

**STUDI ISOTERM ADSORPSI, KINETIKA DAN  
TERMODINAMIKA PADA KOAGULASI LIMBAH SINTETIK  
ZAT WARNA *CONGO* MERAH DENGAN EKSTRAK PETAI  
CINA (*Leucaena leucocephala*) SEBAGAI KOAGULAN ALAMI**

**Laporan Penelitian**

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

Oleh :

**Natasa (2017620028)**

**Irene Kusuma Wardhani (2017620043)**

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**

**2021**

## LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL : STUDI ISOTERM ADSORPSI, KINETIKA DAN TERMODINAMIKA PADA KOAGULASI LIMBAH SINTETIK ZAT WARNA CONGO MERAH DENGAN EKSTRAK PETAI CINA (*Leucaena leucocephala*) SEBAGAI KOAGULAN ALAMI**


**CATATAN :**

Telah diperiksa dan disetujui,  
Bandung, 7 September 2021

Pembimbing 1

Pembimbing 2

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

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

## LEMBAR REVISI

**JUDUL : STUDI ISOTERM ADSORPSI, KINETIKA DAN TERMODINAMIKA PADA KOAGULASI LIMBAH SINTETIK ZAT WARNA CONGO MERAH DENGAN EKSTRAK PETAI CINA (*Leucaena leucocephala*) SEBAGAI KOAGULAN ALAMI**

**CATATAN :**

Telah diperiksa dan disetujui,  
Bandung, 7 September 2021

Penguji 1

Penguji 2



Ratna Frida Susanti, Ph.D.



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



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

**SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Natasa

NRP : 6217028

Nama : Irene Kusuma Wardhani

NRP : 6217043

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

**Studi Isoterm Adsorpsi, Kinetika dan Termodinamika pada Koagulasi Limbah Sintetik  
Zat Warna Congo Merah dengan Ekstrak Petai Cina (*Leucaena leucocephala*) sebagai  
Koagulan Alami**

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, 7 September 2021



Natasa

(6217028)



Irene Kusuma Wardhani

(6217043)

## INTISARI

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang menjadi pencemar utama air karena keberadaan zat warna sintetik, yang akan terbawa dalam aliran limbah cairnya. Salah satu metode pengolahan limbah cair yang banyak digunakan pada industri tersebut adalah koagulasi dengan menggunakan koagulan kimia. Penggunaan koagulan jenis ini dapat menimbulkan masalah kesehatan seperti Alzheimer dan demensia, serta menurunkan pH air yang diolah. Sebagai alternatif, telah diteliti berbagai koagulan alami seperti *Leucaena leucocephala* atau petai cina yang dapat berperan sebagai senyawa aktif dalam proses koagulasi, dengan memanfaatkan komponen protein di dalamnya. Mekanisme koagulasi ini umumnya berupa adsorpsi yang kemudian diikuti oleh netralisasi muatan. Konfirmasi mekanisme tersebut dapat dilakukan melalui studi adsorpsi, yaitu isoterm, kinetika, serta termodinamika yang menjadi fokus pada penelitian ini dengan menggunakan Congo merah sebagai model zat warna.

Penelitian ini dilakukan pada kondisi optimum yang telah diperoleh pada penelitian sebelumnya, antara lain rasio umpan dan pelarut pada tahap ekstraksi protein (1 : 20), pH (pH 9 untuk ekstraksi dan pH 3 untuk koagulasi) serta dosis koagulan (262,5 mg eq BSA/L). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kecenderungan profil *%removal* terhadap variasi percobaan yang digunakan, yaitu konsentrasi awal zat warna Congo merah (50, 60, 70, 80, 90, dan 100 mg/L) dan temperatur koagulasi (30, 40, dan 50°C). Proses koagulasi dilakukan dengan *jar test apparatus*, dengan pengadukan cepat lalu diikuti dengan pengadukan lambat. Sampel yang diperoleh setiap 5 menit selama 60 menit setelah proses koagulasi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV/Vis. Data yang diperoleh kemudian di-*fit* ke model Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk isoterm adsorpsi, model *pseudo-first-order*, *pseudo-second order*, dan Elovich untuk kinetika serta persamaan van't Hoff untuk termodinamika.

Profil nilai persentase pengurangan zat warna mengalami penurunan seiring dengan tingginya konsentrasi awal zat warna dari 50 ke 100 mg/L yang disebabkan oleh adanya penurunan kemampuan protein yang bermuatan positif untuk menetralkan muatan Congo merah menyebabkan terjadinya koagulasi. Sebaliknya pada temperatur koagulasi yang lebih tinggi, *%removal* mengalami kenaikan karena adanya peningkatan gaya Brown yang menyebabkan kontak antar partikel koloid meningkat, sehingga proses adsorpsi-koagulasi dan pembentukan flok menjadi lebih banyak terjadi. Berdasarkan evaluasi model isoterm dan kinetika, diperoleh kecocokan pada model isoterm Langmuir dan model kinetika *pseudo-second order*. Hal ini menunjukkan proses adsorpsi-netralisasi muatan yang terjadi berupa adsorpsi monolayer dengan mekanisme *chemisorption*. Lebih lanjut, parameter termodinamika adsorpsi menunjukkan bahwa proses koagulasi berlangsung secara endotermis ( $\Delta H^\circ$  bernilai positif), kespontanan reaksi ke arah depan ( $\Delta G^\circ$  bernilai negatif), dan peningkatan ketidakteraturan interaksi yang terjadi di permukaan koagulan ( $\Delta S^\circ$  bernilai positif).

**Kata kunci:** biji petai cina, Congo merah, koagulasi, kinetika, isoterm, termodinamika

## ABSTRACT

Textile industry is one of many industries that causes the water pollution with the presence of synthetic dye, which flows through the wastewater. Commonly used water treatment by the textile industries is coagulation using chemical as coagulant. The use of chemical coagulant causes health problems such as Alzheimer and dementia, and lowers the wastewater pH as well. There are many researches about natural coagulants such as *Leucaena leucocephala* as active compound in coagulation process, for its protein component. This coagulation mechanism, generally an adsorption process followed by charge neutralization. The confirmation can be done by adsorption study, namely the isotherm, the kinetics, and the thermodynamics as the core of this research using Congo red as the synthetic dye.

