

# **KAJIAN KOAGULASI KONGO MERAH DENGAN KOAGULAN MAGNETIK DAN KOAGULAN PEMBANTU NATRIUM ALGINAT**

## **Laporan Penelitian**

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

oleh:

**Elianne Dita Suhardi**

(6141901021)

**Firstian Virtue Hermawan**

(6141901063)

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  
2023**



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

**LEMBAR PENGESAHAN**

Nama : Elianne Dita Suhardi

NPM : 6141901021

Nama : Firstian Virtue Hermawan

NPM : 6141901063

Judul : Kajian Koagulasi Kongo Merah dengan Koagulan Magnetik dan Koagulan Pembantu Natrium Alginat

**CATATAN :**

---

---

---

---

---

---

---

Telah diperiksa dan disetujui,  
Bandung, 14 Februari 2023

Pembimbing 1

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

Pembimbing 2

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



LEMBAR REVISI

Nama : Elianne Dita Suhardi

NPM : 6141901021

Nama : Firstian Virtue Hermawan

NPM : 6141901063

Judul : Kajian Koagulasi Kongo Merah dengan Koagulan Magnetik dan Koagulan  
Pembantu Natrium Alginat

CATATAN :

1. Penyesuaian *template* grafik agar lebih mudah dibaca
2. Tampilkan hasil  $q_e$  dan bahas keterkaitannya dengan kesetimbangan
3. Alurkan  $k_2$  dan  $q_e$  terhadap pH dan bahas
4. Pembahasan dan kesimpulan terkait pengaruh koagulan magnetik diperbaiki karena setelah 1 jam tidak terlihat perubahan *%removal* yang berarti sementara pengaruh pada volume *sludge* ada namun apakah dapat dianggap signifikan?

Telah diperiksa dan disetujui,  
Bandung, 14 Februari 2023

Penguji 1

Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D.

Penguji 2

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



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

**SURAT PERNYATAAN**

Kami yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Elianne Dita Suhardi

NPM : 6141901021

Nama : Firstian Virtue Hermawan

NPM : 6141901063

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

**Kajian Koagulasi Kongo Merah dengan Koagulan Magnetik dan Koagulan  
Pembantu Natrium Alginat**

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



Elianne Dita Suhardi  
(6141901021)



Firstian Virtue Hermawan  
(6141901063)

## INTISARI

*Polyaluminium chloride* (PAC) merupakan koagulan inorganik yang umum digunakan untuk koagulasi limbah. Namun, penggunaan PAC sebagai koagulan dapat berdampak buruk karena menyebabkan *Alzheimer* pada manusia, toksik bagi organisme akuatik, serta menurunkan pH larutan hasil koagulasi. Penggunaan bahan alami seperti natrium alginat sebagai koagulan pembantu menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi penggunaan PAC. Natrium alginat merupakan polisakarida alami yang dapat membentuk struktur *egg-box* yang membantu proses koagulasi sehingga dapat digunakan sebagai koagulan pembantu. Koagulasi konvensional menggunakan koagulan inorganik PAC dan koagulan pembantu natrium alginat cukup efektif; namun waktu sedimentasi yang diperlukan masih relatif lambat (>30 menit). Maka dari itu, penggunaan besi nanopartikel seperti magnetit dan bantuan medan magnet eksternal dapat mempersingkat waktu sedimentasi.

Pada penelitian ini, larutan zat warna kongo merah dengan konsentrasi awal 50 ppm digunakan sebagai model limbah sintetik. Sebelum dilakukan proses koagulasi, koagulan magnetik disintesis dengan mencampurkan larutan PAC dan magnetit, lalu didispersikan dengan ultrasonikasi (15 menit) sehingga terbentuk magnetit-PAC (MPAC). Koagulasi dilakukan menggunakan *jar test apparatus* di mana dilakukan pengadukan cepat (100 rpm, 2 menit) yang diikuti pengadukan lambat (20 rpm, 20 menit) dan sedimentasi (60 menit). Variasi pH (3-8) dengan konsentrasi koagulan magnetik dilakukan untuk menentukan pH terbaik proses koagulasi. Setelah didapatkan pH terbaik, profil koagulasi terhadap konsentrasi magnetit dipelajari pada berbagai dosis magnetit; sebesar 12,5, 18,75, 25, 31,25, 37,5, serta 50 ppm dan konsentrasi PAC tetap sebesar 25 ppm. Lebih lanjut, dilakukan koagulasi magnetik beserta koagulan pembantu dengan memvariasikan dosis natrium alginat pada konsentrasi 0,25, 0,5, 0,75, 1, 1,25, 1,5 ppm dengan konsentrasi PAC tetap sebesar 7,5 ppm serta dosis magnetit dan pH terbaik. Sebagai pembandingan dilakukan tempuhan koagulasi dengan PAC saja, magnetit saja, natrium alginat saja, dan MPAC saja. Untuk mengkaji kinerja koagulasi, persen penurunan zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan diukur menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* dan *Imhoff cone*. Kinetika sedimentasi diamati setiap 5 menit selama waktu sedimentasi 1 jam menggunakan model kinetika pseudo orde 1 dan 2.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa koagulasi berjalan paling efektif pada pH 3 serta kinetika *settling* akan meningkat seiring peningkatan dosis magnetit. Dosis magnetit yang paling efektif adalah pada 37,5 ppm dengan nilai  $k_2$  sebesar 1,2263 g/mg.min dan persen *removal* sebesar 97% pada dosis PAC 25 ppm. Proses sedimentasi flok hasil koagulasi MPAC terjadi lebih cepat dibandingkan yang menggunakan PAC saja. Kinerja koagulasi juga meningkat dengan penambahan dosis koagulan pembantu natrium alginat. Penambahan natrium alginat pada dosis terbaik 0,5 ppm meningkatkan persen *removal* zat warna menjadi 81,7% dari 48,3% bila hanya menggunakan MPAC dengan dosis PAC 7,5 ppm. Koagulasi kongo merah mengikuti model kinetika *pseudo* orde 2 dengan jenis adsorpsi yang terjadi adalah *chemisorption* dimana interaksi dipol-dipol terjadi akibat perbedaan muatan koagulan MPAC dengan koloid zat warna kongo merah sehingga mekanisme koagulasi yang terjadi adalah netralisasi muatan.

