

# **SINTESIS KOAGULAN MAGNETIK ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - PROTEIN BIJI KELOR) DAN PEMANFAATANNYA DALAM PENGOLAHAN LIMBAH SINTETIK ZAT WARNA KONGO MERAH**

## **Laporan Penelitian**

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

oleh :

**Vania Callista Priscilla (6141801037)**

**Theodore Sebastian Bratasena (6141801075)**

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**

**2023**

# **SYNTHESIS OF MAGNETIC COAGULANT ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ – MORINGA SEED PROTEIN) AND ITS UTILIZATION IN CONGO RED SYNTHETIC WASTEWATER TREATMENT**

## **Research Paper**

Complied to fulfil the final project in order to achieve a bachelor's degree in Chemical  
Engineering

By :

**Vania Callista Priscilla (6141801037)**

**Theodore Sebastian Bratasena (6141801075)**

Advisor :

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

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



**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY**

**2023**



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

**LEMBAR PENGESAHAN**

Nama : Vania Callista Priscilla

NPM : 6141801037

Nama : Theodore Sebastian Bratasena

NPM : 6141801075

Judul : Sintesis Koagulan Magnetik ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – Protein Biji Kelor) dan Pemanfaatannya  
Dalam Pengolahan Limbah Sintetik Zat Warna Kongo Merah

**CATATAN:**

---

---

---

---

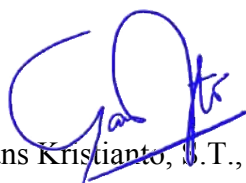
---

---


---

Telah diperiksa dan disetujui,  
Bandung, 13 Februari 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 : Vania Callista Priscilla

NPM : 6141801037

Nama : Theodore Sebastian Bratasena

NPM : 6141801075

Judul : Sintesis Koagulan Magnetik ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – Protein Biji Kelor) dan Pemanfaatannya  
Dalam Pengolahan Limbah Sintetik Zat Warna Kongo Merah

**CATATAN:**

Sesuai sidang dan catatan pada laporan

---

---

---

---

---

---

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 13 Februari 2023

Penguji 1

Dr. Ir. Asaf K. Sugih

Penguji 2

I Gede Pandega Wiratama, S.T., M.T.



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

**SURAT PERNYATAAN**

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Vania Callista Priscilla

NPM : 6141801037

Nama : Theodore Sebastian Bratasena

NPM : 6141801075

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

**Sintesis Koagulan Magnetik ( $Fe_3O_4$  – Protein Biji Kelor) dan Pemanfaatannya  
Dalam Pengolahan Limbah Sintetik Zat Warna Kongo Merah**

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

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

Bandung, 10 Februari 2023



Vania Callista Priscilla  
(6141801037)



Theodore Sebastian Bratasena  
(6141801075)

## INTISARI

Biji kelor (*Moringa oleifera*) mengandung protein globulin yang cukup tinggi; sebesar 53% telah berhasil diaplikasikan sebagai koagulan alami. Namun; memiliki beberapa kekurangan diantaranya waktu sedimentasi yang lama dan peningkatan kandungan zat organik pada air olahan. Peningkatan kinerja ekstrak protein sebagai koagulan alami dapat dilakukan dengan pembuatan koagulan magnetik yang dapat mempercepat waktu sedimentasi. Fungsionalisasi koagulan magnetik dilakukan dengan 2 metode; yaitu adsorpsi dan dispersi. Pengolahan limbah cair menggunakan koagulan magnetik via dispersi masih memiliki kandungan zat organik. Sebaliknya; penggunaan koagulan magnetit via adsorpsi dapat mengurangi peningkatan zat organik dalam limbah cair, tetapi perlu dilakukan modifikasi permukaan untuk meningkatkan kapasitas protein pada permukaan magnetit agar kinerja koagulasi maksimal.

Ekstraksi protein biji kelor dilakukan menggunakan pelarut NaCl berkonsentrasi rendah, sebesar 1 M pada pH 5,5. Ekstrak yang diperoleh diuji kadar proteinnya menggunakan metode *Bradford*. Fungsionalisasi koagulan magnetik via adsorpsi, dilakukan dengan cara modifikasi permukaan magnetit terlebih dahulu menggunakan asam humat atau asam galat; dilanjutkan dengan proses adsorpsi oleh ekstrak protein. Adsorpsi dilakukan pada pH yang divariasikan dalam rentang 9 – 12. Fungsionalisasi koagulan magnetit via dispersi dilakukan dengan cara sonikasi magnetit dengan ekstrak protein. Fungsionalisasi koagulan magnetit via dispersi dilakukan dengan cara sonikasi magnetit dengan ekstrak protein. Koagulasi zat warna kongo merah dilakukan dalam *jar test apparatus* dengan kecepatan 100 rpm selama 2 menit; dilanjutkan pada 20 rpm selama 20 menit dengan variasi pH 3 – 10; dosis koagulan magnetik 25 – 250 mg/L untuk via adsorpsi; dosis ekstrak protein 0 – 300 mg eq BSA/L dan dosis magnetit 0 – 2,5 mg/L untuk via dispersi; dan konsentrasi awal kongo merah 10 – 60 ppm. Respon yang diamati adalah *%removal* zat warna setiap waktu menggunakan metode spektrofotometri UV-*vis* dengan pengambilan sampel setiap 5 menit dan volume *sludge* menggunakan metode volumetrik dengan bantuan *Imhoff cone*. Kinetika sedimentasi dimodelkan dengan *pseudo orde 1* dan *pseudo orde 2*.