This study was conducted under the optimum conditions that have been obtained previously, such as the feed and solvent ratio in protein extraction (1 : 20), pH (pH 9 and pH 3 for extraction and coagulation respectively), and coagulant dosage (262,5 mg eq BSA/L). This study aims to investigate the influence of the following parameters : initial dye concentration (50, 60, 70, 80, 90, 100 mg/L) and coagulation temperature (30, 40, 50°C) towards the trend of %*removal* profile. Coagulation process was done by jar test apparatus with fast mixing and slow mixing afterward. The samples that were obtained after coagulation process were analyzed using UV/Vis spectrophotometer. Equilibrium data were analyzed using Langmuir, Freundlich, and Temkin adsorption isotherms. The kinetics data were fitted to pseudo-first-order, pseudo-second order, and Elovich. Van't Hoff equation would be used to determine the thermodynamics parameters.

There was a decrease in %*removal* along with the increasing initial dye concentration from 50 to 100 mg/L, this is caused by the decreasing ability of protein with positive charge to neutralize the negative charge of Congo red to proceed coagulation. At higher coagulation temperature, the %*removal* trend increased since the Brownian force caused the contact between the colloid particle increased, so that adsorption-coagulation process and flocs forming occurred more. Based on the model evaluation of the isotherms and kinetics, this study fitted to the Langmuir isotherm model and pseudo-second-order model. It showed that that the adsorption-neutralization charge process occurred was a monolayer adsorption with chemisorption mechanism. Furthermore, thermodynamics adsorption parameters showed that the coagulation process occurred endothermically (positive  $\Delta H^\circ$ ), spontaneity of the reaction onwards (negative  $\Delta G^\circ$ ), and increased randomness of interaction occurred on the coagulant surface (positive  $\Delta S^\circ$ )

**Keywords:** *Leucaena leucocephala*, Congo red, coagulation, kinetics, isotherm, thermodynamics

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa oleh karena rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian dengan judul “Studi Isoterm Adsorpsi, Kinetika dan Termodinamika pada Koagulasi Limbah Sintetik Zat Warna *Congo Merah* dengan Ekstrak Petai Cina (*Leucaena Leucocephala*) Sebagai Koagulan Alami” tepat waktu. Laporan penelitian ini disusun untuk memenuhi persyaratan mata kuliah CHE 183640.02 yaitu Proposal Penelitian dan Seminar, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung penulis dalam penyusunan proposal 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, ilmu pengetahuan, saran dan waktu selama proses penyusunan proposal penelitian ini;
2. Orang tua dan keluarga penulis atas doa dan dukungan yang telah diberikan;
3. Teman-teman penulis yang telah memberikan dukungan dan saran; serta
4. Semua pihak yang telah turut berkontribusi dalam penyusunan proposal penelitian ini.

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

Bandung, 27 Agustus 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| COVER DALAM .....                                     | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                               | ii   |
| SURAT PERNYATAAN .....                                | iii  |
| LEMBAR REVISI .....                                   | iv   |
| KATA PENGANTAR .....                                  | v    |
| DAFTAR ISI .....                                      | vi   |
| DAFTAR GAMBAR .....                                   | xi   |
| DAFTAR TABEL .....                                    | xiii |
| INTISARI .....  | xiv  |
| ABSTRACT .....  | xv   |
| <br>  |      |
| BAB 1 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 .....                                   | 10   |
| 1.6 Tujuan Penelitian .....                           | 10   |
| 1.7 Manfaat Penelitian .....                          | 10   |
| <br>  |      |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....                          | 12   |
| 2.1 Koloid dan Destabilisasi Koloid .....             | 12   |
| 2.2 Ekstraksi Protein dari Biji Petai Cina .....      | 17   |
| 2.3 Koagulasi <i>Congo</i> Merah dengan Protein ..... | 20   |
| 2.4 Isoterm Adsorpsi .....                            | 22   |



|                |  |           |
|----------------|--|-----------|
| 2.4.1          | Isoterm Freundlich .....   | 22        |
| 2.4.2          | Isoterm Langmuir .....   | 23        |
| 2.4.3          | Isoterm Temkin .....   | 24        |
| 2.5            | Kinetika Adsorpsi .....  | 25        |
| 2.5.1          | <i>Pseudo-first order model</i> .....                              | 25        |
| 2.5.2          | <i>Pseudo-second order model</i> .....                             | 26        |
| 2.5.3          | <i>Elovich model</i> .....   | 26        |
| 2.6            | Termodinamika Adsorpsi .....                                       | 27        |
| <b>BAB III</b> | <b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                                 | <b>30</b> |
| 3.1            | Metode Penelitian .....  | 30        |
| 3.2            | Alat dan Bahan .....   | 32        |
| 3.3            | Prosedur Penelitian .....  | 33        |
| 3.4            | Rancangan Percobaan .....  | 37        |
| 3.5            | Analisis .....   | 38        |
| 3.6            | Pengolahan Data Studi Adsorpsi .....                               | 39        |
| 3.6.1          | Pengolahan Data Isoterm Adsorpsi .....                             | 39        |
| 3.6.2          | Pengolahan Data Kinetika Adsorpsi .....                            | 40        |
| 3.6.3          | Pengolahan Data Termodinamika Adsorpsi .....                       | 41        |
| 3.6.4          | Evaluasi Ketepatan Data .....                                      | 42        |
| 3.7            | Lokasi dan Rencana Penelitian .....                                | 43        |
| <b>BAB IV</b>  | <b>PEMBAHASAN .....</b>  | <b>44</b> |
| 4.1            | Pengaruh Konsentrasi Awal Zat Warna dan Temperatur Koagulasi ..... | 44        |
| 4.2            | Kinetika Sedimentasi .....   | 45        |
| 4.2.1          | <i>Pseudo-first order</i> .....                                    | 47        |
| 4.2.2          | <i>Pseudo-second order</i> .....                                   | 48        |
| 4.2.3          | <i>Elovich</i> .....   | 49        |
| 4.3            | Isoterm Adsorpsi .....   | 51        |
| 4.3.1          | Isoterm Langmuir .....   | 52        |
| 4.3.2          | Isoterm Freundlich .....   | 53        |
| 4.3.3          | Isoterm Temkin .....   | 53        |

