

**SINTESIS KOAGULAN MAGNETIK
BESI NANOPARTIKEL (Fe_3O_4) TERFUNGSIONALISASI
PROTEIN BIJI PETAI CINA UNTUK PENGOLAHAN
LIMBAH SINTETIK ZAT WARNA KONGO MERAH**

Laporan Penelitian

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

oleh:

Eric Hermawan (6141801011)

Lourdes Ursela Carmen (6141801027)

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**

2022

**SYNTHESIS OF MAGNETIC COAGULANT BY
FUNCTIONALIZATION OF IRON NANOPARTICLE
(Fe₃O₄) BY LEUCAENA LEUCOCEPHALA SEED
PROTEIN FOR CONGO RED WASTEWATER
TREATMENT**

Research Paper

Compiled to fulfill the final project in order to achieve
a bachelor's degree in Chemical Engineering

Compiled by:

Eric Hermawan (6141801011)

Lourdes Ursela Carmen (6141801027)

Advisors:

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

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



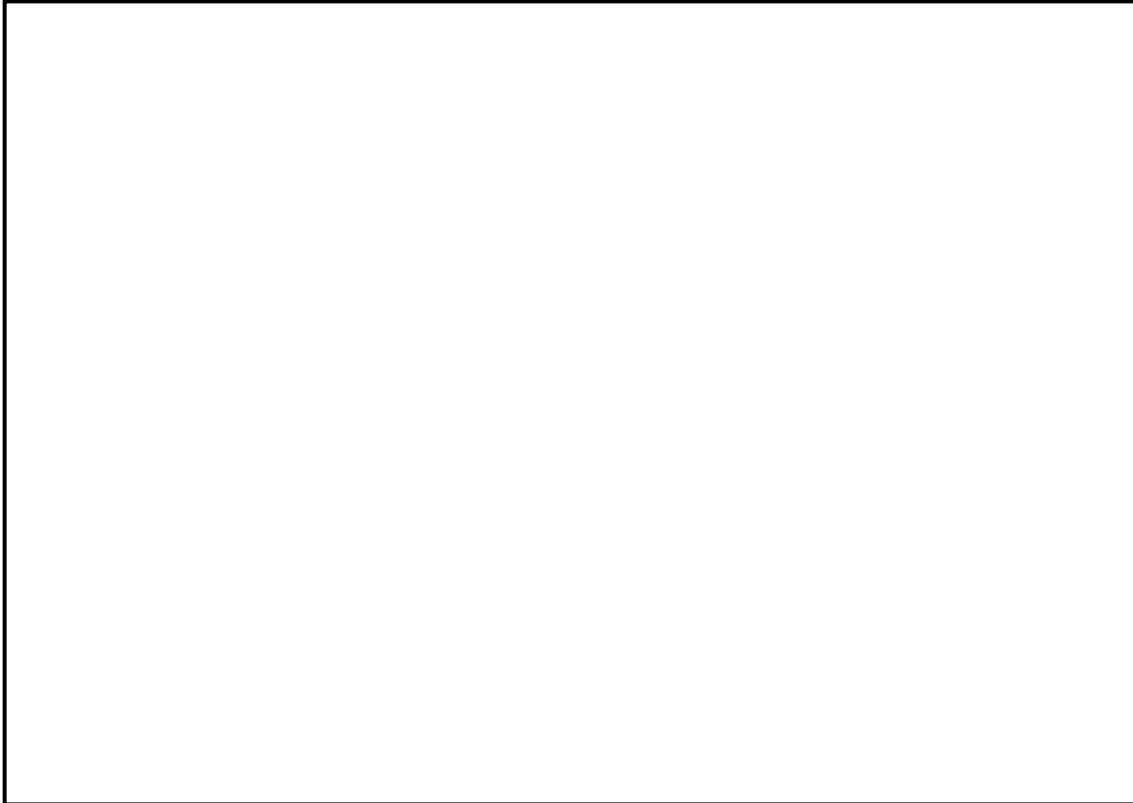
**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
CATHOLIC PARAHYANGAN UNIVERSITY**

2022

LEMBAR PENGESAHAN


**JUDUL : SINTESIS KOAGULAN MAGNETIK BESI NANOPARTIKEL (Fe_3O_4)
TERFUNGSIONALISASI PROTEIN BIJI PETAI CINA UNTUK
PENGOLAHAN LIMBAH SINTETIK ZAT WARNA KONGO MERAH**