Kapasitas adsorpsi protein mencapai 34,274  $\mu\text{g}$  eq BSA/mg untuk modifikasi asam humat dan 30,957  $\mu\text{g}$  eq BSA/mg untuk modifikasi asam galat pada pH 10,5. Koagulasi dengan pendekatan adsorpsi tidak teramati adanya pembentukan flok yang menandakan terjadinya koagulasi, sehingga penelitian dilanjutkan dengan pendekatan dispersi. Peningkatan pH pada koagulasi menggunakan koagulan magnetik via dispersi mengalami penurunan pada *%removal* dan volume *sludge*; pH terbaik koagulasi zat warna kongo merah adalah 3 dengan *%removal* 97,62% dan volume *sludge* 2 mL/L limbah. Dosis ekstrak terbaik sebesar 100 mg eq BSA/L dengan *%removal* 95,70% dengan volume *sludge* 0,60 mL/L limbah; penambahan dosis lebih lanjut tidak lagi meningkatkan *%removal*, hanya menghasilkan lebih banyak volume *sludge*. Penambahan dosis magnetit meningkatkan *%removal* dan volume *sludge*. Penambahan konsentrasi awal kongo merah mengakibatkan menurunnya *%removal* dan volume *sludge* dengan variasi terbaik pada 10 ppm menghasilkan *%removal* 95,56% dengan volume *sludge* 3,20 mL/L limbah. Kinetika sedimentasi diwakilkan oleh *pseudo orde 2* dengan proses *chemisorption*.

**Kata kunci:** asam galat, asam humat, biji kelor, koagulasi, magnetit, protein, adsorpsi, dispersi



## ABSTRACT

*Moringa oleifera* seed's natural coagulant with 53% globulin protein content have some disadvantage i.e., long settling time and high organic compound in wastewater. Natural coagulant performance can be increase by using magnetic coagulant. 2 methods of magnetic coagulant synthesis that compared in this research are adsorption and dispersion. Magnetic coagulant via dispersion still has organic content in wastewater, meanwhile the adsorption magnetic coagulant can reduce the increase of organic content. For maximizing coagulation performance, magnetite surface had to modify for increasing adsorption capacity.

Low concentration 1 M NaCl solvent with pH 5,5 is used for protein extraction. Extracted protein levels tested using Bradford's method. For adsorption method, magnetite surface was modified using humic or gallic acid and followed by adsorption process with protein extract. Adsorption was carried out with pH variation with range between 9 and 12. For dispersion method, magnetic coagulant is obtained by protein sonication with magnetite. Congo red dye coagulation was carried out in jar test apparatus with 100 rpm for 2 minutes; followed by 20 rpm for 20 minutes with pH variation range between 3 – 10; magnetic coagulant dosage range between 25 – 250 mg/L for adsorption method; protein extract dosage range between 0 – 300 mg eq BSA/L and magnetic dosage between 0 – 2,5 mg/L for dispersion method; and initial dye concentration between 10 – 60 ppm. The responses observed are %removal and sludge volume. Congo red dye concentration measured against time using UV-vis spectrophotometer with 5 minutes sampling time. Sludge volume measured with volumetric method with Imhoff cone. Sedimentary kinetics modelled by pseudo-first-order and pseudo-second-order.

Protein adsorption capacity reached 34,274  $\mu\text{g}$  eq BSA/mg humid acid modification, and 30,957  $\mu\text{g}$  eq BSA/mg for gallic acid modification at pH 10,5. Coagulation with magnetic coagulant via adsorption was not observed for the formation of flocs, which indicating the occurrence of coagulation. Therefore, the research was continued using magnetic coagulant via dispersion. The increase of pH using magnetic coagulant via dispersion cause %removal and sludge volume decreased, where the best pH for congo red coagulation was 3 with %removal 97,62% with 2 mL/L sludge volume. The best protein extract dose was obtained at 100 mg eq BSA/L with %removal 95,70% with 0,60 mL/L sludge volume. Further increasing the doses did not increase the %removal, but only produced more sludge volume. Coagulant magnetic without protein extract did not indicate the occurrence of coagulation, because there was no charge that can neutralize the negatively charge on congo red. The increasing of magnetite doses increased the %removal and sludge volume as well. The addition of initial congo red concentration resulted in a decrease in %removal and sludge volume. The best for initial congo red concentration was obtained in 10 ppm with %removal 95,56% with 3,20 mL/L sludge volume. Sedimentation kinetics represented by second pseudo-order with chemisorption process. Coagulation without

**Keywords:** Gallic acid, humic acid, moringa seed, coagulation, magnetite, protein, adsorption, dispersion

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Sintesis Koagulan Magnetik ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – Protein Biji Kelor) dan Pemanfaatannya Dalam Pengolahan Limbah Sintetik Zat Warna Kongo Merah” ini dengan sebaik-baiknya dan tepat pada waktunya. Laporan penelitian ini disusun sebagai syarat untuk memenuhi mata kuliah CHE 184650-04 yaitu “Penelitian” di Program Studi Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penyusunan laporan penelitian ini, banyak kendala yang penulis alami sehingga selesai pada waktunya. Untuk itu, penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada pihak yang senantiasa mendukung dalam pembuatan laporan penelitian ini, diantaranya:

1. Bapak Hans Kristianto, S.T., M.T. dan Ibu Susiana Prasetyo S., S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, kritik, dan saran selama penyusunan laporan penelitian ini;
2. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa selama penyusunan laporan penelitian ini;
3. Teman-teman yang memberikan semangat dan saran;
4. Semua pihak yang berkontribusi dalam penyusunan laporan penelitian ini.