|   |    |
|---|----|
| 4.4 Termodinamika .....   | 55 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....  | 57 |
| 5.1 Kesimpulan .....  | 57 |
| 5.2 Saran .....   | 58 |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 59 |
| LAMPIRAN A METODE ANALISA .....   | 64 |
| A.1 Penentuan Kadar Protein dengan Metode Bradford .....                | 64 |
| A.1.1 Pembuatan Reagen Bradford .....                                   | 64 |
| A.1.2 Pembuatan Larutan Standar <i>Bovine Serum Albumin</i> (BSA) ..... | 64 |
| A.1.3 Pengukuran Konsentrasi Protein Terlarut .....                     | 64 |
| A.2 Analisa Hasil Koagulasi Menggunakan Spektrofotometer UV/Vis .....   | 66 |
| LAMPIRAN B MATERIAL SAFETY DATA SHEET .....                             | 68 |
| B.1 HCl .....   | 68 |
| B.2 NaOH .....  | 69 |
| B.3 NaCl .....  | 71 |
| B.4 <i>Congo Merah</i> .....  | 73 |
| B.5 <i>Coomassie Brilliant Blue G-250</i> .....                         | 74 |
| B.6 Etanol 95% .....  | 75 |
| B.7 Asam Fosfat 85% .....   | 77 |
| B.8 <i>Bovine Serum Albumine</i> .....                                  | 78 |
| LAMPIRAN C HASIL ANTARA .....   | 80 |
| C.1 Penentuan Kurva Standar Bradford .....                              | 80 |
| C.2 Penentuan Kurva Standar <i>Congo Merah</i> .....                    | 80 |
| C.3 Model Kinetika <i>Pseudo-First Order</i> .....                      | 80 |
| C.4 Model Kinetika <i>Pseudo-Second Order</i> .....                     | 82 |
| C.5 Model Kinetika Elovich .....  | 83 |
| C.6 Model Isoterm Langmuir .....  | 83 |
| C.7 Model Isoterm Freundlich .....                                      | 85 |

|   |     |
|---|-----|
| C.8 Model Isoterm Temkin .....  | 86  |
| C.9 Termodinamika Adsorpsi .....  | 86  |
| LAMPIRAN D GRAFIK .....   | 88  |
| D.1 Kurva Standar Bradford .....  | 88  |
| D.2 Kurva Standar <i>Congo Merah</i> .....  | 88  |
| D.3 Kinetika Adsorpsi <i>Congo Merah</i> dengan Koagulan Petai Cina pada<br>Temperatur 30°C ..... | 89  |
| D.3.1 <i>Pseudo-First Order</i> .....   | 89  |
| D.3.2 <i>Pseudo-Second Order</i> .....  | 92  |
| D.3.3 Elovich .....   | 96  |
| D.4 Kinetika Adsorpsi <i>Congo Merah</i> dengan Koagulan Petai Cina pada<br>Temperatur 40°C ..... | 99  |
| D.4.1 <i>Pseudo-First Order</i> .....   | 99  |
| D.4.2 <i>Pseudo-Second Order</i> .....  | 103 |
| D.4.3 Elovich .....   | 106 |
| D.5 Kinetika Adsorpsi <i>Congo Merah</i> dengan Koagulan Petai Cina pada<br>Temperatur 50°C ..... | 110 |
| D.5.1 <i>Pseudo-First Order</i> .....   | 110 |
| D.5.2 <i>Pseudo-Second Order</i> .....  | 113 |
| D.5.3 Elovich .....   | 117 |
| D.6 Isoterm Adsorpsi <i>Congo Merah</i> dengan Koagulan Petai Cina pada<br>Temperatur 30°C .....  | 120 |
| D.7 Isoterm Adsorpsi <i>Congo Merah</i> dengan Koagulan Petai Cina pada<br>Temperatur 40°C .....  | 122 |
| D.8 Isoterm Adsorpsi <i>Congo Merah</i> dengan Koagulan Petai Cina pada<br>Temperatur 50°C .....  | 124 |
| D.9 Termodinamika Adsorpsi <i>Congo Merah</i> dengan Koagulan Petai Cina .....                    | 126 |
| LAMPIRAN E CONTOH PERHITUNGAN.....  | 127 |
| E.1 Pembuatan Kurva Standar <i>Congo Merah</i> .....  | 127 |

|   |     |
|---|-----|
| E.2 Pembuatan Kurva Standar Bradford .....                                  | 127 |
| E.3 Penentuan % <i>Removal</i> .....  | 127 |
| E.4 Penentuan Nilai qt .....  | 128 |
| E.5 <i>Fitting</i> Model Isoterm .....                                      | 128 |
| E.5.1 Penentuan Parameter Isoterm Langmuir .....                            | 128 |
| E.5.2 Penentuan Parameter Isoterm Freundlich .....                          | 128 |
| E.5.3 Penentuan Parameter Isoterm Temkin .....                              | 129 |
| E.5.4 Penentuan <i>Chi-Square</i> dan <i>Sum Square Error</i> Isoterm ..... | 130 |
| E.6 <i>Fitting</i> Model Kinetika .....                                     | 130 |
| E.6.1 Kinetika <i>Pseudo-First Order</i> .....                              | 130 |
| E.6.2 Kinetika <i>Pseudo-Second Order</i> .....                             | 130 |
| E.6.3 Kinetika Elovich.....   | 131 |
| E.6.4 Penentuan <i>Chi-Square</i> dan <i>Sum Square Error</i> Isoterm ..... | 131 |
| E.7 Termodinamika.....  | 132 |

