbulnya efek sinergistik disebabkan gugus amina terprotonasi dari *congo* merah pada pH 3 mengalami interaksi elektrostatik dengan gugus sulfonat bermuatan negatif milik *tartrazine* pada permukaan protein. Hal tersebut menyebabkan hanya ada satu gugus sulfonat dari *tartrazine* yang berikatan dengan gugus amina terprotonasi dari protein. Sementara untuk *congo* merah, persen *removal* cenderung konstan baik pada kondisi biner maupun tunggal disebabkan kedua gugus sulfonat berikatan dengan gugus amina terprotonasi pada protein baik pada kondisi biner maupun tunggalnya.

**Kata kunci:** biji *Moringa oleifera*, *congo* merah, koagulasi, *tartrazine*, biner

## ABSTRACT

*The wastewater industry contains complex and hazardous dyes for both humans and the environment if it is not treated properly. As time passes by and technology develops, coagulation and flocculation are found to be the most effective method for waste water treatment. The existing coagulant is inorganic because of its efficiency in single or binary dyes coagulation. Unfortunately, the inorganic coagulant is unsustainable because not only result in the high sludge volume and non-biodegradable waste but also economic unsustainability. Therefore, the use of natural coagulant is chosen as one alternative; besides its economic sustainability, the natural coagulant produces less sludge volume than the non-organic coagulant and is also biodegradable. Based on the recent research, the *Moringa oleifera* seeds can be used as a natural coagulant. Nevertheless, the utilization is still limited only for single dyes, so in this study the use for binary dyes coagulation using crude extract from *Moringa oleifera* seeds as a natural coagulant was investigated. However, the use of the seeds is commonly studied for single dyes. Hence, in this study the seeds were investigated for binary dyes.*

*Moringa oleifera* seeds were extracted using 1 Molar solution of NaCl as a solvent with a ratio 1:20 (w/v) in order to obtain crude extract of the seeds that could be used as a natural coagulant for single and binary dyes. Bradford methods were used to investigate the concentration of crude extract protein from the seeds. The purpose of this study was to investigate the variables that affect coagulation by varying the pH value (3–8), coagulant dose (400–1400 mg eq BSA/L) and initial dyes concentration (50 – 100 mg/L) in order to determine the best conditions for coagulation. The binary coagulation of congo red and tartrazine were varied with ratio 1:1. The absorbance of dyes was analyzed using a spectrophotometer UV/Vis. The sludge volume was measured with Imhoff cones. The best condition of single and binary could be determined by calculating the %-removal of the dyes and observing the sludge volume.

*The best condition of binary mixtures was found at pH 3 due to charge neutralization between coagulant and dyes mixture. Best coagulant dose for binary mixture was found at 1000 mg eq BSA/L for binary mixtures with 100 mg/L concentration; the increase of coagulant dose until 1400 mg eq BSA/L shows constant %-removal, but when the dose decreases to 400 mg/L the %-removal start to decreasing due to low amount of coagulant to neutralize the dyes charges. The variation of initial dyes concentration with ratio 1:1 of congo red and tartrazine causes synergistic effect of tartrazine and non-interactive effect of congo red by increasing the initial dyes concentration until 200 mg/L. The synergistic effect was evidenced by higher %-removal of tartrazine at binary system (72 – 76%) compared to single system (51 – 77%), while congo red was almost unchanged (93 – 95%). The synergistic effect happened because of electrostatic interaction between congo red protonated amine group at pH 3 with sulfonated group of tartrazine on protein surface which makes only one sulfonated group of tartrazine interact with protonated amine group from protein. Meanwhile, both sulfonated groups from congo red in the binary mixture interact with the protonated amine group from protein as in the single system; which generates a non-interacted effect of congo red both in the single system or binary mixture.*

**Keywords:** *Moringa oleifera* seeds, congo red, coagulation, tartrazine, binary mixtures

## KATA PENGANTAR

Segala puji serta syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa. Atas berkat dan kasih karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Koagulasi Limbah Sintetik Zat Warna Tunggal dan Biner dengan Ekstrak Kasar Biji *Moringa oleifera*” ini tepat pada waktunya.