Penulis menyadari banyak kekurangan yang terdapat pada laporan penelitian ini sehingga laporan penelitian ini masih jauh dari kata sempurna. Tak ada gading yang tak retak, maka penulis mengharapkan adanya kritik dan saran agar laporan penelitian ini dapat berguna bagi pembaca dan masyarakat.

Bandung, 10 Januari 2023

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
SURAT PERNYATAAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
INTISARI.....	xii
<i>ABSTRACT</i> .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	2
1.3 Identifikasi Masalah.....	3
1.4 Premis.....	3
1.5 Hipotesis.....	9
1.6 Tujuan Penelitian .....	11
1.7 Manfaat Penelitian.....	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	12
2.1 Ekstraksi Protein Biji Kelor .....	12
2.2 Koloid dan Destabilisasi Koloid .....	16
2.3 Besi Oksida Nanopartikel .....	19
2.4 Magnetit Termodifikasi Asam dan Fungsionalisasinya untuk Koagulasi Kongo Merah .....	20
2.4.1 Modifikasi Magnetit dengan Asam Humat dan Galat .....	21
2.4.2 Fungsionalisasi Koagulan Magnetik dan Proses Koagulasi Kongo Merah.....	22
2.5 Pemodelan Kinetika Sedimentasi.....	26
2.5.1 Pseudo Orde 1.....	26
2.5.2 Pseudo Orde 2.....	27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	28
3.1 Rancangan Penelitian .....	28
3.2 Alat dan Bahan .....	30
3.3 Prosedur Penelitian.....	31
3.3.1 Modifikasi Magnetit dengan Asam Humat atau Asam Galat .....	33
3.3.2 Fungsionalisasi Magnetit Menggunakan Biji Kelor melalui Pendekatan Adsorpsi.....	35
3.3.3 Koagulasi Menggunakan Koagulan Magnetik melalui Pendekatan Adsorpsi.....	36
3.3.4 Fungsionalisasi Magnetik dan Koagulasi dengan Koagulan Magnetik melalui Pendekatan Dispersi .....	38
3.4 Rancangan Percobaan.....	39
3.5 Analisis .....	42
3.6 Jadwal Kerja Penelitian.....	43
BAB IV PEMBAHASAN .....	44
4.1 Koagulasi Menggunakan Koagulan Magnetik melalui Pendekatan Adsorpsi .....	44
4.2 Koagulasi Menggunakan Koagulan Magnetik melalui Pendekatan Dispersi .....	47
4.2.1 Pengaruh Variasi pH terhadap Penurunan Zat Warna Kongo Merah	47
4.2.2 Pengaruh Variasi Dosis Ekstrak terhadap Penurunan Zat Warna Kongo Merah .....	49
4.2.3 Pengaruh Variasi Dosis Magnetit terhadap Penurunan Zat Warna Kongo Merah .....	51
4.2.4 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Kongo Merah terhadap Penurunan Zat Warna Kongo Merah .....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	57
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN A .....	66
LAMPIRAN B.....	73
LAMPIRAN C.....	95

LAMPIRAN D .....	117
------------------	-----

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Bagian buah kelor (a) Buah, (b) biji, dan (c) <i>kernel</i> kelor (Uthman, 2018).	12
<b>Gambar 2.2</b>	Vakuola sel tumbuhan (Rahmadina dan Febriani, 2017).....	13
<b>Gambar 2.3</b>	Mekanisme ekstraksi (Tzia dan Liadakis, 2003).....	14
<b>Gambar 2.4</b>	Deret <i>Hofmeister</i> (Kang, dkk., 2020).....	14
<b>Gambar 2.5</b>	Interaksi protein, air, dan garam pada proses pelarutan protein (Kristianto dkk., 2019b) .....	15
<b>Gambar 2.6</b>	Pengaruh pH terhadap kelarutan globulin (Scopes, 1994).....	16
<b>Gambar 2.7</b>	Lapisan ganda koloid (Park dan Seo, 2011).....	17
<b>Gambar 2.8</b>	Mekanisme destabilisasi koloid (a) <i>double-layer compression</i> , (b) <i>charge neutralization</i> , (c) <i>entrapment in precipitate</i> , (d) <i>interparticle bridging</i> (Suopajärvi, 2015) .....	18
<b>Gambar 2.9</b>	Struktur besi oksida (a) wustite (FeO), (b) magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ), (c) hematit ( $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), dan (d) <i>maghemite</i> (Eom, 2014; Yu dan Ji, 2017).....	20
<b>Gambar 2.10</b>	Struktur molekul asam humat (De Melo, dkk., 2016).....	21
<b>Gambar 2.11</b>	Interaksi magnetit dengan asam humat (Koesnarpadi, dkk., 2019) .....	21
<b>Gambar 2.12</b>	Struktur molekul asam molekul galat (Govea-Salas, dkk., 2018).....	22
<b>Gambar 2.13</b>	Interaksi magnetit dengan asam galat (Rahmayanti, dkk., 2016) .....	22
<b>Gambar 2.14</b>	Metode dispersi dalam sintesis koagulan magnetik (Kristianto, 2021) .....	23
<b>Gambar 2.15</b>	Metode adsorpsi dalam sintesis koagulan magnetik (Kristianto, dkk., 2021).....	24
<b>Gambar 2.16</b>	(a) Struktur molekul kongo merah (b) Gugus <i>sulphonazo</i> pH > 5 (c) Gugus <i>chinone</i> pH < 3 (Clark, 2011; Frid, dkk., 2007) .....	25
<b>Gambar 2.17</b>	Mekanisme koagulasi zat warna kongo merah dengan protein (Tie, dkk., 2015) .....	25
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir singkat penelitian .....	28
<b>Gambar 3.2</b>	Skema rangkaian alat <i>jar test apparatus</i> untuk proses koagulasi .....	31
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram alir perlakuan awal biji kelor.....	32
<b>Gambar 3.4</b>	Diagram alir singkat ekstraksi protein .....	33
<b>Gambar 3.5</b>	Diagram alir pembuatan magnetit termodifikasi asam humat atau asam galat .....	34
<b>Gambar 3.6</b>	Diagram alir fungsionalisasi magnetit melalui pendekatan adsorpsi .....	35