## DAFTAR GAMBAR

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Gambar 2.1</b>  | Struktur dari partikel koloid .....   | 12 |
| <b>Gambar 2.2</b>  | Grafik interaksi antara gaya tolak elektrostatis dan gaya Van der Waals .....   | 14 |
| <b>Gambar 2.3a</b> | Pengaruh konsentrasi ion rendah pada ketebalan <i>double layer</i> .....  | 15 |
| <b>Gambar 2.3b</b> | Pengaruh konsentrasi ion tinggi pada ketebalan <i>double layer</i> .....  | 15 |
| <b>Gambar 2.4a</b> | Skema netralisasi muatan .....  | 15 |
| <b>Gambar 2.4b</b> | <i>Entrapment in precipitation</i> .....  | 15 |
| <b>Gambar 2.4c</b> | <i>Particle bridging</i> .....  | 15 |
| <b>Gambar 2.5</b>  | Pelepah dan biji petai cina .....   | 17 |
| <b>Gambar 2.6</b>  | Letak protein pada badan protein (PB) dalam sel .....   | 18 |
| <b>Gambar 2.7</b>  | Deret Hofmeister .....  | 19 |
| <b>Gambar 2.8</b>  | Pengaruh konsentrasi garam terhadap kelarutan protein .....   | 19 |
| <b>Gambar 2.9a</b> | Struktur molekul pewarna <i>Congo merah</i> .....   | 20 |
| <b>Gambar 2.9b</b> | Struktur molekul pewarna <i>Congo merah</i> pada pH 5-10 .....  | 20 |
| <b>Gambar 2.9c</b> | Struktur molekul pewarna <i>Congo merah</i> pada pH < 5 .....   | 21 |
| <b>Gambar 3.1</b>  | Diagram singkat metodologi penelitian .....   | 30 |
| <b>Gambar 3.2</b>  | Skema alat utama ekstraksi .....  | 32 |
| <b>Gambar 3.3</b>  | Skema alat utama koagulasi .....  | 32 |
| <b>Gambar 3.4</b>  | Diagram alir persiapan bahan baku biji petai cina .....   | 33 |
| <b>Gambar 3.5</b>  | Diagram alir ekstraksi protein biji petai cina .....  | 34 |
| <b>Gambar 3.6</b>  | Diagram alir pembuatan larutan zat warna <i>Congo merah</i> .....   | 35 |
| <b>Gambar 3.7</b>  | Diagram alir kerja koagulasi .....  | 36 |
| <b>Gambar 4.1a</b> | Pengaruh konsentrasi awal zat warna <i>Congo merah</i> dan temperatur koagulasi terhadap % <i>removal</i> .....                         | 44 |
| <b>Gambar 4.1b</b> | Pengurangan konsentrasi zat warna pada temperatur 30°C .....  | 44 |
| <b>Gambar 4.2</b>  | Profil % <i>removal</i> terhadap waktu .....  | 46 |
| <b>Gambar 4.2a</b> | Profil % <i>removal</i> terhadap waktu pada berbagai konsentrasi (30°C) .....   | 46 |
| <b>Gambar 4.2b</b> | Profil % <i>removal</i> terhadap waktu pada berbagai temperatur (50 mg/L) .....   | 46 |
| <b>Gambar 4.4</b>  | <i>Fitting</i> data percobaan dan model kinetika adsorpsi zat warna <i>Congo merah</i> dengan koagulan petai cina (30°C, 50 mg/L) ..... | 50 |

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| <b>Gambar 4.5</b> | Ilustrasi interaksi protein dan zat warna <i>Congo</i> merah .....  | 51 |
| <b>Gambar 4.6</b> | <i>Fitting</i> data percobaan dan model isoterm adsorpsi zat warna <i>Congo</i> merah<br>dengan koagulan petai cina pada 30°C ..... | 54 |
| <b>Gambar A.1</b> | Diagram alir penentuan kadar protein .....  | 65 |
| <b>Gambar A.2</b> | Diagram alir analisa hasil koagulasi .....  | 67 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabel 1.1</b> Premis penelitian terkait isoterm adsorpsi dalam koagulasi limbah cair .....                       | 4  |
| <b>Tabel 1.2</b> Premis penelitian terkait kinetika adsorpsi dalam koagulasi limbah cair .....                      | 7  |
| <b>Tabel 1.3</b> Premis penelitian terkait termodinamika adsorpsi dalam koagulasi limbah cair ...                   | 9  |
| <b>Tabel 3.1</b> Rancangan percobaan variasi temperatur koagulasi .....   | 37 |
| <b>Tabel 3.2</b> Plot untuk model isoterm adsorpsi .....  | 39 |
| <b>Tabel 3.3</b> Parameter untuk model isoterm adsorpsi .....   | 40 |
| <b>Tabel 3.4</b> Plot untuk model kinetika adsorpsi .....   | 40 |
| <b>Tabel 3.5</b> Parameter untuk model kinetika adsorpsi .....  | 41 |
| <b>Tabel 3.6</b> Jadwal kerja penelitian .....  | 43 |
| <b>Tabel 4.1</b> Nilai parameter model kinetika <i>pseudo-first order</i> .....                                     | 47 |
| <b>Tabel 4.2</b> Nilai parameter model kinetika <i>pseudo-second order</i> .....                                    | 48 |
| <b>Tabel 4.3</b> Nilai parameter model kinetika Elovich .....   | 49 |
| <b>Tabel 4.4</b> Nilai parameter dari model isoterm adsorpsi.....   | 51 |
| <b>Tabel 4.5</b> Parameter termodinamika koagulasi zat warna <i>Congo</i> merah dengan koagulan<br>petai cina ..... | 55 |
| <b>Tabel 4.6</b> Parameter termodinamika untuk penelitian serupa .....  | 56 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang banyak menggunakan air di dalam proses produksinya. Selain itu, pada proses pewarnaan kain, digunakan zat warna sintetis yang akan terbawa pada limbah cair industri tekstil. Jika langsung dibuang ke lingkungan, zat warna sintetis tersebut dapat menghalangi sinar matahari masuk pada badan air, mencegah fotosintesis tanaman air dan menyebabkan penurunan oksigen terlarut (da Silva *et al.*, 2016 dan Purkait *et al.*, 2007). Oleh karena itu, limbah cair industri tekstil perlu diolah sebelum dibuang ke badan air. (M C Menkiti, Okoani and Ejimofor, 2018).