Laporan penelitian ini disusun dan diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan dari mata kuliah Penelitian (CHE 184650-04) guna mencapai gelar di bidang ilmu Teknik Kimia. Penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak hingga penulis berhasil menyelesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya khususnya kepada:

1. Hans Kristianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dengan sabar dan menyediakan waktu kepada penulis, sehingga penulis berhasil menyelesaikan laporan ini tepat waktu.
2. Susiana Prasetyo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dengan sabar dan menyediakan waktu kepada penulis, sehingga penulis berhasil menyelesaikan laporan ini tepat waktu.
3. Orang tua yang selalu memberikan dukungan serta waktunya kepada penulis hingga laporan penelitian ini dapat diselesaikan tepat waktu.
4. Serta berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan dari ilmu serta pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis membutuhkan dukungan dari segi kritik maupun saran yang bersifat membangun agar laporan penelitian ini dapat menjadi lebih baik. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandung, 24 Juni 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR REVISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>INTISARI</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	3
1.3 Identifikasi Masalah .....	3
1.4 Premis.....	3
1.5 Hipotesis.....	8
1.6 Tujuan Penelitian .....	9
1.7 Manfaat Penelitian .....	9
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>10</b>
2.1 Koloid dan Destabilisasi Koloid .....	10
2.2 Pemanfaatan Ekstrak Kasar Biji <i>Moringa oleifera</i> Sebagai Koagulan Alami .....	14
2.3 Koagulasi Zat Warna Tartrazine dan Kongo Merah .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>23</b>
3.1 Rancangan Penelitian .....	23
3.2 Alat dan Bahan.....	25
3.3 Prosedur Penelitian.....	26
3.4 Rancangan Percobaan .....	32
3.5 Analisis.....	33
3.6 Lokasi dan Rencana Penelitian .....	34
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....	<b>35</b>
4.1 Pengaruh pH pada Koagulasi Zat Warna Biner .....	35
4.2 Pengaruh Dosis Koagulan pada Zat Warna Biner.....	37
4.3 Pengaruh Konsentrasi Awal Zat Warna Biner Dan Tunggal .....	40
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>47</b>



5.1 Kesimpulan .....	47
5.2 Saran .....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN A : METODE ANALISA.....</b>	<b>52</b>
A.1 Analisis Kadar Protein dengan Metode <i>Bradford</i> .....	55
A.2. Analisa Persen <i>Removal</i> Zat Warna .....	57
A.2.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum .....	57
A.2.2 Pembuatan Kurva Standar Zat Warna .....	59
A.2.3 Penentuan Persen <i>Removal</i> Zat Warna.....	60
A.2.3.1 Penentuan Persen <i>Removal</i> Zat Warna Tunggal .....	60
A.2.3.2 Penentuan Persen <i>Removal</i> Zat Warna Biner .....	61
A.3 Analisa Volume <i>Sludge</i> .....	63
<b>LAMPIRAN B : MATERIAL SAFETY DATA SHEET .....</b>	<b>65</b>
B.1 HCl .....	65
B.2 NaOH.....	66
B.3 NaCl.....	67
B.4 <i>Congo Merah</i> .....	69
B.5 <i>Tartrazine</i> .....	70
B.6 <i>Coomasie Brilliant Blue G-250</i> .....	71
B.7 Etanol 95% .....	72
B.8 Asam Fosfat 85% .....	73
B.9 Bovine Serum Albumine (BSA).....	74
<b>LAMPIRAN C : HASIL ANTARA .....</b>	<b>76</b>
C.1 Penentuan Persamaan Kurva Standar .....	76
C.2 Koagulasi Zat Warna Biner dan Tunggal .....	77
<b>LAMPIRAN D : GRAFIK.....</b>	<b>83</b>
D.1 Kurva Standar Protein BSA .....	83
D.2. Kurva Standar Zat Warna.....	83
<b>LAMPIRAN E : CONTOH PERHITUNGAN .....</b>	<b>87</b>
E.1. Perhitungan Kebutuhan Protein .....	87
E.2. Penentuan %- <i>Removal</i> Zat Warna Biner .....	88
E.3. Penentuan %- <i>Removal</i> Zat Warna Tunggal.....	90