<b>Gambar 3.7</b>	Diagram alir koagulasi zat warna kongo merah metode pendekatan adsorpsi.....	37
<b>Gambar 3.8</b>	Diagram alir koagulasi zat warna kongo merah metode pendekatan dispersi.....	39
<b>Gambar 4.1</b>	Profil kapasitas adsorpsi protein biji kelor dengan modifikasi asam galat atau asam humat terhadap variasi pH.....	44
<b>Gambar 4.2</b>	Interaksi protein dengan asam galat.....	45
<b>Gambar 4.3</b>	Zat warna kongo merah yang tidak terkoagulasi oleh koagulan magnetik metode adsorpsi .....	46
<b>Gambar 4.4</b>	Profil <i>%removal</i> metode adsorpsi pada pH 3.....	46
<b>Gambar 4.5</b>	Profil <i>%removal</i> dan volume <i>sludge</i> hasil koagulasi zat warna kongo merah menggunakan koagulan magnetik metode dispersi terhadap variasi pH.....	48
<b>Gambar 4.6</b>	Profil <i>%removal</i> dan volume <i>sludge</i> terhadap variasi dosis ekstrak.....	49
<b>Gambar 4.7</b>	Profil <i>%removal</i> terhadap waktu dengan variasi dosis ekstrak protein .....	50
<b>Gambar 4.8</b>	Profil <i>%removal</i> dan volume <i>sludge</i> terhadap variasi dosis magnetit .....	52
<b>Gambar 4.9</b>	Profil <i>%removal</i> terhadap waktu dengan variasi dosis magnetit .....	53
<b>Gambar 4.10</b>	Profil <i>%removal</i> dan volume <i>sludge</i> terhadap konsentrasi awal kongo merah .....	54
<b>Gambar 4.11</b>	Profil <i>%removal</i> terhadap waktu dengan variasi konsentrasi awal kongo merah .....	55

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b> Premis penelitian terkait fungsionalisasi besi oksida nanopartikel dengan protein.....	4
<b>Tabel 1.2</b> Premis penelitian terkait koagulasi menggunakan koagulan magnetit dan protein.....	5
<b>Tabel 2.1</b> Kandungan protein biji kelor (Takaoka, dkk., 2017).....	13
<b>Tabel 3.1</b> Rancangan percobaan pengaruh variasi pH pada proses adsorpsi.....	40
<b>Tabel 3.2</b> Rancangan percobaan penentuan pH terbaik proses koagulasi menggunakan koagulan magnetik metode pendekatan adsorpsi .....	40
<b>Tabel 3.3</b> Rancangan percobaan penentuan pH terbaik proses koagulasi menggunakan koagulan magnetik metode pendekatan dispersi .....	41
<b>Tabel 3.4</b> Rancangan percobaan variasi dosis ekstrak protein proses koagulasi menggunakan koagulan magnetik metode pendekatan dispersi.....	41
<b>Tabel 3.5</b> Rancangan percobaan variasi dosis magnetit proses koagulasi menggunakan koagulan magnetik metode pendekatan dispersi .....	42
<b>Tabel 3.6</b> Rancangan percobaan variasi konsentrasi awal zat warna kongo merah proses koagulasi menggunakan koagulan magnetik metode pendekatan dispersi .....	42
<b>Tabel 3.7</b> Jadwal kerja penelitian.....	43
<b>Tabel 4.1</b> Parameter kinetika sedimentasi variasi pH.....	49
<b>Tabel 4.2</b> Parameter kinetika sedimentasi variasi dosis ekstrak protein.....	51
<b>Tabel 4.3</b> Kinetika sedimentasi variasi dosis magnetit.....	53
<b>Tabel 4.4</b> Kinetika sedimentasi variasi konsentrasi awal kongo merah .....	55