Kata kunci : magnetit, natrium alginat, PAC, persen *removal* zat warna, volume *sludge*

## ABSTRACT

*Polyaluminium chloride* (PAC) is an inorganic coagulant frequently used for wastewater treatment. The usage of PAC as coagulant can be harmful to living environment as it can cause Alzheimer to humans, toxic to aquatic ecosystems, and decrease the pH of coagulated solution. The use of natural and biocompatible materials such as sodium alginate as coagulant aid serve as an alternative to reduce the usage of PAC. Sodium alginate is a natural polysaccharide whose ability to form egg-box structure can help enhance the coagulation process thus sodium alginate can be used as coagulant aid. Conventional coagulation with PAC and sodium alginate as coagulant aid is quite effective however the settling time of flocks is still relatively slow (>30 minutes). Settling time can be greatly reduced with the help of iron oxide nanoparticles such as magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) and with the presence of an external magnetic field.

In this research, congo red dye solution with concentration of 50 ppm was used as synthetic wastewater. Before coagulation, PAC and magnetite were mixed and dispersed with ultrasonication for 15 minutes to form magnetic coagulant MPAC. Coagulation was carried out using jar test apparatus where the sample solutions were stirred with fast stirring (100 rpm, 2 minutes) then followed by slow stirring (20 rpm, 20 minutes) and sedimentation (60 minutes). Variation of pH (3-8) with constant magnetic coagulant concentration was carried out to determine the best pH for the coagulation process. After determining the best pH, the coagulation profile on magnetite concentration was studied at various magnetite doses (12.5, 18.75, 25, 31.25, 37.5, 50 ppm) while the PAC concentration remained at 25 ppm. Furthermore, coagulation runs with MPAC as coagulant and sodium alginate as coagulant aid at best pH were observed, with sodium alginate dosage varied at 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5 ppm, while PAC dosage is constant (7,5 ppm) and best magnetite dose. For comparative study, coagulation was also carried out with only PAC, only magnetite, only sodium alginate, and only MPAC. To examine the coagulation performance, percent of color removal and sludge volume were measured with spectrophotometer UV-Vis and Imhoff cone. Sedimentation kinetics were observed every 5 minutes within 1 hour of sedimentation time with the sedimentation kinetics modeled with pseudo first order and pseudo second order model.

The research result showed that coagulation of congo red dye works effectively on pH 3 and that the settling kinetics would increase with increasing doses of magnetite. The most effective dose of magnetite is 37.5 ppm with a  $k_2$  value of 1.2263 g/mg.min and a percent removal of 97% when PAC dosage used is 25 ppm. Sedimentation of flocs made from MPAC coagulation occurred faster than when PAC used alone. Coagulation performance also increases with the addition of sodium alginate as coagulant aid. The addition of sodium alginate at the best dose of 0.5 ppm increased the percentage of dye removal to 81.7% from 48.3% when using MPAC only with PAC dosage 7,5 ppm. Pseudo second order kinetic model fits well with the coagulation indicating that the adsorption of congo red dye is chemisorption, where there is dipole-dipole interactions occur due to differences in the charge of the MPAC coagulant and colloidal synthetic wastewater, therefore the coagulation mechanism that occurred is charge neutralization.

Keywords : magnetite, sodium alginate, PAC, percent color removal, sludge volume

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya sehingga laporan penelitian dengan judul “Kajian Koagulasi Kongo Merah dengan Koagulan Magnetik dan Koagulan Pembantu Natrium Alginat” dapat selesai tepat pada waktunya. Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dalam penyusunan laporan penelitian ini, yaitu:

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

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam laporan penelitian ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran sebagai evaluasi bagi penulis. Penulis berharap agar laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih atas perhatian pembaca.