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	<i>Electrical double layer</i> pada partikel koloid.....	10
<b>Gambar 2.2</b>	Kurva kesetimbangan gaya van der Waals dan gaya elektrostatik.....	11
<b>Gambar 2.3</b>	Kurva hubungan gaya van der Waals dan gaya elektrostatik untuk mekanisme <i>double layer compression</i> (a) dan <i>charge neutralization</i> (b) ....	12
<b>Gambar 2.4</b>	Mekanisme koagulasi <i>charge neutralization</i> .....	13
<b>Gambar 2.5</b>	Mekanisme <i>Interparticle bridging</i> (a) dan <i>sweep flocculation</i> (b).....	13
<b>Gambar 2.6</b>	Biji <i>Moringa oleifera</i> (a) polong tua (b) <i>kernel</i> (biji dengan kulit ari).....	14
<b>Gambar 2.7</b>	Gugus asam amino saat terprotonasi (a), titik isoelektrik (b), dan terdeprotonasi (c).....	15
<b>Gambar 2.8</b>	Titik isoelektrik protein sebagai acuan kelarutan dari protein pada rentang pH tertentu.....	15
<b>Gambar 2.9</b>	Deret <i>hofmeister</i> .....	17
<b>Gambar 2.10</b>	Interaksi antara lapisan <i>solute</i> , transisi, dan <i>bulk solution</i> pada penambahan <i>kosmotrope</i> dan <i>chaotrope</i> dan pengaruhnya terhadap kelarutan protein ....	17
<b>Gambar 2.11</b>	Hubungan konsentrasi garam dan kelarutan protein.....	18
<b>Gambar 2.12</b>	Struktur dasar pewarna <i>azo</i> .....	19
<b>Gambar 2.13</b>	Struktur zat warna kongo merah dan <i>tartrazine</i> .....	20
<b>Gambar 2.14</b>	Pengaruh penambahan dosis koagulan .....	22
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir singkat penelitian koagulasi zat warna dengan ekstrak kasar protein biji <i>Moringa oleifera</i> .....	23
<b>Gambar 3.2</b>	Skema alat ekstraksi .....	26
<b>Gambar 3.3</b>	Skema alat <i>jar test apparatus</i> .....	26
<b>Gambar 3.4</b>	Biji <i>Moringa oleifera</i> sebagai bahan baku utama penelitian .....	27
<b>Gambar 3.5</b>	Diagram alir <i>pre-treatment kernel</i> biji <i>Moringa oleifera</i> .....	28
<b>Gambar 3.6</b>	Diagram alir ekstraksi protein biji <i>Moringa oleifera</i> .....	29
<b>Gambar 3.7</b>	Diagram alir pembuatan zat warna tunggal .....	30
<b>Gambar 3.8</b>	Diagram alir pembuatan larutan zat warna biner.....	30
<b>Gambar 3.9</b>	Diagram alir proses koagulasi .....	31
<b>Gambar 4.1</b>	Profil pengaruh pH terhadap koagulasi zat warna biner.....	35
<b>Gambar 4.2</b>	Profil pengaruh variasi dosis koagulan terhadap koagulasi zat warna biner (pH 3, konsentrasi awal zat warna 50 mg/L).....	38

<b>Gambar 4.3</b> Grafik pengaruh konsentrasi awal zat warna terhadap koagulasi zat warna biner.....	41
<b>Gambar 4.4</b> Interaksi elektrostatik antara gugus amina ( $-\text{NH}^{3+}$ ) dan sulfonat ( $-\text{SO}^{3-}$ ) pada <i>tartrazine</i> (a) dan <i>congo merah</i> (b) saat pH 3.....	42
<b>Gambar 4.5</b> Interaksi antara zat warna biner dengan protein.....	44
<b>Gambar 4.6</b> Volume <i>sludge</i> pada campuran biner 200 mg/L (a), zat warna <i>tartrazine</i> 100 mg /L (b) dan zat warna <i>congo merah</i> 100 mg/L (pada pH 3 dan dosis koagulan 1000 mg eq BSA/L).....	45