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri tekstil menggunakan banyak zat warna; sekitar 60–70% dari total zat warna yang digunakan dalam industri merupakan pewarna sintetik (Jabar, dkk., 2020). Zat warna yang digunakan pada proses produksi akan terbawa dalam air limbah yang dapat menjadi pemicu permasalahan lingkungan ketika dibuang tanpa diolah terlebih dahulu, berupa masalah stabilitas dan toksisitas yang tinggi (Zulfikar dan Setiyanto, 2013). Penghilangan zat warna dalam limbah cair telah dilakukan menggunakan berbagai metode; yaitu: 1) metode biologi (asimilasi, stabilisasi limbah), degradasi fotokatalis; 2) metode kimia (pengendapan, koagulasi, flokulasi); serta 3) metode fisika (filtrasi, *reverse osmosis*, adsorpsi) (Jabar, dkk., 2020). Di antara metode tersebut, koagulasi dan flokulasi lebih sering sering digunakan karena efisiensi dan efektifitasnya yang tinggi. Metode ini dapat mengurangi kandungan zat organik, padatan tersuspensi, *turbidity*, dan zat warna (Bahrodin, dkk., 2021; Kristianto, 2021). Koagulan yang sering digunakan berupa koagulan anorganik dalam bentuk garam logam, seperti aluminium klorida, *ferric sulphate* dan *ferric chloride* serta polimer anorganik, seperti *polyaluminium chloride* dan *polyferric chloride* (Kristianto, 2021).

Penggunaan koagulan anorganik ini memiliki kelemahan; yaitu menghasilkan *sludge* beracun dalam jumlah besar, menyebabkan perubahan pH dan alkalinitas air serta harganya yang tinggi (Okoli, 2012; Rodiño-Arguello, dkk., 2015). Sebaliknya, penggunaan koagulan alami memberikan beberapa keunggulan; selain memiliki tingkat toksisitas yang rendah dan harganya lebih ekonomis, juga menghasilkan *sludge* yang rendah dan *biodegradable* sehingga dapat mengatasi kekurangan penggunaan koagulan anorganik. Koagulan alami yang sering digunakan berasal dari tanaman; seperti *Moringa oleifera*, *Jatropha curcas*, kulit pisang, dan *bagasse* (ampas tebu). *Moringa oleifera* atau kelor termasuk koagulan alami terbaik di antara yang lainnya; dengan efisiensi yang tinggi dalam menghilangkan kekeruhan, warna, logam berat, dan surfaktan dalam air (Bahrodin, dkk., 2021; Miyashiro, dkk., 2021). Akan tetapi, penggunaan koagulan alami juga memiliki beberapa kekurangan; yaitu waktu sedimentasi yang sangat lama, proses purifikasi yang kompleks, dan peningkatan kandungan zat organik dalam air olahan (Bahrodin, dkk., 2021).



Kekurangan koagulan alami ini dapat diatasi dengan cara mengkombinasikannya menggunakan besi oksida nanopartikel menjadi koagulan magnetik sehingga mempercepat waktu sedimentasi zat warna yang sulit mengendap dengan kehadiran medan magnet eksternal (Reck, dkk., 2020; Santos, dkk., 2016). Selain itu, penggunaan besi oksida nanopartikel dengan koagulan alami ekstrak protein dapat mengurangi peningkatan kandungan zat organik pada air olahan menjadi 18% dibandingkan dengan hanya menggunakan ekstrak protein saja yang mencapai 49%. Kehadiran zat organik yang cukup tinggi pada air olahan diduga karena adanya protein yang terdesorpsi saat koagulasi berlangsung (Kristianto, dkk., 2020). Fungsionalisasi koagulan magnetik terdiri dari 2 metode, yaitu: 1) permukaan besi oksida nanopartikel diadsorpsi dengan protein sebagai koagulan alami dan 2) dispersi langsung besi oksida nanopartikel ke dalam *crude extract* protein (Kristianto, dkk., 2020). Pada penelitian ini, dilakukan perbandingan antara kedua metode fungsionalisasi tersebut menggunakan ekstrak protein biji kelor.

Permukaan besi oksida perlu dimodifikasi dengan senyawa tertentu seperti asam karboksilat sebelum dilakukan adsorpsi. Pada penelitian ini, asam karboksilat yang digunakan adalah asam humat dan asam galat. Gugus hidroksil pada permukaan magnetit berikatan dengan oksigen pada gugus karboksil asam humat atau asam galat sehingga diperoleh magnetit yang termodifikasi permukaannya (Koesnarpadi, 2022). Penggunaan asam humat atau asam galat dapat memperkuat ikatan hidrofobik antara besi oksida nanopartikel dengan protein sehingga kapasitas adsorpsi dapat meningkat (Kim, dkk., 2007). Kapasitas adsorpsi protein yang meningkat dapat menyebabkan protein yang terikat pada permukaan magnetit menjadi lebih banyak. Hal ini memungkinkan terjadinya peningkatan pada *%removal* zat warna. Penggunaan asam humat dan asam galat sebagai zat pemodifikasi juga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi sehingga waktu sedimentasi dan kandungan zat organik akan berkurang.