Bandung, 10 Februari 2023

Penulis



## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL .....   | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN .....   | ii   |
| SURAT PERNYATAAN .....  | iii  |
| LEMBAR REVISI.....  | iv   |
| KATA PENGANTAR.....   | v    |
| DAFTAR ISI .....  | vi   |
| DAFTAR GAMBAR.....  | viii |
| DAFTAR TABEL .....  | x    |
| INTISARI .....  | xi   |
| ABSTRAK.....  | xii  |
| BAB I PENDAHULUAN .....   | 1    |
| 1.1 Latar Belakang.....   | 1    |
| 1.2 Tema Sentral Masalah .....  | 3    |
| 1.3 Identifikasi Masalah .....  | 4    |
| 1.4 Premis .....  | 4    |
| 1.5 Hipotesis .....   | 4    |
| 1.6 Tujuan Penelitian.....  | 5    |
| 1.7 Manfaat Penelitian.....   | 6    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....   | 9    |
| 2.1 Koloid dan Mekanisme Koagulasi .....  | 9    |
| 2.2 Koagulasi Pewarna Kongo Merah dengan Koagulan Inorganik dan<br>Polisakarida ..... | 14   |
| 2.3 Koagulasi Magnetik dengan Nanopartikel Magnetit.....                              | 20   |
| 2.4 Pengaruh Variasi terhadap Proses Koagulasi .....                                  | 23   |
| 2.5 Model Kinetika Koagulasi.....   | 27   |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....   | 29   |
| 3.1 Metodologi Penelitian.....  | 29   |



|   |    |
|---|----|
| 3.2 Alat dan Bahan .....  | 30 |
| 3.3 Prosedur Penelitian .....   | 31 |
| 3.3.1 Koagulasi Magnetik Tanpa Menggunakan Koagulan Pembantu .....          | 30 |
| 3.3.2 Koagulasi Magnetik Menggunakan Koagulan Pembantu .....                | 31 |
| 3.4 Rancangan Percobaan.....  | 32 |
| 3.5 Analisis .....  | 34 |
| 3.6 Lokasi dan Jadwal Penelitian .....                                      | 34 |
| BAB IV PEMBAHASAN .....   | 35 |
| 4.1 Pengaruh pH terhadap Koagulasi Zat Warna Kongo Merah.....               | 35 |
| 4.2 Pengaruh Dosis Magnetit pada Koagulasi Zat Warna Kongo Merah .....      | 40 |
| 4.3 Pengaruh Dosis Natrium Alginat pada Koagulasi Zat Warna Kongo Merah.... | 44 |
| 4.4 Komparasi Kinerja MPAC-Natrium Alginat.....                             | 47 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....  | 51 |
| 5.1 Kesimpulan.....   | 51 |
| 5.2 Saran .....   | 51 |
| DAFTAR PUSTAKA.....   | 52 |
| LAMPIRAN A .....  | 60 |
| LAMPIRAN B SAFETY DATA SHEET .....  | 65 |
| LAMPIRAN C HASIL ANTARA .....   | 74 |
| LAMPIRAN D CONTOH PERHITUNGAN .....   | 95 |