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b> Premis penelitian koagulasi zat warna tunggal .....	4
<b>Tabel 1.2</b> Premis penelitian koagulasi zat warna biner .....	6
<b>Tabel 3.1</b> Run percobaan variasi pH pada zat warna biner .....	32
<b>Tabel 3.2</b> Run percobaan variasi dosis koagulan pada zat warna biner.....	32
<b>Tabel 3.3</b> Run percobaan variasi konsentrasi awal zat warna tunggal .....	33
<b>Tabel 3.4</b> Run percobaan variasi konsentrasi awal zat warna biner.....	33
<b>Tabel 3.5</b> Jadwal kerja penelitian .....	34
<b>Tabel 4.1</b> Zeta potensial komposisi protein pada biji <i>Moringa oleifera</i> pada pH tertentu..	36
<b>Tabel 4.2</b> Uji statistik penentuan dosis koagulan terbaik zat warna biner pada dosis 1000 dan 1200 mg eq BSA/L.....	39

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri tekstil merupakan penyumbang limbah cair terbesar yang bersifat toksik karena banyak mengandung zat warna sintetik dengan pigmentasi yang tinggi. Berdasarkan efluennya, limbah tekstil dibagi berdasarkan limbah kering dan limbah basah. Limbah kering terdiri dari sisa kain sementara limbah basah terdiri dari komponen pewarna kain. Limbah cair tekstil ini mengandung *COD*, *BOD*, *TDS* serta konsentrasi zat warna yang tinggi dengan beraneka ragam warna (Verma, dkk., 2012). Beberapa studi mencatat bahwa jika bahan-bahan tersebut terakumulasi di perairan akan menyebabkan terjadinya eutrofikasi dan berkurangnya jumlah oksigen terlarut (Georgiou, dkk., 2002). Selain berbahaya untuk lingkungan, limbah cair berwarna ini juga berbahaya bagi manusia; diantaranya dapat menyebabkan beberapa penyakit seperti gangguan pernafasan, *neurobehavioral disorder*, insomnia, dan *autoimmune* (Foo dan Hameed, 2010) sehingga perlu dilakukan pengolahan limbah cair tekstil sebelum dibuang ke lingkungan.

Beberapa metode yang dapat digunakan; antara lain filtrasi, adsorpsi, oksidasi menggunakan ozon serta koagulasi dan flokulasi. Koagulasi dan flokulasi merupakan metode yang umum digunakan dalam pengolahan limbah cair berwarna tekstil karena ekonomis (Huang, dkk., 2009; Verma, dkk., 2012). Jenis koagulan yang biasa digunakan adalah koagulan inorganik yang dimanfaatkan untuk proses penjernihan air; seperti alum atau tawas; ferro sulfat ( $\text{FeSO}_4$ ), ferri sulfat ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) dan ferri klorida ( $\text{FeCl}_3$ ) karena dapat mempercepat pembentukan flok (Patel dan Vashi, 2012). Walaupun memiliki performa yang unggul, di sisi lain juga memiliki kekurangan; antara lain: pH akan turun setelah pengolahan, jumlah volume *sludge* yang dihasilkan besar, harganya cukup mahal, serta dapat menyebabkan masalah kesehatan pada manusia seperti memicu penyakit Alzheimer (Theodoro, dkk., 2013; Irmayana, dkk., 2017; Srinivasan, dkk., 2013; Yin, 2010). Pemanfaatan koagulan alami yang bersifat lebih mudah terurai oleh mikroorganisme menjadi solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Koagulan alami pun tersedia dalam jumlah yang banyak dengan harga yang relatif murah, menghasilkan volume *sludge* yang lebih sedikit dan flok yang terbentuk juga bersifat lebih kuat dan stabil (Verma, dkk., 2012).