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair industri tekstil, seperti mikrofiltrasi, biologis, dan koagulasi-flokulasi telah banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair tekstil (Vishali and Karthikeyan, 2018). Dari beberapa pilihan ini, koagulasi-flokulasi menjadi metode yang paling banyak digunakan untuk mengurangi senyawa zat warna sintetis, seperti *Congo* merah, yang berada pada fasa terdispersi dalam limbah cair tersebut (M C Menkiti, Okoani and Ejimofor, 2018). Koagulan dan flokulan yang umum digunakan berupa garam anorganik, seperti aluminium sulfat ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), ferro sulfat ( $\text{FeSO}_4$ ), dan ferri sulfat ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), serta koagulan yang terhidrolisis seperti polialuminium klorida (PAC) (Verma, Dash and Bhunia, 2012). Mengesampingkan keunggulannya yang mudah ditemui dan murah, koagulan jenis ini memberikan banyak dampak negatif contohnya masalah kesehatan seperti Alzheimer dan demensia, serta penurunan pH air yang diolah (Menkiti *et al.*, 2018). Untuk mengatasi masalah ini, mulai dilakukan berbagai penelitian yang memanfaatkan bahan aktif koagulan yang berasal dari sumber hewani, mikrobial, atau pun nabati.

Protein yang berasal dari kacang-kacangan merupakan salah satu bahan aktif yang telah banyak diteliti, salah satunya adalah petai cina (*Leucaena leucocephala*). Protein dari petai cina berpotensi digunakan sebagai koagulan alami karena dapat berperan sebagai senyawa aktif dalam proses koagulasi. Penggunaan ekstrak dari biji petai cina (*Leucaena leucocephala*) sebagai koagulan dalam proses koagulasi zat warna *Congo* merah sudah pernah diteliti sebelumnya (Kristianto *et al.*, 2019; Kristanda *et al.*, 2020). Dengan menggunakan ekstrak petai cina sebesar 262,5 mg eq BSA/L pada operasi dengan pH 3, koagulasi zat warna *Congo* merah



ini memberikan hasil *% removal* sebesar 93,7% (Kristanda *et al.*, 2020). Pada penelitian tersebut telah diperoleh kondisi optimum untuk proses koagulasi, akan tetapi studi mekanismenya belum dilakukan. Dengan demikian, penelitian ini dibatasi untuk konfirmasi mekanisme koagulasi melalui studi adsorpsinya.

Mekanisme koagulasi ini diawali dengan pembentukan kompleks akibat peristiwa adsorpsi dari koagulan sebagai adsorben dan zat warna sebagai adsorbat tersebut. Setelah kompleks ini terbentuk, flok mulai timbul mengikuti mekanisme adsorpsi yang akan berperan sebagai tahap penentu laju dan dapat dijelaskan berdasarkan studi isoterm adsorpsinya (Beltrán-Heredia, Sánchez-Martín and Delgado-Regalado, 2009). Secara umum, studi isoterm adsorpsi merupakan pendekatan matematis yang dapat digunakan untuk menggambarkan mekanisme koagulasi tersebut (Hossain *et al.*, 2019). Isoterm adsorpsi penting dilakukan untuk memprediksi fenomena selama proses adsorpsi, berdasarkan konsentrasi adsorbat dan jumlah adsorbat per massa adsorbennya (Nandiyanto *et al.*, 2020). Model isoterm adsorpsi yang dapat digunakan dalam studi mekanisme koagulasi adalah Langmuir, Freundlich, dan Temkin (M C Menkiti, Okoani and Ejimofor, 2018). Selain isoterm adsorpsi, studi kinetika juga akan dilakukan pada penelitian ini.

Model kinetika adsorpsi digunakan untuk menganalisis kinetika dan mekanisme adsorpsi zat warna pada adsorben (Vimonses *et al.*, 2009). Kinetika adsorpsi tersebut penting dilakukan untuk mengetahui laju adsorpsi selama proses koagulasi zat warna agar dapat bekerja secara optimum, serta mengetahui kecenderungan data dari variabel yang akan berpengaruh selama proses koagulasi (Mahmoodi *et al.*, 2010). Untuk menyelidiki kinetika adsorpsi ini, terdapat beberapa model kinetika yang dapat digunakan yaitu *pseudo-first order*, *pseudo-second order*, dan Elovich (Debnath and Ghosh, 2008). Selain isoterm dan kinetiknya, studi tentang termodinamika juga dilakukan untuk mengetahui kespontanan dan jenis reaksi proses yang terjadi (M C Menkiti, Okoani and Ejimofor, 2018).

## **1.2 Tema sentral masalah**

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, ekstrak petai cina dapat dimanfaatkan sebagai koagulan alami dalam proses koagulasi zat warna *Congo* merah. Kondisi terbaik (pH dan dosis) pada proses koagulasi ini telah diperoleh pada penelitian yang sudah dilakukan, namun studi terkait mekanisme koagulasi yang umumnya berupa adsorpsi yang diikuti dengan

netralisasi muatan masih sangat minim. Oleh karena itu, fokus utama penelitian ini adalah konfirmasi terkait mekanisme adsorpsi sebagai tahap penentu pada proses koagulasi zat warna *Congo* merah menggunakan ekstrak petai cina sebagai koagulan. Konfirmasi mekanisme koagulasi tersebut dapat dilakukan dengan studi adsorpsi, yaitu, isoterm, termodinamika, dan kinetika. Pada penelitian ini digunakan isoterm Langmuir, Freundlich, dan Temkin yang bertujuan untuk mengetahui fenomena selama proses adsorpsi, sedangkan pada studi terkait kinetika adsorpsinya digunakan model *pseudo-first order*, *pseudo-second order*, dan Elovich yang bertujuan untuk mengetahui laju adsorpsi selama proses koagulasi. Penelitian terkait termodinamika adsorpsi dilakukan untuk mengetahui sifat dari proses adsorpsi zat warna *Congo* merah dengan menentukan nilai energi bebas Gibbs ( $\Delta G^0$ ), entalpi ( $\Delta H^0$ ), dan entropi ( $\Delta S^0$ ).