CATATAN :



Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 11 Februari 2022

Pembimbing 1


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

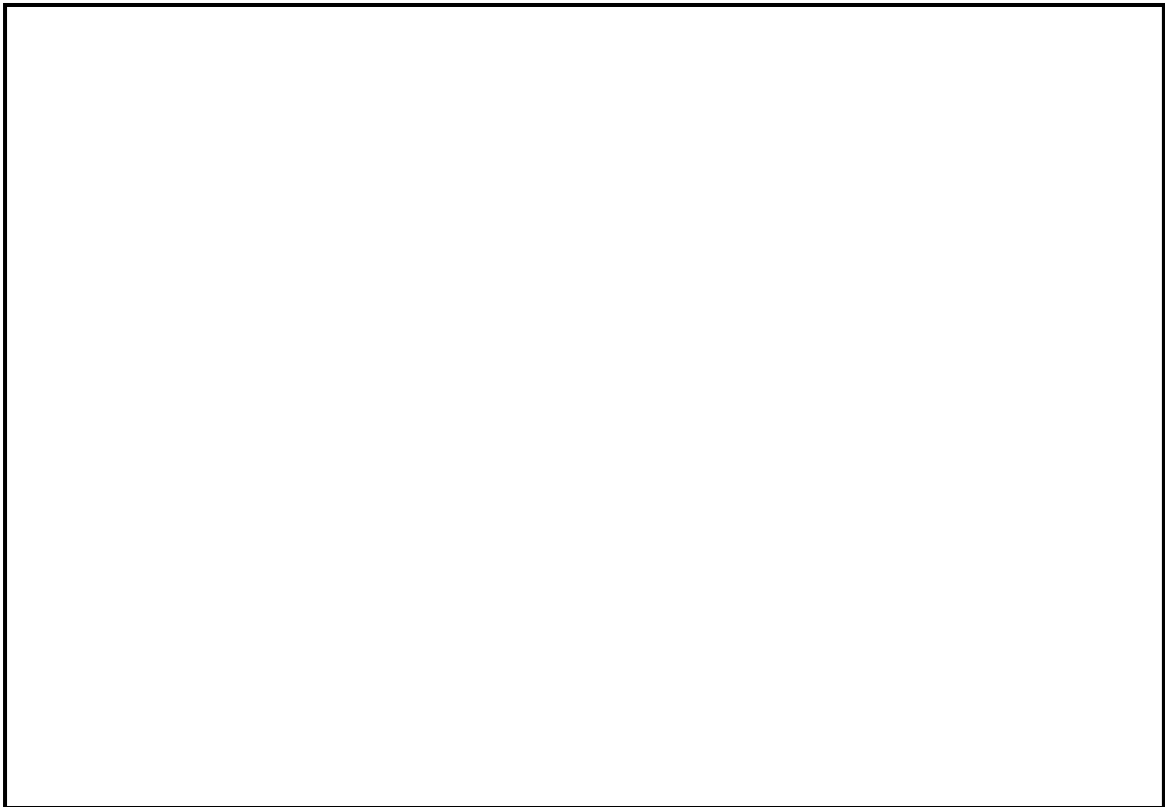
Pembimbing 2


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

LEMBAR REVISI

**JUDUL : SINTESIS KOAGULAN MAGNETIK BESI NANOPARTIKEL (Fe_3O_4)
TERFUNGSIONALISASI PROTEIN BIJI PETAI CINA UNTUK
PENGOLAHAN LIMBAH SINTETIK ZAT WARNA KONGO MERAH**

CATATAN :



Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 11 Februari 2022

Penguji 1



Tedi Hudaya, S.T., M.Eng.Sc., 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 : Eric Hermawan

NRP : 6141801011

Nama : Lourdes Ursela Carmen

NRP : 6141801027

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

**Sintesis Koagulan Magnetik Besi Nanopartikel (Fe_3O_4) Terfungsionalisasi
Protein Biji Petai Cina untuk Pengolahan Limbah Sintetik Zat Warna Kongo Merah**

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

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

Bandung, 10 Februari 2022



Eric Hermawan
(6141801011)