Berdasarkan sumbernya, koagulan alami dapat berasal dari tumbuhan (nabati) maupun hewan (hewani); namun yang bersumber dari tumbuhan-tumbuhan lebih umum dijumpai karena sumber dayanya yang besar (Bratby, 2006; Choy, dkk., 2015). Salah satu bahan aktif yang dapat digunakan sebagai koagulan alami adalah protein. Gugus amino dari struktur protein berperan sebagai pusat kationik yang dapat menetralkan koloid yang umumnya bermuatan negatif. Protein nabati dapat diperoleh dari sayur-sayuran ataupun kacang-kacangan. Tumbuhan kacang-kacangan memiliki kandungan protein tertinggi sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan aktif koagulan alami (Kristianto, dkk., 2019). Beberapa jenis protein yang terkandung dalam kacang-kacangan; berupa albumin, globulin, glutein dan prolamin. Protein utama yang berperan dalam koagulasi adalah globulin karena fraksinya yang paling mendominasi dalam kacang-kacangan tersebut (Shewry, dkk., 1995).

Biji *Moringa oleifera* mengandung fraksi protein kationik yang tinggi, selain itu juga mudah dilarutkan di dalam air (Villaseñor-Basulto, dkk., 2018) sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif bahan koagulan alami. Pemanfaatan biji *Moringa oleifera* telah banyak banyak dilakukan untuk mengurangi kekeruhan air dan juga untuk pengolahan limbah zat warna tekstil (Mageshkumar dan Karthikeyan, 2016).

Beberapa penelitian penggunaan koagulan alami telah dilakukan untuk zat warna tunggal dan menghasilkan persen *removal* yang baik (Kristanda, dkk., 2021; Mateus, dkk., 2020; Patel dan Vashi, 2012). Namun, limbah zat warna tekstil tidak hanya terdiri dari zat warna tunggal melainkan beragam campuran zat warna sehingga kondisi limbah tekstil tersebut didekati menggunakan zat warna biner untuk meningkatkan kompleksitas pengolahannya. Pengolahan limbah zat warna biner dengan metode elektrokoagulasi atau dengan koagulan inorganik telah dilakukan dan menghasilkan persen *removal* yang tinggi (Ayhan Şengil dan Özdemir, 2012; Wong, dkk., 2007). Demikian pula, koagulasi zat warna biner *congo* merah dan *tartrazine* dengan koagulan alami telah dilakukan menggunakan ekstrak kasar biji petai cina; namun persen *removal* untuk *tartrazine* masih kurang baik (Putra, M.J.B., dan Christian, 2022). Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan ekstrak kasar biji *Moringa oleifera* sebagai koagulan alami untuk mengkoagulasi zat warna tunggal maupun biner *congo* merah dan *tartrazine* dengan memvariasikan beberapa parameter koagulasi yaitu pH, dosis koagulan dan konsentrasi awal zat warna.

## 1.2 Tema Sentral Masalah

Pengolahan limbah cair berwarna tekstil menggunakan metode koagulasi dan flokulasi banyak dilakukan selama ini karena selain ekonomis metode tersebut memberikan performa persen *removal* yang baik. Namun; umumnya menggunakan koagulan inorganik yang bersifat tidak ramah lingkungan dan berbahaya pada keberlangsungan kehidupan manusia sehingga pemanfaatan koagulan alami dapat menjadi solusi untuk mengatasi masalah tersebut. *Moringa oleifera* berpotensi digunakan sebagai bahan koagulan alami; selain dapat tumbuh di tempat tropis seperti di Indonesia, bijinya mengandung protein kationik dalam jumlah yang besar yang berperan penting sebagai bahan aktif koagulan. Namun sayangnya pemanfaatannya masih terbatas pada pengolahan zat warna tunggal, sementara limbah tekstil mengandung beragam zat warna. Potensi dan performa ekstrak kasar biji *Moringa oleifera* menjadi fokus penelitian ini dan dibatasi pada koagulasi zat warna biner *tartrazine* dan *congo* merah dengan mengamati beberapa faktor koagulasi; berupa pH, dosis koagulan dan konsentrasi awal dari zat warna.

## 1.3 Identifikasi Masalah

Beberapa masalah yang akan dikaji pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh pH pada profil persen *removal* dan volume *sludge* yang dihasilkan pada proses koagulasi zat warna biner *congo* merah dan *tartrazine*?
2. Bagaimana pengaruh dosis koagulan pada profil persen *removal* dan volume *sludge* yang dihasilkan pada proses koagulasi zat warna biner *congo* merah dan *tartrazine* pada pH terbaik?
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi awal zat warna pada profil persen *removal* dan volume *sludge* yang dihasilkan pada proses koagulasi zat warna tunggal *congo* merah atau *tartrazine* dan zat warna biner pada dosis koagulan terbaik dalam jumlah yang konstan?