### 1.3 Identifikasi masalah

Berdasarkan studi pustaka yang diperoleh terdapat beberapa masalah yang teridentifikasi dan akan dikaji dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana profil %*removal* zat warna *Congo* merah pada variasi konsentrasi awal dan temperatur koagulasi?
2. Model isoterm adsorpsi apakah yang paling cocok menggambarkan proses koagulasi zat warna *Congo* merah dengan koagulan alami petai cina?
3. Model kinetika adsorpsi apakah yang paling cocok menggambarkan proses koagulasi zat warna *Congo* merah dengan koagulan alami petai cina?
4. Bagaimana sifat termodinamika adsorpsi pada proses koagulasi zat warna *Congo* merah dengan koagulan alami petai cina?

### 1.4 Premis

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, maka dapat disusun beberapa premis yang mendasari penelitian ini. Premis penelitian terkait isoterm adsorpsi dalam koagulasi limbah cair tersaji pada **Tabel 1.1**; premis penelitian terkait kinetika adsorpsi dalam koagulasi limbah cair tersaji pada **Tabel 1.2**; dan premis penelitian terkait termodinamika adsorpsi dalam koagulasi limbah cair tersaji pada **Tabel 1.3**

**Tabel 1.1** Premis penelitian terkait isoterm adsorpsi dalam koagulasi limbah cair

| No.  | Jenis limbah             | Koagulan                             | Konsentrasi limbah (mg/L) | Dosis koagulan (mg/L) | Temperatur (°C) | Model isoterm                 | Hasil   | Pustaka              |
|------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------------|---|----------------------|
| 1.   | Limbah cair industri cat | <i>Brachystegia eurycoma</i>         | -                         | 500                   | 25              | Langmuir                      | Model isoterm Langmuir cocok digunakan untuk kondisi koagulasi ini. | Menkiti et al., 2018 |
|      |                          |                                      |                           | 1000                  |                 | Freundlich                    |   |                      |
|      |                          |                                      |                           | 2000                  | 35              | Temkin                        |   |                      |
|      |                          |                                      |                           | 3000                  |                 |                               |   |                      |
|      |                          |                                      |                           | 4000                  |                 | 45                            |   |                      |
| 5000 |                          |                                      |                           |                       |                 |                               |   |                      |
| 2.   | Air sungai dan waduk     | $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$          | 14,1                      | 5 – 16                | 25              | Freundlich                    | Model isoterm BET cocok digunakan untuk kondisi koagulasi ini       | Hussain et al., 2013 |
|      |                          |                                      | 14,7                      |                       |                 | Langmuir<br>BET               |   |                      |
| 3.   | Air sungai dan waduk     | <i>Polyaluminium chloride (PACl)</i> | 14,1<br>14,7              | 5 – 16                | 25              | Freundlich<br>Langmuir<br>BET | Model isoterm BET cocok digunakan untuk kondisi koagulasi ini       | Hussain et al., 2013 |