## DAFTAR GAMBAR

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Gambar 2.1</b>  | Lapisan ganda koloid bermuatan negatif beserta lapisan-lapisan penyusunnya.....  | 9  |
| <b>Gambar 2.2</b>  | Ilustrasi gaya <i>van der Waals</i> dan gaya elektrostatik pada 2 partikel koloid oleh teori DLVO .....  | 11 |
| <b>Gambar 2.3</b>  | Efek gaya antar partikel pada stabilitas sistem koloid (a) sistem koloid dengan nilai zeta potensial tinggi (b) sistem koloid dengan nilai zeta potensial rendah.....  | 12 |
| <b>Gambar 2.4</b>  | Mekanisme koagulasi (a) netralisasi muatan (b) <i>interparticle bridging</i> (c) <i>sweep coagulation</i> .....  | 13 |
| <b>Gambar 2.5</b>  | Struktur molekul zat warna kongo merah .....   | 15 |
| <b>Gambar 2.6</b>  | Ilustrasi koagulasi zat warna kongo merah dengan koagulan PAC (a) netralisasi muatan dengan ion monomerik/polimerik dari koagulan (b) pembentukan <i>mesh</i> endapan bermuatan positif dengan kongo merah .....   | 16 |
| <b>Gambar 2.7</b>  | Struktur molekul natrium alginat .....   | 17 |
| <b>Gambar 2.8</b>  | Proses koagulasi dengan PAC dan natrium alginat (a) reaksi kation Al dengan alginat membentuk struktur “ <i>egg-box</i> ” (b) pembentukan <i>bridging</i> oleh natrium alginat.....  | 19 |
| <b>Gambar 2.9</b>  | Struktur kristal besi oksida (a) hematit (b) magnetit (c) maghemit .....   | 21 |
| <b>Gambar 2.10</b> | Sifat superparamagnetik besi oksida nanopartikel dengan adanya medan magnet eksternal (a) magnetisasi tanpa ada medan magnet eksternal (b) penjajaran <i>spin</i> dalam keberadaan medan magnet eksternal (c) <i>single spin</i> atau <i>magnetic monodomain</i> ..... | 22 |
| <b>Gambar 2.11</b> | Ilustrasi proses koagulasi magnetik .....  | 23 |
| <b>Gambar 2.12</b> | Perolehan spesies Al pada pH yang berbeda untuk PAC dosis 2 ppm .....  | 24 |
| <b>Gambar 3.2</b>  | Sketsa rangkaian alat koagulasi dengan <i>jar test apparatus</i> .....   | 30 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Gambar 3.3</b> Diagram alir koagulasi zat warna kongo merah dengan <i>MPAC</i> .....  | 30 |
| <b>Gambar 3.4</b> Diagram alir koagulasi zat warna kongo merah dengan <i>MPAC</i> dan koagulan pembantu .....  | 31 |
| <b>Gambar 4.1</b> Profil pengaruh pH terhadap persen <i>removal</i> dan volume <i>sludge</i> .....   | 35 |
| <b>Gambar 4.2</b> (a) Hasil koagulasi pH 3 (b) Volume <i>sludge</i> hasil koagulasi variasi pH .....   | 36 |
| <b>Gambar 4.3</b> (a) Profil persen <i>removal</i> konsentrasi zat warna terhadap waktu variasi pH (b) Perbandingan $q_e$ variasi pH .....   | 38 |
| <b>Gambar 4.4</b> Profil pengaruh pH terhadap nilai parameter kinetika $k_2$ .....   | 39 |
| <b>Gambar 4.5</b> Profil pengaruh dosis magnetit terhadap persen <i>removal</i> dan volume <i>sludge</i> .....   | 40 |
| <b>Gambar 4.6</b> (a) Profil persen <i>removal</i> konsentrasi zat warna terhadap waktu secara keseluruhan variasi dosis magnetit (b) Perbandingan persen <i>removal</i> sampai menit ke-15 variasi dosis magnetit ..... | 41 |
| <b>Gambar 4.7</b> Profil pengaruh dosis natrium alginat terhadap persen <i>removal</i> dan volume <i>sludge</i> .....  | 44 |
| <b>Gambar 4.8</b> Flok yang terbentuk oleh: (a) <i>MPAC</i> tanpa natrium alginat (b) <i>MPAC</i> dan natrium alginat dosis 0,5 ppm .....  | 45 |
| <b>Gambar 4.9</b> Profil persen <i>removal</i> konsentrasi zat warna terhadap waktu variasi dosis natrium alginat .....  | 46 |
| <b>Gambar 4.10</b> Profil persen <i>removal</i> konsentrasi zat warna terhadap waktu antara magnetit saja, natrium alginat saja, <i>MPAC</i> dan <i>MPAC</i> + natrium alginat sebagai koagulan .....                    | 48 |
| <b>Gambar 4.11</b> Ilustrasi adsorpsi dan <i>bridging</i> antara alginat dengan flok yang terbentuk .....  | 49 |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabel 1.1</b> Premis penelitian terkait koagulasi menggunakan koagulan pembantu .....   | 7  |
| <b>Tabel 1.2</b> Premis penelitian terkait koagulasi dengan nanopartikel magnetik.....   | 8  |
| <b>Tabel 3.1</b> Rancangan percobaan variasi pH pada proses koagulasi magnetik tanpa menggunakan natrium alginat.....              | 32 |
| <b>Tabel 3.2</b> Rancangan percobaan variasi dosis magnetit pada proses koagulasi magnetik tanpa menggunakan natrium alginat ..... | 33 |
| <b>Tabel 3.3</b> Rancangan percobaan koagulasi dengan <i>MPAC</i> variasi dosis natrium alginat ..                                 | 33 |
| <b>Tabel 3.4</b> Jadwal Penelitian .....   | 34 |
| <b>Tabel 4.1</b> Parameter kinetika pseudo orde 1 variasi pH .....   | 37 |
| <b>Tabel 4.2</b> Parameter kinetika pseudo orde 2 variasi pH .....   | 37 |
| <b>Tabel 4.3</b> Parameter kinetika pseudo orde 1 variasi dosis magnetit .....   | 42 |
| <b>Tabel 4.4</b> Parameter kinetika pseudo orde 2 variasi dosis magnetit.....  | 43 |
| <b>Tabel 4.5</b> Parameter kinetika pseudo orde 1 variasi dosis alginat .....  | 46 |
| <b>Tabel 4.6</b> Parameter kinetika pseudo orde 2 variasi dosis alginat .....  | 47 |
| <b>Tabel 4.7</b> Parameter kinetika pseudo orde 1 variasi pembanding .....   | 49 |
| <b>Tabel 4.8</b> Parameter kinetika pseudo orde 2 variasi pembanding .....   | 50 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri tekstil merupakan salah satu penyumbang limbah zat warna seperti pigmen maupun zat kimia lainnya yang dapat mencemari perairan. Limbah tersebut mempengaruhi *BOD*, *COD*, kekeruhan, pH, suhu, serta keberadaan bahan kimia beracun dalam air limbah hasil proses industri (Verma, dkk., 2012). Keberadaan zat pewarna pada air limbah yang berkonsentrasi tinggi tidak diinginkan karena zat pewarna bersifat toksik, dapat mengurangi penetrasi sinar matahari, dan mengurangi jumlah oksigen terlarut pada air yang ditandai dengan meningkatnya *BOD* dan *COD* pada air limbah. Hal-hal tersebut mengakibatkan ekosistem perairan terganggu sehingga keberadaan zat warna harus dihilangkan sepenuhnya dari air limbah sebelum dibuang (Shi, dkk., 2007). Salah satu metode konvensional namun aplikatif untuk memisahkan zat warna dalam pengolahan limbah industri tekstil adalah koagulasi. Proses koagulasi memiliki keuntungan karena dapat dilakukan dengan skala besar dengan operabilitas dan rasio efektifivitas terhadap biaya yang relatif tinggi (Shi, dkk., 2007).