Lourdes Ursela Carmen
(6141801027)

INTISARI

Biji petai cina merupakan bagian tanaman yang memiliki kandungan globulin yang tinggi; mencapai 43,5%. Globulin dapat diaplikasikan sebagai koagulan alami; globulin akan bermuatan positif di bawah pH isoelektriknya sehingga dapat mengkoagulasi zat warna anionik seperti kongo merah. Berdasarkan hasil penelitian yang ada; kinerja ekstrak kasar protein biji petai cina sebagai koagulan alami belum optimal, baik dari nilai *COD* limbah ataupun waktu sedimentasinya. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah pembuatan koagulan magnetik dari magnetit yang difungsionalisasi menggunakan protein biji petai cina sehingga waktu sedimentasi dapat dipersingkat dengan bantuan magnet eksternal. Namun; magnetit cenderung membentuk agregat sehingga perlu dilakukan modifikasi terlebih dahulu untuk mencegah pembentukan agregat sekaligus meningkatkan kapasitas adsorpsi protein. Pada penelitian ini digunakan asam tanin untuk modifikasi magnetit; mengingat asam tanin memiliki kemampuan untuk berikatan dengan magnetit sekaligus mengikat protein sehingga dapat meningkatkan kapasitas protein yang ada untuk proses koagulasi.

Biji petai cina yang telah disortasi dikeringkan terlebih dahulu di dalam oven pada temperatur 65°C hingga kadar airnya < 12% (w/w); kemudian dilakukan pengecilan ukuran hingga berukuran – 80 *mesh*. Ekstraksi dilakukan secara *batch* dengan mengontakan biji petai cina dengan pelarut garam NaCl 1 M secara dispersi selama 60 menit pada temperatur ruang dan pH 9. Modifikasi magnetit dilakukan menggunakan asam tanin; dilanjutkan dengan fungsionalisasi magnetit oleh protein pada pH 4. Respon yang diamati berupa kapasitas adsorpsi protein (uji *Bradford*). Uji koagulasi dilakukan menggunakan koagulan magnetik besi nanopartikel – protein biji petai cina dengan variasi pH pada rentang 2 – 5 sebanyak 4 level, variasi dosis koagulan pada rentang 25 – 250 mg/L sebanyak 6 level, dan variasi konsentrasi awal kongo merah pada rentang 10 – 70 ppm sebanyak 10 level. Respon yang diamati adalah penurunan konsentrasi zat warna (spektrofotometer UV-Vis), volume *sludge* (metode volumetrik), dan *COD removal* pada kondisi terbaik (permanganometri). Kinetika sedimentasi juga diamati setiap 5 menit hingga tercapai waktu sedimentasi 60 menit. Model yang digunakan untuk mengevaluasi kinetika sedimentasi adalah model kinetika *pseudo* orde 1 dan *pseudo* orde 2.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi protein dengan fungsionalisasi pada pH 4 mencapai 0,41 mg eq BSA/mg besi. Aktivitas koagulasi diamati terjadi pada pH 2 dan tidak terjadi koagulasi pada pH 3 – 5. Aktivitas koagulasi meningkat seiring penambahan dosis koagulan magnetik; namun mencapai titik kritik pada dosis 100 mg/L dengan penurunan konsentrasi zat warna mencapai 89,10% dan volume *sludge* yang dihasilkan 4 mL/L. Aktivitas koagulasi juga meningkat seiring penambahan konsentrasi awal kongo merah, namun mencapai titik kritik pada 40 ppm dan cenderung konstan pada konsentrasi 50 – 70 ppm. Kinetika koagulasi mengikuti model *pseudo* orde 2 dengan adsorpsi yang terjadi adalah *chemisorption* dimana interaksi dipol-dipol terjadi akibat perbedaan muatan protein pada koagulan magnetik dengan koloid zat warna kongo merah. Ketika dibandingkan dengan koagulasi menggunakan ekstrak kasar protein saja; kinerja koagulan magnetik lebih baik ditinjau dari waktu koagulasinya yang lebih cepat, yaitu 5 menit, dengan penurunan konsentrasi zat warna lebih besar. Penurunan nilai *COD* terjadi pada koagulasi menggunakan koagulan magnetik, sedangkan pada penggunaan ekstrak kasar protein nilai *COD* limbah meningkat.