**Tabel 1.1** Premis penelitian terkait isoterm adsorpsi dalam koagulasi limbah cair

| No. | Jenis limbah                       | Koagulan   | Konsentrasi limbah (mg/L) | Dosis koagulan (mg/L) | Temperatur (°C) | Model isoterm          | Hasil   | Pustaka              |    |                          |                                      |   |      |    |     |  |                      |      |    |            |      |    |          |      |    |  |      |    |  |    |                                    |  |           |    |   |                        |  |                     |    |                          |                            |   |            |    |
|-----|------------------------------------|--|---------------------------|-----------------------|-----------------|------------------------|---|----------------------|----|--------------------------|--------------------------------------|---|------|----|-----|--|----------------------|------|----|------------|------|----|----------|------|----|--|------|----|--|----|------------------------------------|--|-----------|----|---|------------------------|--|---------------------|----|--------------------------|----------------------------|---|------------|----|
| 4   | Air sungai dan waduk               | <i>Composite polyaluminum chlorode (HPAC)</i>            | 14,1                      | 5 – 16                | 25              | Freundlich             | Model isoterm BET cocok digunakan untuk kondisi koagulasi ini | Hussain et al., 2013 |    |                          |                                      |   |      |    |     |  |                      |      |    |            |      |    |          |      |    |  |      |    |  |    |                                    |  |           |    |   |                        |  |                     |    |                          |                            |   |            |    |
|     |                                    |  | 14,7                      |                       |                 | Langmuir<br>BET        |   |                      | 5. | Limbah cair minyak sawit | FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O | - | 1000 | 40 | BET | Koagulasi ini mengikuti model isoterm Freundlich | Hossain et al., 2019 | 2000 | 50 | Freundlich | 3000 | 60 | Langmuir | 4000 | 70 |  | 5000 | 80 |  | 6. | Zat warna <i>tartrazine yellow</i> | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> – <i>Moringa Oleifera</i> | 50 ± 0,36 | 20 | - | Langmuir<br>Freundlich | Koagulasi ini mengikuti model Langmuir | Mateus et al., 2018 | 7. | Limbah cair industri cat | <i>Snail shell extract</i> | - | 500 – 5000 | 25 |
| 5.  | Limbah cair minyak sawit           | FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O                     | -                         | 1000                  | 40              | BET                    | Koagulasi ini mengikuti model isoterm Freundlich              | Hossain et al., 2019 |    |                          |                                      |   |      |    |     |  |                      |      |    |            |      |    |          |      |    |  |      |    |  |    |                                    |  |           |    |   |                        |  |                     |    |                          |                            |   |            |    |
|     |                                    |  |                           | 2000                  | 50              | Freundlich             |   |                      |    |                          |                                      |   |      |    |     |  |                      |      |    |            |      |    |          |      |    |  |      |    |  |    |                                    |  |           |    |   |                        |  |                     |    |                          |                            |   |            |    |
|     |                                    |  |                           | 3000                  | 60              | Langmuir               |   |                      |    |                          |                                      |   |      |    |     |  |                      |      |    |            |      |    |          |      |    |  |      |    |  |    |                                    |  |           |    |   |                        |  |                     |    |                          |                            |   |            |    |
|     |                                    |  |                           | 4000                  | 70              |                        |   |                      |    |                          |                                      |   |      |    |     |  |                      |      |    |            |      |    |          |      |    |  |      |    |  |    |                                    |  |           |    |   |                        |  |                     |    |                          |                            |   |            |    |
|     |                                    |  |                           | 5000                  | 80              |                        |   |                      |    |                          |                                      |   |      |    |     |  |                      |      |    |            |      |    |          |      |    |  |      |    |  |    |                                    |  |           |    |   |                        |  |                     |    |                          |                            |   |            |    |
| 6.  | Zat warna <i>tartrazine yellow</i> | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> – <i>Moringa Oleifera</i> | 50 ± 0,36                 | 20                    | -               | Langmuir<br>Freundlich | Koagulasi ini mengikuti model Langmuir                        | Mateus et al., 2018  |    |                          |                                      |   |      |    |     |  |                      |      |    |            |      |    |          |      |    |  |      |    |  |    |                                    |  |           |    |   |                        |  |                     |    |                          |                            |   |            |    |
| 7.  | Limbah cair industri cat           | <i>Snail shell extract</i>                               | -                         | 500 – 5000            | 25              | Langmuir               | Koagulasi ini mengikuti model Langmuir                        | Menkiti et al., 2016 |    |                          |                                      |   |      |    |     |  |                      |      |    |            |      |    |          |      |    |  |      |    |  |    |                                    |  |           |    |   |                        |  |                     |    |                          |                            |   |            |    |
|     |                                    |  |                           |                       | 35              | Freundlich             |   |                      |    |                          |                                      |   |      |    |     |  |                      |      |    |            |      |    |          |      |    |  |      |    |  |    |                                    |  |           |    |   |                        |  |                     |    |                          |                            |   |            |    |
|     |                                    |  |                           |                       | 45              | Temkin<br>Frumkin      |   |                      |    |                          |                                      |   |      |    |     |  |                      |      |    |            |      |    |          |      |    |  |      |    |  |    |                                    |  |           |    |   |                        |  |                     |    |                          |                            |   |            |    |

**Tabel 1.1** Premis penelitian terkait isoterm adsorpsi dalam koagulasi limbah cair

| No. | Jenis limbah          | Koagulan                             | Konsentrasi limbah (mg/L) | Dosis koagulan (mg/L) | Temperatur (°C) | Model isoterm  | Hasil                                  | Pustaka              |
|-----|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------|--|--|----------------------|
|     |                       |                                      |                           |                       |                 | Dubinin –<br>Radushkevich  |  |                      |
| 8.  | Limbah cair petroleum | <i>Tympanotonos Fuscatur extract</i> | -                         | 500 – 5000            | 25<br>35<br>45  | Langmuir<br>Freundlich<br>Temkin<br>Frumkin<br>Dubinin –<br>Radushkevich | Koagulasi ini mengikuti model Langmuir | Menkiti et al., 2017 |

**Tabel 1.2** Premis penelitian terkait kinetika adsorpsi dalam koagulasi limbah cair

| No.   | Jenis limbah                | Koagulan   | Konsentrasi limbah (mg/L) | Dosis koagulan (mg/L) | Temperatur (°C) | Model kinetika  | Hasil  | Pustaka                       |
|-------|-----------------------------|--|---------------------------|-----------------------|-----------------|---|--|-------------------------------|
| 1.    | Limbah cair industri cat    | <i>Brachystegia eurycoma</i>                             | -                         | 0,5 g/L               | 25              | <i>Reversible first – order</i>   | <i>Pseudo-second-order</i> cocok digunakan untuk koagulasi ini | Menkiti et al., 2018          |
|       |                             |  |                           | 1 g/L                 |                 |   |  |                               |
|       |                             |  |                           | 2 g/L                 | 35              | <i>Pseudo-second order</i>  |  |                               |
|       |                             |  |                           | 3 g/L                 |                 | Elovich   |  |                               |
|       |                             |  |                           | 4 g/L                 | 45              |   |  |                               |
| 5 g/L |                             |  |                           |                       |                 |   |  |                               |
| 2.    | Zat warna tartrazine yellow | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> – <i>Moringa Oleifera</i> | 50 ± 0,36                 | 20                    | -               | <i>Pseudo second – order</i>  | Perilaku kinetik mengikuti <i>pseudo second – order</i>        | Mateus et al., 2018           |
|       |                             |  |                           |                       |                 | <i>Pseudo first – order</i>   |  |                               |
| 3.    | Industri cat                | <i>S. potatorum</i>                                      | -                         | 2 g/100 mL            | -               | <i>Pseudo first-order</i><br>Elovich<br>Bangham<br><i>Intraparticle diffusion</i> | Perilaku kinetik mengikuti <i>pseudo first – order</i>         | Vishali and Karthikeyan, 2018 |