Pengolahan air limbah industri maupun limbah kota menggunakan metode koagulasi banyak dilakukan menggunakan koagulan inorganik berbasis alum karena dapat mengolah air limbah dengan perbedaan karakteristik kimia dan biologis yang luas (Benschoten dan Edzwald, 1990). Salah satu koagulan inorganik berbasis alum yang banyak digunakan dalam pengolahan limbah adalah *polyaluminium chloride (PAC)* yang lebih efektif dalam mengurangi *COD* serta memiliki sifat dekolorisasi yang lebih baik dibandingkan dengan koagulan anorganik konvensional (Prajapati, dkk., 2016). Namun, proses koagulasi menggunakan PAC melepaskan aluminium ke larutan yang dapat menyebabkan *Alzheimer* pada manusia dan juga bersifat toksik bagi organisme air (Theodoro, 2013). Selain itu, *PAC* juga dapat menurunkan pH larutan setelah koagulasi sehingga diperlukan penyesuaian pH lebih lanjut. Oleh karena itu, untuk meminimalisasi penggunaan *PAC* dalam aplikasi koagulasi dapat dilakukan dengan penggunaan koagulan alami.

Koagulan alami bersifat *biodegradable* dan *eco-friendly* dalam proses pengolahan air limbah. Beberapa bahan alami yang dapat digunakan sebagai koagulan alami adalah kitosan, alginat, pati, dan protein (Bahrodin, dkk., 2021; Devrimci, dkk., 2012). Diantara bahan alam tersebut, alginat memiliki keunggulan karena sifat uniknya yang dapat membentuk struktur *egg-box* yang membantu proses koagulasi dengan mekanisme *sweep coagulation* (Liu, dkk.,

2020). Selain itu sebagai komponen utama dinding sel alga coklat yang merupakan sumber daya hayati Indonesia yang melimpah, penggunaan alginat sebagai koagulan pembantu memiliki peluang yang besar (Setyoaji, dkk., 2019). Koagulan berbasis tanaman seperti alga coklat, lebih efektif dalam pengolahan limbah akan tetapi tidak aplikatif untuk digunakan pada industri karena biayanya yang lebih mahal daripada koagulan inorganik (Nath, dkk., 2019). Karena hal tersebut, pada penelitian ini natrium alginat digunakan bersamaan dengan koagulan PAC sebagai koagulan pembantu. Penambahan koagulan pembantu natrium alginat dapat mengurangi dosis PAC yang digunakan sehingga dampak negatif PAC terhadap manusia dan lingkungan dapat berkurang dengan biaya koagulasi yang lebih ekonomis.

Salah satu kekurangan dari proses koagulasi tradisional dengan koagulan pembantu adalah proses sedimentasi relatif lama (>30 menit) (Lv, dkk., 2018). Proses koagulasi tradisional dapat dipercepat dengan penambahan nanopartikel magnetik. Ada dua metode koagulasi yang melibatkan partikel magnetik, yaitu *magnetic seeding coagulation* dan koagulasi magnetik. *Magnetic seeding coagulation* merupakan metode koagulasi yang sudah banyak digunakan di mana komponen magnetik dimasukkan secara langsung pada limbah. Namun, besi nanopartikel yang dibutuhkan untuk metode *magnetic seeding coagulation* lebih banyak dibandingkan dengan metode koagulasi magnetik (Zhang, dkk., 2017). Metode koagulasi magnetik menggunakan koagulan inorganik PAC serta nanopartikel magnetit lebih efektif dalam menurunkan turbiditas karena waktu sedimentasi flok yang lebih cepat walaupun jumlah nanopartikel magnetit yang digunakan sama dengan metode *magnetic seeding coagulation* (Zhang, dkk., 2017). Aplikasi koagulasi magnetik sudah banyak dilakukan untuk mengolah air minum dan limbah industri terutama pada pengurangan turbiditas, logam ion berat zat pewarna, dan sebagainya (Zhang, dkk., 2011). Selain mempercepat proses koagulasi, koagulan magnetik memiliki *recovery* nanopartikel magnetik yang efektif sehingga dapat digunakan kembali. Pada penelitian ini digunakan magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), salah satu jenis besi oksida nanopartikel yang dapat dimanipulasi dengan medan magnet eksternal dan digunakan untuk aplikasi biomedis dan pengolahan limbah. Magnetit digunakan sebagai nanopartikel magnetik karena memiliki nilai saturasi magnetik yang besar dan sifat superparamagnetik sehingga tanpa adanya medan magnet, partikel tersebut dapat dipisahkan dari *sludge* yang terbentuk dengan lebih mudah (Zhang, dkk., 2017).