## 1.2 Tema Sentral Masalah

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan; penggunaan koagulan alami memiliki kekurangan, terutama waktu sedimentasi yang lama dan kandungan zat organik yang tinggi. Penggunaan koagulan magnetik berupa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )–protein biji petai cina (*Leucaena leucocephala*) dengan pendekatan adsorpsi yang dimodifikasi oleh asam sitrat terbukti dapat mengatasi kekurangan tersebut, tetapi kandungan zat organik pada air limbah yang sudah diolah masih relatif besar akibat masih ada sejumlah protein dari koagulan

magnetik yang ikut larut dengan limbah selama koagulasi yang berlangsung pada pH yang cukup asam. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan protein biji kelor (*Moringa oleifera*) yang mengandung protein globulin lebih tinggi dari biji petai cina dengan zat pemodifikasi menggunakan asam humat atau asam galat untuk meningkatkan protein yang teradsorpsi di permukaan magnetit. Selain itu, biji kelor memiliki pH isoelektrik yang cukup tinggi sehingga dapat diaplikasikan pada rentang pH yang lebih luas. Metode fungsionalisasi koagulan magnetik juga menentukan kinerja koagulan magnetik yang diperoleh sehingga perlu dilakukan perbandingan antara kedua metode fungsionalisasi yang ada (dispersi dan adsorpsi). Kinetika koagulasi juga dikaji pada penelitian ini untuk mengetahui model kinetika yang dapat menggambarkan proses yang berlangsung selama proses koagulasi-sedimentasi zat warna kongo merah menggunakan koagulan magnetik protein biji kelor. Model kinetika yang dipakai yaitu pseudo orde 1 dan orde 2.

### 1.3 Identifikasi Masalah

Beberapa masalah yang dapat diidentifikasi dalam penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana profil kapasitas adsorpsi protein biji kelor pada besi oksida nanopartikel yang dimodifikasi dengan asam galat atau asam humat terhadap pH pada fungsionalisasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ?
2. Bagaimana profil kapasitas adsorpsi protein pada besi oksida nanopartikel terhadap zat pemodifikasi (asam galat dan asam humat) dalam proses fungsionalisasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ?
3. Bagaimana profil %*removal* zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan terhadap pH pada proses koagulasi limbah sintetik zat warna kongo merah dengan metode adsorpsi?
4. Bagaimana profil %*removal* zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan terhadap pH, dosis ekstrak protein, magnetit, dan konsentrasi awal zat warna kongo merah pada proses koagulasi limbah sintetik zat warna kongo merah dengan metode dispersi?
5. Bagaimana model kinetika penurunan konsentrasi zat warna yang sesuai untuk koagulan magnetik dibandingkan dengan ekstrak protein saja?

### 1.4 Premis

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, dapat disusun beberapa premis yang menjadi dasar penelitian ini. Premis penelitian terkait fungsionalisasi besi oksida nanopartikel dengan protein disajikan pada **Tabel 1.1**, dan premis penelitian terkait koagulasi menggunakan koagulan magnetit dan protein disajikan pada **Tabel 1.2**.

**Tabel 1.1 Premis penelitian terkait fungsionalisasi besi oksida nanopartikel dengan protein**

Jenis Protein	Jenis magnetit	Zat Pemoifikasi	Kondisi Modifikasi		Kondisi Fungsionalisasi			pH	Hasil	Peneliti
			Jumlah magnetit (g)	Konsentrasi Zat Pemoifikasi	Jumlah magnetit (g)	Volume protein (mL)	Konsentrasi Protein			
Ekstrak biji <i>Leucaena leucocephala</i>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Trinatrium sitrat	0,080	0,25 M	0,080	5	n.a	3,0	Kondisi optimum: pH 4 dan konsentrasi zat pemoifikasi 0,5 M dengan: •%Removal: ±81% •Volume sludge: 2 mL/L limbah	Kristianto, dkk., 2020
				0,50 M				3,5		
				0,75 M				4,0		
				1,00 M				4,5		
								5,0		
<i>Bovine Serum Albumin (BSA)</i>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Trinatrium sitrat	0,5	0,05 M	0,5	5	1,5 x 10 <sup>-5</sup> M	4	Kondisi optimum: pH 4,7 dan konsentrasi zat pemoifikasi 0,3 M	Ur Rahman, dkk., 2012
				0,10 M				4,6		
				0,20 M				7,4		
				0,30 M						
				0,40 M						
				0,50 M						
Enzim tripsin	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Asam tanin	1,0551	25 mg/mL	0,100	n.a	1 mg/mL	7,5	Imobilisasi enzim meningkatkan aktivitas enzim dari 42% menjadi 100%	Atacan dan Özacar, 2015

Tabel 1.2 Premis penelitian terkait koagulasi menggunakan koagulan magnetit dan protein

Jenis Koagulan	Jenis Limbah	Kondisi Modifikasi	Kondisi Awal Limbah	Kondisi Koagulasi				Hasil	Peneliti		
				Dosis koagulan (mg/L)	Konsentrasi magnetit (mg/mL)	pH	Waktu (min)				
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> nanopartikel dan ekstrak biji <i>Moringa oleifera</i>	Pewarna <i>tartazine yellow</i>	Tanpa modifikasi	Konsentrasi zat warna 50±0,36 mg/L	n.a	0,6	3	10	Kondisi optimum: pH 3, 10 menit menghasilkan: %removal sebesar 70,16%	Mateus, dkk., 2018a		
						6	20				
						9	30				
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> nanopartikel dan ekstrak biji <i>Moringa oleifera</i>	Pewarna <i>reactive black 5</i>	Tanpa modifikasi	Konsentrasi zat warna 10 mg/L	100	2,5	2	0	Kondisi optimum: pH 2, dosis koagulan 100 mg/L, konsentrasi Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> : 2,5 mg/mL, 20 menit menghasilkan: %removal sebesar 96,2%	Miyashiro, dkk., 2021		
						3	3				
						4	5				
						5	8				
						6	10				
						7	20				
				600	10	8	30				
						9	40				
						10	50				
						11	60				
						1200	10			11	60
										12	