**Tabel 1.2** Premis penelitian terkait kinetika adsorpsi dalam koagulasi limbah cair

| No. | Jenis limbah             | Koagulan                             | Konsentrasi limbah (mg/L) | Dosis koagulan (mg/L) | Temperatur (°C) | Model kinetika   | Hasil  | Pustaka              |
|-----|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------|--|--|----------------------|
| 4.  | Limbah cair industri cat | <i>Snail shell extract</i>           | -                         | 500 – 5000            | -               | <i>Reversible first – order</i><br><br><i>Pseudo first – order</i><br><br><i>Pseudo second – order</i><br><br><i>Elovich</i> | Perilaku kinetik mengikuti <i>pseudo second – order</i>    | Menkiti et al., 2016 |
| 5.  | Limbah cair petroleum    | <i>Tympanotonos Fuscatur extract</i> | -                         | 500 – 5000            | -               | <i>Reversible first – order</i><br><br><i>Pseudo first – order</i><br><br><i>Pseudo second – order</i><br><br><i>Elovich</i> | Perilaku kinetik mengikuti <i>reversible first – order</i> | Menkiti et al., 2017 |

**Tabel 1.3** Premis penelitian terkait termodinamika adsorpsi dalam koagulasi limbah cair

| No. | Jenis limbah             | Koagulan                             | Parameter Termodinamika |                           |                           | Hasil  | Peneliti   |                             |
|-----|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|--------|--|-----------------------------|
|     |                          |                                      | T (°C)                  | $\Delta G^\circ$ (kJ/mol) | $\Delta H^\circ$ (kJ/mol) |        |  | $\Delta S^\circ$ (kJ/mol.K) |
| 1.  | Limbah cair industri cat | <i>Brachystegia eurycoma</i>         | 25                      | -26,4236                  | 34,8565                   | 0,2058 | Koagulasi ini bersifat endotermis dan berlangsung secara spontan | Menkiti et al., 2018        |
|     |                          |                                      | 35                      | -28,0067                  |                           |        |  |                             |
|     |                          |                                      | 45                      | -31,6446                  |                           |        |  |                             |
| 2.  | Limbah cair industri cat | <i>Snail shell extract</i>           | 25                      | -26,8068                  | 36,8477                   | 0,2130 | Koagulasi ini bersifat endotermis dan berlangsung secara spontan | Menkiti et al., 2016        |
|     |                          |                                      | 35                      | -27,4946                  |                           |        |  |                             |
|     |                          |                                      | 45                      | -30,6023                  |                           |        |  |                             |
| 3.  | Limbah cair petroleum    | <i>Tympanotonos Fuscatur extract</i> | 25                      | -28,318                   | 27,88                     | 0,1891 | Koagulasi ini bersifat endotermis dan berlangsung secara spontan | Menkiti et al., 2017        |
|     |                          |                                      | 35                      | -30,653                   |                           |        |  |                             |
|     |                          |                                      | 45                      | -32,079                   |                           |        |  |                             |



### 1.5 Hipotesis

Hipotesis yang dapat dibuat berdasarkan studi literatur yang sudah dilakukan sebagai berikut:

1. Seiring dengan rendahnya konsentrasi awal zat warna dan tingginya temperatur koagulasi, presentase *removal* zat warna *Congo* merah akan meningkat. Semakin rendah konsentrasi awal zat warna, maka semakin banyak pusat aktif koagulan petai cina yang tersedia pada dosis koagulan yang sama untuk dapat mengadsorpsi dan mengkoagulasi zat warna *Congo* merah tersebut (Vishali and Karthikeyan, 2018). Semakin tinggi temperatur koagulasi akan meningkatkan gaya Van der Waals yang akan menarik partikel zat warna *Congo* merah sehingga terjadi aglomerasi dan meningkatkan %*removal* (Patel and Vashi, 2012).
2. Model isoterm adsorpsi yang cocok dalam proses koagulasi zat warna *Congo* merah menggunakan ekstrak petai cina adalah isoterm Langmuir, dimana tahap adsorpsi ini terjadi pada *monolayer* (Mateus *et al.*, 2020).
3. Model kinetika adsorpsi yang cocok dalam proses koagulasi zat warna *Congo* merah menggunakan ekstrak petai cina adalah *pseudo second-order*, dimana konstanta laju dalam tahap adsorpsi merupakan difusi film yang terkontrol (M. C. Menkiti, Okoani and Ejimofor, 2018).
4. Proses adsorpsi zat warna *Congo* merah pada ekstrak petai cina memiliki nilai energi bebas Gibbs ( $\Delta G^\circ$ ) bernilai negatif dan entropi ( $\Delta S^\circ$ ) bernilai positif yang menunjukkan adsorpsi pada koagulasi terjadi secara spontan, serta nilai entalpi ( $\Delta H^\circ$ ) bernilai positif yang menunjukkan proses adsorpsi pada koagulasi bersifat endotermis (M. C. Menkiti, Okoani and Ejimofor, 2018).

### 1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui profil penurunan konsentrasi zat warna *Congo* merah pada variasi konsentrasi awal dan temperatur koagulasi.
2. Mengetahui model isoterm adsorpsi dalam proses koagulasi zat warna *Congo* merah pada koagulasi zat warna *Congo* merah dengan koagulan alami petai cina.
3. Mengetahui model kinetika adsorpsi yang paling cocok dalam proses koagulasi zat warna *Congo* merah dengan koagulan alami petai cina.
4. Mengetahui sifat termodinamika adsorpsi pada proses koagulasi zat warna *Congo* merah dengan koagulan alami petai cina.

### 1.7 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Bagi mahasiswa, untuk mengetahui mekanisme koagulasi zat warna *Congo* merah dengan koagulan alami ekstrak petai cina yang umumnya berupa adsorpsi. Mahasiswa dapat mengetahui fenomena yang terjadi pada tahap adsorpsi yang dapat ditentukan melalui model isotherm adsorpsi dan laju adsorpsi yang dapat ditentukan melalui model kinetika adsorpsi selama proses koagulasi. Mahasiswa juga dapat mengetahui pengaruh konsentrasi zat warna dan temperatur koagulasi terhadap fenomena adsorpsi tersebut.
2. Bagi industri, penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut dan diaplikasikan secara nyata pada pengendalian dalam tahap adsorpsi selama proses koagulasi zat warna sintetik dengan menggunakan ekstrak koagulan alami.