Berdasarkan kajian pustaka, terdapat banyak literatur mengenai efektifitas proses koagulasi tradisional yang melibatkan koagulan inorganik dengan koagulan alami sebagai koagulan pembantu dibandingkan dengan kinerja koagulan inorganik saja (Li, dkk., 2014; Liu, dkk., 2020; Rong, dkk., 2013). Selain itu, terdapat beberapa penelitian mengenai pengolahan air menggunakan metode koagulasi magnetik dengan koagulan inorganik dikombinasikan dengan nanopartikel magnetik serta koagulan alami dikombinasikan dengan nanopartikel magnetik yang dapat mempercepat proses sedimentasi dari flok-flok yang terbentuk (Kristianto, dkk., 2020; Lv, dkk., 2018; Lv, dkk., 2021). Namun, penelitian pengolahan air dengan koagulan magnetik yang melibatkan koagulan inorganik dipadukan dengan koagulan pembantu masih belum pernah dilakukan. Maka dari itu pada penelitian ini, digunakan koagulan inorganik *PAC* yang dibantu oleh koagulan alami natrium alginat dalam proses koagulasi magnetik dengan harapan dapat memperbaiki kinerja dari koagulasi tradisional.

## **1.2 Tema Sentral Masalah**

Penggunaan koagulan *PAC* telah banyak digunakan dalam pengolahan air limbah tekstil karena efektivitasnya dalam mengurangi konsentrasi zat warna dalam air. Namun di sisi lain, penggunaan *PAC* melepaskan senyawa yang berbahaya bagi manusia dan ekosistem perairan. Selain itu, penambahan *PAC* dapat menurunkan pH limbah zat warna sehingga tidak jarang diperlukan pengolahan *sludge* lebih lanjut sebelum pembuangan. Alternatif yang aplikatif untuk mengurangi dosis *PAC* yang dibutuhkan adalah dengan menambahkan natrium alginat sebagai koagulan pembantu. Adapun koagulasi oleh koagulan *PAC* dengan bantuan natrium alginat masih belum optimal karena membutuhkan waktu sedimentasi flok yang cukup lambat. Maka dari itu, dapat ditingkatkan kinerja proses koagulasi tersebut dengan menggabungkan koagulan inorganik *PAC* dengan nanopartikel magnetik untuk koagulasi magnetik dengan bantuan natrium alginat. Pada penelitian ini, diamati respon penurunan konsentrasi zat warna dan volume *sludge* untuk mengetahui performa koagulasi magnetik campuran koagulan *PAC* dengan nanopartikel magnetit dengan bantuan natrium alginat.



### 1.3 Identifikasi Masalah

Beberapa masalah yang dapat diidentifikasi pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana profil persen *removal* konsentrasi limbah zat warna kongo merah dan volume *sludge* yang dihasilkan pada berbagai variasi pH dalam koagulasi limbah zat warna kongo merah menggunakan koagulan magnetik?
2. Bagaimana profil persen *removal* konsentrasi limbah zat warna kongo merah dan volume *sludge* yang dihasilkan pada berbagai variasi dosis magnetit dalam koagulasi limbah zat warna kongo merah menggunakan koagulan magnetik?
3. Bagaimana profil persen *removal* konsentrasi limbah zat warna kongo merah dan volume *sludge* yang dihasilkan pada berbagai variasi dosis koagulan pembantu dalam koagulasi menggunakan koagulan magnetik dan koagulan pembantu?
4. Bagaimana model kinetika sedimentasi zat warna kongo merah menggunakan koagulan inorganik dan koagulan pembantu dengan dan tanpa melibatkan nanopartikel magnetit?

### 1.4 Premis

Berdasarkan kajian pustaka, dapat disusun beberapa premis yang dapat mendasari penelitian ini. Premis penelitian terkait koagulasi limbah dengan koagulan pembantu disajikan pada **Tabel 1.1** sedangkan premis penelitian terkait koagulasi dengan nanopartikel magnetik disajikan pada **Tabel 1.2**.

### 1.5 Hipotesis

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

1. Profil penurunan konsentrasi zat warna kongo merah serta volume *sludge* hasil koagulasi menggunakan koagulan magnetik *MPAC* diduga memiliki puncak pada kisaran pH 7. Pada rentang pH 6,8-8,5; zat warna kongo merah dan nanopartikel magnetit bermuatan negatif sedangkan *PAC* bermuatan positif sehingga netralisasi muatan dapat terjadi (Litefti, dkk., 2019; Yean, dkk., 2005; Zhao, dkk., 2015). Pada pH > 8,5 kinerja koagulasi akan menurun karena *PAC* bermuatan negatif sehingga tidak dapat berinteraksi dengan nanopartikel magnetit (Borgaonkar, 2011). Pada  $pH_{zpc}$  kongo merah < pH < 6,8; koagulasi tidak optimum karena nanopartikel magnetit bermuatan positif sehingga tidak dapat berasosiasi dengan *PAC* membentuk *MPAC*.