Kata kunci: besi nanopartikel Fe₃O₄, biji petai cina, protein, asam tanin, koagulan magnetik

ABSTRACT

Leucaena leucocephala seeds have a high globulin content of 43.5% and can be used as a natural coagulant; globulins will be positively charged below their isoelectric pH so that coagulation of anionic dyes such as congo red can occur. Based on the results of existing research; the performance of crude protein extract of *Leucaena leucocephala* seeds as a natural coagulant has not been optimal, both from the COD value of the waste or the sedimentation time. An alternative that can be done is the manufacture of magnetic coagulant from magnetite which is functionalized using *Leucaena leucocephala* seed's protein so that the sedimentation time can be shortened with the help of an external magnet. However; magnetite tends to form aggregates so it is necessary to modify it first to prevent the formation of aggregates while increasing protein adsorption capacity. In this research, tannic acid was used for magnetite modification; considering that tannic acid has the ability to bind magnetite as well as proteins so that it can increase existing protein capacity for the coagulation process.

The selected *Leucaena leucocephala* seeds were pre-dried in an oven at 65°C until their moisture content < 12% (w/w); then their size was reduced to 80 mesh. Extraction was carried out in batches by contacting *Leucaena leucocephala* seeds with 1 M NaCl salt solvent in dispersion for 60 minutes at room temperature and pH 9. Magnetite modification was carried out using tannic acid; followed by functionalization of magnetite by proteins at pH 4. The observed response was protein adsorption capacity (Bradford test). Coagulation was carried out using magnetic coagulant iron nanoparticles – *Leucaena leucocephala* seed proteins with variations in pH in the range of 2–5 as many as 4 levels, variations in coagulant dose in the range of 25–250 mg/L as many as 6 levels, and variations in the initial concentration of congo red in the range of 10–70 ppm as many as 10 levels. The response observed was a decrease in the concentration of dye (UV-Vis spectrophotometer), sludge volume (volumetric method), and removal of COD at the best condition (permanganometry). Sedimentation kinetics were also observed every 5 minutes until 60 minutes of sedimentation was reached. The models used to evaluate sedimentation kinetics are pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetic models.

Experiment results show that protein adsorption capacity with functionalization at pH 4 reached 0,41 mg eq BSA/mg iron. Coagulation activity was observed to occur at pH 2 and no coagulation occurred at pH 3–5. Coagulation activity increased with the addition of magnetic coagulant dose; but reached a critical point at 100 mg/L with a decrease in dye concentration reaching 89,10% and the resulting sludge volume was 4 mL/L. Coagulation activity also increased with the addition of the initial concentration of congo red, but reached a critical point at 40 ppm and tended to be constant at 50–70 ppm. The coagulation kinetic model follows a pseudo-second-order which illustrates a chemisorption process where the dipole-dipole interaction occurs due to the difference in protein charge in the magnetic coagulant with the Congo red dye colloid. When compared with coagulation using crude protein extract alone; the performance of the magnetic coagulant is better in terms of its coagulation time, which is faster (5 minutes), and a greater decrease in dye concentration. In addition, there was a decrease in COD when magnetic coagulant was used. This results in a lower COD value for coagulation using magnetic coagulant than that of crude protein extract.

Keywords: iron nanoparticles (Fe_3O_4), *Leucaena leucocephala* seeds, protein, tannic acid, magnetic coagulant

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Sintesis Koagulan Magnetik Besi Nanopartikel (Fe_3O_4) Terfungsionalisasi Protein Biji Petai Cina Untuk Pengolahan Limbah Sintetik Zat Warna Kongo Merah” tepat pada waktunya. Laporan penelitian ini disusun untuk memenuhi persyaratan mata kuliah CHE-184650 yaitu “Penelitian” di Program Studi Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