**Tabel 1.2** Premis penelitian terkait koagulasi menggunakan koagulan magnetit dan protein (*lanjutan*)

Jenis Koagulan	Jenis Limbah	Kondisi Modifikasi	Kondisi Awal Limbah	Kondisi Koagulasi				Hasil	Peneliti
				Dosis koagulan (mg/L)	Konsentrasi magnetit (mg/mL)	pH	Waktu (min)		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan ekstrak biji <i>Moringa oleifera</i>	Pewarna <i>reactive black 5</i>	Tanpa modifikasi	Konsentrasi zat warna 20 mg/L	50	4	3	0	Kondisi optimum: pH 6, dosis koagulan 115 mg/L dan waktu 5 menit menghasilkan: % <i>removal</i> sebesar 94%	Reck, dkk., 2020
							1		
							2		
							5		
							10		
							15		
							30		
							60		
							90		
							120		
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> nanopartikel dan ekstrak biji <i>Moringa oleifera</i>	Air sungai Pirapó	Tanpa Modifikasi	Turbiditas 143,33 NTU; pH 7,12; UV 245 nm 0,224 cm <sup>-1</sup>	500	0,25	n.a	10	Kondisi optimum: pada waktu 10 menit menghasilkan: % <i>removal</i> turbiditas sebesar 96,8%	Mateus, dkk., 2018b
							20		
							30		
							30		

**Tabel 1.2** Premis penelitian terkait koagulasi menggunakan koagulan magnetit dan protein (*lanjutan*)

Jenis Koagulan	Jenis Limbah	Kondisi Modifikasi	Kondisi Awal Limbah	Kondisi Koagulasi				Hasil	Peneliti
				Dosis koagulan (mg/L)	Konsentrasi magnetit (mg/mL)	pH	Waktu (min)		
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> termodifikasi asam sitrat dan ekstrak biji <i>Leucaena leucocephala</i>	Limbah sintetik zat warna kongo merah	0,080 g Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dengan variasi asam sitrat (0,25 M; 0,50 M; 0,75 M; 1,0 M)	Konsentrasi zat warna 10 ppm	60	n.a	2	10	Kondisi optimum: pH 3, dosis koagulan 420 mg/L, waktu 20 menit menghasilkan: • % <i>removal</i> sebesar 80% • Model kinetika <i>pseudo</i> orde 2	Kristianto, dkk., 2020
				120		3	20		
				180		4	30		
				240		6	40		
				300		8	50		
				360		10	60		
				420					
				480					
				540					
				600					

**Tabel 1.2** Premis penelitian terkait koagulasi menggunakan koagulan magnetit dan protein (*lanjutan*)

Jenis Koagulan	Jenis Limbah	Kondisi Modifikasi	Kondisi Awal Limbah	Kondisi Koagulasi				Hasil	Peneliti
				Dosis koagulan (mg/L)	Konsentrasi magnetit (mg/mL)	pH	Waktu (min)		
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> termodifikasi asam tanin dan ekstrak biji <i>Leucaena leucocephala</i>	Limbah sintetik zat warna kongo merah	5 g Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dan 2,5 g asam tanin pada pH 4	10 ppm	25	n.a	4	60	Kondisi optimum: pH 2, konsentrasi awal limbah 10 ppm, kapasitas adsorpsi 0,41 mg eqBSA/mg magnetit, dosis koagulan 100 mg/L dan waktu 60 menit	Hermawan dan Carmen, 2021
			15 ppm	50					
			20 ppm	100					
			25 ppm						
			30 ppm						
			35 ppm	150					
			40 ppm						
			50 ppm						
			60 ppm	200					
			70 ppm						
					5		Menghasilkan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• %removal sebesar 89,10</li> <li>• Model kinetika pseudo orde 2</li> </ul>		



## 1.5 Hipotesis

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, dapat disusun beberapa hipotesis sebagai berikut:

1. Kapasitas adsorpsi protein biji kelor pada magnetit optimum pada pH di sekitar pH isoelektriknya. Biji kelor memiliki pH isoelektrik 10–11 (Ndabigengesere, dkk., 1995). Semakin dekat pada titik isoelektriknya, protein memiliki jumlah muatan negatif dan positif hampir sama (Hadjesfandiari dan Parambath, 2018) yang menyebabkan gaya tolak menolak antar muatan semakin kecil sehingga struktur protein jauh lebih rapat dan memungkinkan protein hanya membutuhkan sedikit ruang untuk berikatan di permukaan magnetit sehingga terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi protein biji kelor (Lee dan Ruckenstein, 1988).
2. Kapasitas adsorpsi protein biji kelor pada magnetit yang dimodifikasi dengan asam karboksilat lebih optimal dibandingkan magnetit tanpa modifikasi karena keberadaan gugus hidroksil ( $-OH$ ) asam karboksilat membentuk ikatan yang stabil dengan besi oksida nanopartikel. Selain itu, ikatan hidrofobik antara magnetit dan protein dapat terjadi pada kondisi asam (Ur Rahma, dkk., 2012). Asam humat memiliki gugus hidroksil lebih banyak sehingga ikatan hidrofobik antara magnetit dengan protein semakin meningkat sehingga profil kapasitas adsorpsinya lebih tinggi dibandingkan menggunakan asam galat (Kim, dkk., 2007).
3. Profil pengaruh pH, dosis ekstrak protein, magnetit, dan konsentrasi awal kongo merah terhadap *%removal* zat warna dan volume *sludge* sebagai berikut:
  - a. *%removal* zat warna dan volume *sludge* meningkat pada rentang pH 3–10. Asam amino pada protein biji kelor bermuatan positif jika nilai pH berada di bawah titik isoelektriknya (Shehata dan Thannoun, 1981). pH isoelektrik kongo merah sebesar 3 sehingga kongo merah bermuatan negatif jika nilai  $pH > 3$  sehingga pada rentang pH tersebut terjadi *charge neutralization* akibat adanya perbedaan muatan antara protein dari biji kelor dengan zat warna kongo merah (Tie, dkk., 2015). *Charge neutralization* ini menyebabkan koloid terdestabilisasi membentuk flok yang mengendap sehingga menghasilkan *%removal* zat warna yang tinggi diiringi dengan jumlah volume *sludge* yang tinggi juga.