2. Laju penurunan konsentrasi limbah zat warna kongo merah dan waktu sedimentasi terbaik diperoleh saat rasio massa magnetit terhadap koagulan inorganik tertentu (Zhang, dkk., 2017). Bertambahnya dosis magnetit tidak akan mempengaruhi persen penurunan konsentrasi zat warna, akan tetapi laju penurunan konsentrasi zat warna akan meningkat (Kristianto, dkk., 2020); flok yang terbentuk dari proses koagulasi lebih besar (Zhang, dkk., 2017) serta kemungkinan terjadinya restabilisasi koloid.
3. Kinerja koagulasi menggunakan *MPAC* dan natrium alginat dapat diasumsikan mengikuti kinerja koagulasi oleh *PAC* dengan natrium alginat, karena magnetit tidak mempengaruhi persen penurunan konsentrasi zat warna (Kristianto, dkk., 2020). Penambahan natrium alginat akan meningkatkan persen penurunan zat warna kongo merah sampai titik maksimumnya namun volume *sludge* yang dihasilkan akan semakin meningkat (Choy, dkk., 2015). Setelah melewati titik persen penurunan maksimum, akan terjadi restabilisasi sehingga persen penurunan zat warna kongo merah menurun (Zhao, dkk., 2012).
4. Koagulasi kongo merah dengan *PAC* mengikuti mekanisme netralisasi muatan, adsorpsi, dan *sweep coagulation* zat warna oleh koagulan. Tahap adsorpsi biasanya merupakan *rate determining step* pada koagulasi, sehingga model kinetika adsorpsi cocok digunakan untuk mengamati kinetika *settling*. Model kinetika pseudo orde 2 dapat digunakan untuk mengamati proses koagulasi yang dikendalikan oleh tahap *chemisorption* (Obiora-Okafo, dkk., 2021).

## 1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui profil persen *removal* konsentrasi limbah zat warna kongo merah dan volume *sludge* yang dihasilkan menggunakan koagulan magnetik terhadap variasi pH.
2. Mengetahui profil persen *removal* konsentrasi limbah zat warna kongo merah dan volume *sludge* yang dihasilkan menggunakan koagulan magnetik terhadap variasi dosis magnetit.
3. Mengetahui profil persen *removal* konsentrasi limbah zat warna kongo merah dan volume *sludge* yang dihasilkan menggunakan koagulan magnetik dan koagulan pembantu terhadap variasi dosis koagulan pembantu.
4. Mengetahui model kinetika koagulasi zat warna kongo merah menggunakan koagulan inorganik dan koagulan pembantu natrium alginat dengan dan tanpa melibatkan nanopartikel magnetit.

## 1.7 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, di antaranya:

1. **Bagi mahasiswa**, dapat mengetahui pengaruh pH terhadap proses koagulasi magnetik limbah sintetik zat warna kongo merah dengan koagulan inorganik *PAC* dan koagulan pembantu polisakarida natrium alginat. Kemudian untuk mengetahui pengaruh pH, dosis koagulan magnetik, dan dosis koagulan pembantu terhadap penurunan konsentrasi zat warna dan volume *sludge* pada proses koagulasi. Selain itu dapat dibandingkan juga hasil koagulasi konvensional menggunakan *PAC* dengan koagulan pembantu natrium alginat serta koagulasi magnetik menggunakan *MPAC* dengan koagulan pembantu natrium alginat.
2. **Bagi industri terutama industri tekstil**, dapat mengembangkan penggunaan koagulan inorganik dipadukan dengan koagulan magnetik dan ditambah koagulan alami sebagai koagulan pembantu yang akan meningkatkan kecepatan proses sedimentasi sehingga kinerja koagulasi akan lebih baik

Tabel 1.1 Premis penelitian terkait koagulasi menggunakan koagulan pembantu

| Jenis Koagulan                      |                   | Jenis Limbah                         | Kondisi Awal Limbah (ppm) | Kondisi Koagulasi           |                               | pH   | Hasil   | Peneliti              |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------|---|-----------------------|
| Koagulan Primer                     | Koagulan Pembantu |                                      |                           | Dosis Koagulan Primer (ppm) | Dosis Koagulan Pembantu (ppm) |      |   |                       |
| <i>Polyaluminium chloride (PAC)</i> | Natrium alginat   | Asam humat                           | 4,52                      | 1                           | 0,1                           | 7,7  | Kondisi optimum koagulasi: konsentrasi natrium alginat 0,3 mg /L (%removal efficiency 66,5%)                    | Wang, dkk., 2014      |
|                                     |                   |                                      |                           | 2                           |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 3                           |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 4                           |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 5                           |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 6                           |                               |      |   |                       |
| <i>Polyaluminium chloride (PAC)</i> | Natrium alginat   | Asam humat                           | 5,12                      | 2                           | 0,1                           | 8,02 | Kondisi optimum koagulasi: konsentrasi natrium alginat $\geq$ 0,3 ppm (%removal 50%)                            | Liu, dkk., 2020       |
|                                     |                   |                                      |                           | 4                           |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 6                           |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 8                           |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 10                          |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 12                          |                               |      |   |                       |
| <i>Polyaluminium chloride (PAC)</i> | Natrium alginat   | Komposit CuO nanopartikel-asam humat | 4,88                      | 0,5                         | 0,2                           | 8,4  | Kondisi optimum koagulasi: konsentrasi PAC 3 ppm dan natrium alginat $\geq$ 0,2 ppm (%removal efficiency > 80%) | Wang, dkk., 2015      |
|                                     |                   |                                      |                           | 1,0                         |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 2,0                         |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 2,5                         |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 3,0                         |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | Alum                        |                               |      |   |                       |
| 20                                  |                   |                                      |                           |                             |                               |      |   |                       |
| 40                                  |                   |                                      |                           |                             |                               |      |   |                       |
| 50                                  |                   |                                      |                           |                             |                               |      |   |                       |
| 60                                  |                   |                                      |                           |                             |                               |      |   |                       |
| 80                                  |                   |                                      |                           |                             |                               |      |   |                       |
| 100                                 |                   |                                      |                           |                             |                               |      |   |                       |
| 100                                 |                   |                                      |                           |                             |                               |      |   |                       |
| Aluminium sulfat (AS)               | Natrium alginate  | <i>Disperse yellow (RFGL)</i>        | 4,0-6,5                   | 0,5                         | 100                           | 6-8  | Kondisi optimum koagulasi: konsentrasi AS 6,5 mg/mL dan natrium alginat 1 mg (%color removal 86%)               | Wu, dkk., 2012        |
|                                     |                   |                                      |                           | 1,0                         |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 2,0                         |                               |      |   |                       |
| <i>Polyaluminium chloride (PAC)</i> | -                 | Zat warna kongo merah                | 500                       | 100                         | -                             | -    | Kondisi optimum koagulasi: konsentrasi PAC 250 ppm (%color removal 99%)   | Prajapati, dkk., 2015 |
|                                     |                   |                                      |                           | 150                         |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 200                         |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 250                         |                               |      |   |                       |
|                                     |                   |                                      |                           | 250                         |                               |      |   |                       |