## 1.4 Premis

Untuk menunjang penelitian ini dilakukan studi pustaka yang disusun dalam beberapa premis. Premis penelitian yang terdiri dari persen *removal* dari zat warna tunggal untuk *tartrazine* atau *congo* merah dengan menggunakan koagulan alami disajikan pada **Tabel 1.1**; Premis penelitian yang terdiri dari persen *removal* zat warna biner dengan beberapa metode koagulasi dengan jenis koagulan inorganik disajikan pada **Tabel 1.2**.

**Tabel 1.1** Premis penelitian koagulasi zat warna tunggal

No	Jenis Limbah	Koagulan Alami	Kondisi Ekstraksi (F:S)	Kondisi Koagulasi			Hasil	Pustaka
				Dosis Koagulan (mg/L)	Konsentrasi awal zat warna (mg/L)	pH		
1	Zat warna <i>congo</i> merah	Serbuk biji <i>Moringa oleifera</i>	-	5	60	1	Kondisi optimum: pH 4, dosis koagulan 25 mg/L menghasilkan persen <i>removal</i> 98%	(Patel dan Vashi, 2012)
				10		2		
				15		3		
				20		4		
				25		5		
				30		6		
				35		7		
2	Zat warna <i>congo</i> merah	Serbuk biji <i>Moringa oleifera</i>	-	10	50 100 150 200	2	Kondisi terbaik: pH 4, dosis koagulan 30 mg/L, konsentrasi awal zat warna 50 mg/L menghasilkan persen <i>removal</i> 83%	(Vijayaragha van,G. dan Shanthakumart, 2015)
				20		3		
				30		4		
				40		5		
				50		6		
3	Zat warna <i>congo</i> merah	Ekstrak biji <i>Moringa oleifera</i>	1:20 g/mL Pelarut : air suling	800	50 100 500	3	Kondisi optimum pada pH 3–5 dan dosis optimum koagulan 3840 mg/L dengan konsentrasi awal zat warna 100 mg/L menghasilkan persen <i>removal</i> 99%	(Chethana, dkk., 2016)
				1600		4		
				2400		5		
				3200		6		
				4000		7		
				4600		8		
4	Zat warna <i>drimarene dark red</i> (DDR)	Biji <i>Tamarindus Indica</i>	-	1000 – 3000	20	2	Kondisi terbaik: dosis koagulan 3000 dan pH 3 menghasilkan persen <i>removal</i> 84,6%	(Kristianto, dkk., 2019)
						3		
						4		
						5		



**Tabel 1.1** Premis penelitian koagulasi zat warna tunggal (*lanjutan*)

No	Jenis Limbah	Koagulan	Kondisi Ekstraksi (F:S)	Kondisi Koagulasi			Hasil	Pustaka	
				Dosis Koagulan (mg/L)	Konsentrasi awal zat warna (mg/L)	pH			
5	Zat warna <i>tartrazine</i>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - <i>Moringa oleifera seed</i>	1:100 g/mL Pelarut: NaCl 1 M	20	50	3	Kondisi optimum: pH 3 menghasilkan persen <i>removal</i> 70,16%	(Mateus, dkk., 2020)	
						6			
						9			
6	Zat warna <i>congo merah</i>	Ekstrak biji petai cina	1:20 g/mL Pelarut : MgCl <sub>2</sub> 0,5 M	184	44	3	Kondisi terbaik: pH 3 dan dosis koagulan 184 menghasilkan persen <i>removal</i> 88,5%	(Kristanda, dkk., 2021)	
									252
									340
									418
									497
7	Zat warna <i>congo merah</i>	Ekstrak biji petai cina	1:20 g/mL Pelarut : NaCl 1 M	150	50	3	Kondisi optimum: dosis koagulan 450 pada pH 3 menghasilkan persen <i>removal</i> 99,54%	(Putra, M.J.B., dan Christian, 2022)	
						250			
						350			
						450			
						550			
						650			
						8			
8	Zat warna <i>tartrazine</i>	Ekstrak biji petai cina	1:20 g/mL Pelarut : NaCl 1 M	650	50	3	Kondisi optimum: dosis koagulan 1150 pada pH 3 menghasilkan persen <i>removal</i> 51–53%	(Putra, M.J.B., dan Christian, 2022)	
						750			
						850			
						950			
						1050			
						1150			
8									