- b. *%removal* zat warna dan volume *sludge* meningkat seiring bertambahnya dosis ekstrak protein hingga mencapai dosis optimumnya. Dosis koagulan magnetik yang berlebih menurunkan efisiensi koagulasi zat warna serta volume dan terjadi restabilisasi koloid yang menyebabkan koloid mengalami pembalikan muatan; semula bermuatan negatif menjadi positif sehingga terjadi gaya tolak-menolak antara koagulan magnetik dengan koloid sehingga mengalami penurunan efisiensi koagulasi zat warna dan volume *sludge*-nya (Binnie dan Kimber, 2013; Tie, dkk., 2015).
        - c. *%removal* dan volume *sludge* tidak berpengaruh terhadap peningkatan dosis magnetit yang diberikan. Magnetit tidak berperan terhadap proses koagulasi; hanya berpengaruh pada waktu sedimentasi saja, di mana flok-flok akan bersedimentasi lebih cepat seiring bertambahnya dosis magnetit (Kristianto, dkk., 2020). Hal tersebut diakibatkan karena adanya gaya magnet yang dibantu oleh magnet eksternal yang diberikan selama sedimentasi.
        - d. *%removal* dan volume *sludge* menurun seiring bertambahnya konsentrasi awal zat warna kongo merah pada dosis koagulan yang sama karena semakin banyak partikel koloid yang perlu dikoagulasi oleh koagulan. Ketersediaan situs aktif protein koagulan yang sama mengakibatkan koagulan akan mencapai titik jenuhnya di mana situs aktif protein yang mengkoagulasi partikel koloid sudah tidak tersedia lagi sehingga mengakibatkan menurunnya *%removal* zat warna (Hoong dan Ismail, 2018; Yong dan Ismail, 2016). Volume *sludge* juga mengalami peningkatan hingga mencapai titik jenuh koagulannya. Setelah melewati titik jenuh, volume *sludge* tidak mengalami perubahan untuk penambahan konsentrasi awal zat warna kongo merah lebih lanjut (Hoong dan Ismail, 2018).
4. Model kinetika sedimentasi yang cocok untuk proses koagulasi adalah pseudo orde 2, di mana proses adsorpsi yang terjadi adalah *chemisorption* (Jabar, dkk., 2020) akibat adanya ikatan dipol-dipol atau ikatan hidrogen. Ikatan tersebut disebabkan adanya beda muatan antara protein dengan koagulan magnetik yang akan mempercepat waktu sedimentasi karena selain adanya gaya gravitasi, sedimentasi juga dibantu oleh gaya magnet eksternal yang diberikan selama pengendapan (C Okoli, 2012; J. Zhang, 2012). Gaya magnetik eksternal membantu proses tumbukan pada flok sehingga dapat mempercepat waktu sedimentasi (Lv, dkk., 2019).

## 1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui profil kapasitas adsorpsi protein pada besi oksida nanopartikel terhadap pH dalam fungsionalisasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
2. Mengetahui profil kapasitas adsorpsi protein pada besi oksida nanopartikel dengan modifikasi dengan asam galat atau asam humat dalam proses fungsionalisasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
3. Mengetahui profil *%removal* zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan terhadap pH dalam proses koagulasi limbah sintetik zat warna kongo merah dengan metode adsorpsi.
4. Mengetahui profil *%removal* zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan terhadap pH, dosis ekstrak protein, magnetit, dan konsentrasi awal zat warna kongo merah pada proses koagulasi limbah sintetik zat warna kongo merah dengan metode dispersi.
5. Menentukan model kinetika penurunan konsentrasi zat warna yang sesuai untuk koagulan magnetik dan ekstrak protein saja.

## 1.7 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat bagi mahasiswa dan industri, diantaranya:

1. **Bagi mahasiswa**, untuk mengetahui pengaruh pH dan dosis koagulan pada proses koagulasi limbah sintetik zat warna. Mahasiswa juga dapat mengetahui model kinetika yang sesuai, serta penurunan konsentrasi zat warna, *volume sludge*, dan nilai *COD* untuk koagulan magnetik dan ekstrak protein saja.
2. **Bagi industri**, untuk mengetahui penggunaan koagulan alami sebagai pengolahan limbah sintetik yang ramah lingkungan, terkhususkan untuk industri tekstil.