Tabel 1.2 Premis penelitian terkait koagulasi dengan nanopartikel magnetik

| Jenis Koagulan  |                    | Jenis Limbah                                     | Kondisi Awal Limbah | Kondisi Koagulasi     |                          |         | Hasil   | Peneliti               |
|---|--------------------|--|---------------------|-----------------------|--------------------------|---------|---|------------------------|
| Koagulan Primer   | Jenis Nanopartikel |  |                     | Dosis Koagulan Primer | Konsentrasi Nanopartikel | pH      |   |                        |
| <i>Polyaluminium chloride (PAC)</i>   | Magnetit           | Air sintetik (Asam Humat and Kaolin)             | 0,8 mmol/L          | 0,02–0,20 mmol/L      | 25–100 ppm               | 7,6     | Kondisi optimum: dosis PAC+SIP 50 ppm ( <i>Strenght Factor</i> =29,3%, <i>Recovery Factor</i> 46,2%)  | Zhang, dkk., 2017      |
| <i>Polyaluminium chloride (PAC)</i>   | Magnetit           | Air simulasi (Asam Humat, kaolin, 5% air limbah) | 0,01 mol/L          | 15 ppm                | 0–50 ppm                 | 5-9     | Kondisi optimum: dosis PAC 15 ppm magnetit 30 ppm dan pH 5 (%removal sebesar 93,8%)   | Lv, dkk., 2018         |
| <i>Polyaluminium chloride (PAC)</i>   | Magnetit           | Air sintetik (Asam Humat, kaolin)                | 6,8-7,5 ppm         | 0,025–0,7 mM          | 20–100 ppm               | 7,3-7,5 | Kondisi optimum: dosis PAC 0,42 mM dan magnetit 40 ppm (% <i>turbidiy removal</i> 96%)  | Lv, dkk., 2021b        |
| Ekstrak biji petai cina   | Magnetit           | Zat warna kongo merah                            | 50 ppm              | 4 ppm                 | 0,5 ppm                  | 3       | Kondisi optimum: pH 3, dosis koagulan 20 ppm, konsentrasi nanopartikel 3 mg/mL ekstrak (% <i>removal</i> 90%, waktu <i>settling</i> 30 menit) | Kristianto, dkk., 2020 |
|   |                    |  |                     | 8 ppm                 | 1,0 ppm                  | 4       |   |                        |
|   |                    |  |                     | 12 ppm                | 1,5 ppm                  | 6       |   |                        |
|   |                    |  |                     | 16 ppm                |                          |         |   |                        |
|   |                    |  |                     | 20 ppm                | 2,0 ppm                  | 8       |   |                        |
|   |                    |  |                     | 24 ppm                | 2,5 ppm                  | 10      |   |                        |
|   |                    |  |                     | 28 ppm                |                          |         |   |                        |
|   |                    |  |                     | 32 ppm                | 3,0 ppm                  | 12      |   |                        |
| AlCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O, Al <sub>13</sub> dan Al <sub>30</sub> | Magnetit           | Air sintetik Asam Humat – Kaolin                 | 10 ppm              | 4 ppm                 | 0,5 ppm                  | 3       | Kondisi optimum: pH 3, dosis koagulan 20 ppm, konsentrasi nanopartikel 3 mg/mL ekstrak (% <i>removal</i> 90%, waktu <i>settling</i> 30 menit) | Lv, dkk., 2021a        |
|   |                    |  |                     | 8 ppm                 |                          |         |   |                        |
|   |                    |  |                     | 12 ppm                | 1,0 ppm                  | 4       |   |                        |
|   |                    |  |                     | 16 ppm                | 1,5 ppm                  | 6       |   |                        |
|   |                    |  |                     | 20 ppm                | 2,0 ppm                  | 8       |   |                        |
|   |                    |  |                     | 24 ppm                | 2,5 ppm                  | 10      |   |                        |
|   |                    |  |                     | 28 ppm                |                          |         |   |                        |
|   |                    |  |                     | 32 ppm                | 3,0 ppm                  | 12      |   |                        |
|   | 36 ppm             |  |                     |                       |                          |         |   |                        |