**Tabel 1.2** Premis penelitian koagulasi zat warna biner

No	Jenis Limbah	Metode	Koagulan	Kondisi Koagulasi			%removal	Hasil	Pustaka
				Dosis Koagulan (mg/L)	Konsentrasi awal zat warna (mg/L)	pH			
1	Zat warna <i>Terasil blue</i> (BGE-01), <i>disperse dye</i> dan <i>Cibacron Yellow FN-2R, reactive dye</i>	Koagulasi dengan koagulan inorganik	PACl	100–8000	100	4,1–10,9	99,4%	Profil persen <i>removal</i> terbaik dari PACl dicapai pada dosis koagulan 600 mg/L dengan pH 4,4–4,8	(Wong, dkk., 2007)
2	Zat warna <i>disperse blue</i> 56 (DB56) dan <i>basic yellow</i> 28 (BY28)	Elektrokoagulasi	Katoda: besi Anoda :Besi	–	100–400	2–10	75–99,9%	Kondisi terbaik: pH 7 Persen <i>removal</i> menurun pada konsentrasi awal di atas 200 mg/L	(Ayhan Şengil dan Özdemir,2012)
3	Zat warna <i>acid black</i> 52 (AB) dan <i>acid yellow</i> (AY) 220	Elektrokoagulasi	Katoda: besi Anoda :Besi	–	200–500	2–10	AB:64–90% AY:77–98%	Semakin meningkat konsentrasi awal zat warna maka persen <i>removal</i> akan menurun	(Pajootan, dkk., 2012)

**Tabel 1.2** Premis penelitian koagulasi zat warna biner (*lanjutan*)

No	Jenis Limbah	Metode	Koagulan	Kondisi Koagulasi			%removal	Hasil	Pustaka
				Dosis Koagulan (mg/L)	Konsentrasi awal zat warna (mg/L)	pH			
4	Zat warna <i>Reactive red 223 (R223)</i> dan <i>Coomassie brilliant blue R250 (CBBR250)</i>	Elektro-koagulasi	Katoda: besi Anoda :Besi	1000–4000 (Dosis elektrolit NaCl)	20–55	4–9	RR223: 89% CBBR250: 94%	Profil persen <i>removal</i> menurun seiring meningkatnya pH dan meningkat seiring bertambahnya dosis elektrolit	(Shah, A.R., dkk., 2017)
5	Zat warna <i>BF Cibacete Blue (CB)</i> dan <i>Red Solophenyle 3BL (RS)</i>	Koagulasi dengan koagulan inorganik	FeCl <sub>3</sub>	20–500	15–50	2–12	RS: 65% CB: 89%	Profil persen <i>removal</i> yang rendah terjadi pada dosis koagulan yang rendah dan pH > 8	(Ghernaout, dkk.,2018)
6	Zat warna <i>congo merah (CR)</i> dan <i>tartrazine (TA)</i>	Koagulasi dengan <i>bio-coagulant</i>	Ekstrak biji petai cina	650	50	3	CR: 94,401% TA: 54,61%	Profil %removal akan menurun pada pH>3 dan saat dosis koagulan melebihi dosis optimumnya (1050 mg eq BSA/L)	(Putra, M.J.B., dan Christian, 2022)
				750	60	4			
				850	70	5			
				950	80	6			
				1050	90	7			
			1150	100	8				

## 1.5 Hipotesis

Berdasarkan identifikasi masalah dan studi pustaka yang telah dilakukan, dapat disusun beberapa hipotesis berikut:

1. Zat warna *congo* merah dan *tartrazine* memiliki titik isoelektrik pada pH 2. Zat warna bermuatan positif saat pH berada di bawah titik isoelektrik, sebaliknya ketika berada di atas titik isoelektrik. Prinsip yang sama berlaku untuk protein biji *Moringa oleifera* sehingga pH terbaik koagulasi berada di atas titik isoelektrik zat warna namun di bawah titik isoelektrik dari protein (Kristianto, Prasetyo, dkk., 2019). Kondisi terbaik koagulasi zat warna biner sama dengan zat warna tunggal pada pH 3. Peningkatan pH di atas 3 menurunkan persen *removal* zat warna karena protein dan zat warna bermuatan sejenis (negatif) sehingga netralisasi muatan tidak dapat terjadi dan menyebabkan volume *sludge* kecil karena menurunnya jumlah zat warna yang terkoagulasi (Mateus, dkk., 2020; Patel dan Vashi, 2012; Putra, M.J.B. dan Christian, 2022).
2. Dosis koagulan menentukan performa koagulasi; baik pada zat warna tunggal maupun biner. Pada dosis koagulan yang rendah, koagulasi tidak dapat berjalan dengan baik karena jumlah koagulan tidak cukup untuk menetralisasi permukaan koloid sehingga persen *removal* zat warna dan volume *sludge* rendah. Penambahan koagulan sampai dosis optimumnya menyebabkan peningkatan persen *removal* karena muatan dari koloid ternetralisasi hingga zeta potensial larutan mencapai nol dan mencapai performa koagulan terbaik pada titik ini. Penambahan koagulan melebihi dosis optimumnya menyebabkan restabilisasi koloid karena banyaknya koagulan yang menempel di permukaan koloid menimbulkan gaya tolak menolak elektrostatis (Choy, dkk., 2015) sehingga persen *removal* zat warna menurun dan jumlah volume *sludge* meningkat (Ghernaout, dkk., 2018; Kristanda, dkk., 2021) karena terbentuknya partikel flok yang lebih kecil yang menyebabkan *sludge* menjadi bersifat lebih berpori dengan jumlah volume yang tinggi (Kristianto, dkk., 2019).
3. Semakin besar konsentrasi awal zat warna maka muatan negatif akan bertambah, sementara jumlah muatan positif dari koagulan tidak dapat mengimbangi muatan negatif yang terus bertambah dan menurunkan performa dan efektivitas koagulasi sehingga persen *removal* menurun sehingga volume *sludge* yang dihasilkan juga sedikit dikarenakan berkurangnya jumlah zat warna yang dapat terkoagulasi (Chethana, dkk.,

2016; Kristanda, dkk., 2021; Pajootan, dkk., 2012). Pada konsentrasi zat warna yang terlalu rendah dapat menyebabkan terjadinya *charge restabilization* karena jumlah muatan protein kationik lebih besar dibandingkan jumlah muatan koloid.

### 1.6 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh dari pH pada profil persen *removal* dan volume *sludge* yang dihasilkan pada proses koagulasi zat warna biner.
2. Mengetahui pengaruh dari dosis koagulan pada profil persen *removal* dan volume *sludge* yang dihasilkan pada proses koagulasi zat warna biner pada kondisi pH optimum.
3. Mengetahui pengaruh konsentrasi awal zat warna pada profil persen *removal* dan volume *sludge* yang dihasilkan dalam proses koagulasi zat warna tunggal *congo* merah atau *tartrazine* dan zat warna biner pada dosis koagulan optimumnya.

### 1.7 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat:

1. **Bagi mahasiswa**, dapat mempelajari mekanisme koagulasi pada zat warna tunggal maupun biner serta faktor-faktor yang mempengaruhi proses tersebut seperti pH, dosis koagulan, dan konsentrasi awal zat warna terhadap profil persen *removal* dan volume *sludge* yang dihasilkan. Mahasiswa juga dapat mengetahui potensi dari pemanfaatan ekstrak kasar dari biji *Moringa oleifera* dalam koagulasi zat warna biner.
2. **Bagi industri tekstil**, diharapkan dari penelitian ini koagulan alami dapat terus dikembangkan untuk proses pengolahan limbah tekstil karena sifatnya yang ramah lingkungan.