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 banyak kekurangan yang terdapat di 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, 27 Januari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR REVISI.....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	viii
INTISARI.....	xi
ABSTRACT	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah	3
1.3 Identifikasi Masalah	3
1.4 Premis	4
1.5 Hipotesis	4
1.6 Tujuan Penelitian.....	8
1.7 Manfaat Penelitian.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Petai Cina.....	10
2.2 Ekstraksi Protein.....	12
2.3 Koloid dan Destabilisasi Koloid.....	16
2.4 Besi Oksida Nanopartikel dan Fungsionalisasinya sebagai Koagulan Magnetik untuk Koagulasi Zat Warna Kongo Merah	19
2.5 Model Kinetik Proses Sedimentasi.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Rancangan Penelitian	25
3.2 Alat dan Bahan	27
3.3 Prosedur Penelitian	28
3.3.1 Modifikasi Magnetit Menggunakan Asam Tanin.....	30
3.3.2 Fungsionalisasi Magnetit Menggunakan Ekstrak Kasar Petai Cina	31

3.3.3 Koagulasi Menggunakan Koagulan Magnetik	33
3.4 Rancangan Percobaan.....	35
3.5 Analisis	36
3.6 Lokasi dan Rencana Penelitian.....	37
BAB IV PEMBAHASAN.....	38
4.1 Fungsionalisasi Besi Nanopartikel oleh Protein Biji Petai Cina	38
4.2 Pengaruh Variasi pH Koagulasi terhadap Profil Penurunan Konsentrasi Zat Warna.....	40
4.3 Pengaruh Variasi Dosis Koagulan Magnetik terhadap Profil Pengurangan Konsentrasi Zat Warna	42
4.4 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Kongo Merah terhadap Profil Pengurangan Konsentrasi Zat Warna	46
4.5 Perbandingan Penggunaan Ekstrak Kasar Protein dan Koagulan Magnetik (Besi-Tanin-Protein) dalam Koagulasi Limbah Kongo Merah	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN A METODE ANALISA	63
LAMPIRAN B <i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i>	74
LAMPIRAN C HASIL ANTARA	91
LAMPIRAN D CONTOH PERHITUNGAN	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Penampakan bagian tumbuhan petai cina (a) Daun, bunga, dan buah (b) Biji.....	11
Gambar 2.2	Kurva adsorpsi isoterm dari kelembaban bahan pangan	13
Gambar 2.3	Mekanisme difusi solut dalam proses ekstraksi komponen bahan pangan .	14
Gambar 2.4	Deret Hofmeister	15
Gambar 2.5	Hubungan kelarutan globulin dan gaya elektrostatik yang terbentuk dengan pH.....	16
Gambar 2.6	Lapisan <i>stern</i> dan difusi pada kontak koloid dan protein.....	17
Gambar 2.7	Mekanisme destabilisasi koloid (a) adsorpsi dan netralisasi muatan (b) <i>enmeshment-precipitation</i> (c) <i>interparticle bridging</i> (d) kompresi layar ganda.....	18
Gambar 2.8	Struktur kristal besi oksida (a) hematit, (b) magnetit, (c) maghemit.....	19
Gambar 2.9	Arah momen magnet setiap atom superparamagnetik (a) tidak ada medan magnet eksternal dan (b) diberikan medan magnet eksternal.....	20
Gambar 2.10	Struktur molekul senyawa (a) Asam Tanin dan (b) ilustrasi modifikasi permukaan oleh asam tanin	21
Gambar 2.11	Ilustrasi interaksi antara asam tanin dengan protein.....	22
Gambar 2.12	Struktur molekul zat warna kongo merah (a) umum (b) gugus terminal <i>chinone</i> pH < 3 dan (c) gugus terminal <i>sulphonazo</i> pH > 5	22
Gambar 3.1	Diagram alir singkat metodologi penelitian.....	25
Gambar 3.2	Sketsa rangkaian alat utama proses ekstraksi biji petai cina	27
Gambar 3.3	Sketsa rangkaian alat proses koagulasi dengan <i>jar test apparatus</i>	28
Gambar 3.4	Diagram alir perlakuan awal dan ekstraksi protein biji petai cina	29
Gambar 3.5	Diagram alir modifikasi magnetit.....	31
Gambar 3.6	Diagram alir fungsionalisasi magnetit.....	32
Gambar 3.7	Diagram alir koagulasi zat warna kongo merah dengan koagulan magnetik hasil fungsionalisasi.....	34
Gambar 4.1	Hasil analisis <i>FTIR</i> (a) Fe ₃ O ₄ , (b) Fe ₃ O ₄ -Tanin, dan (c) Fe ₃ O ₄ -Tanin-Protein.....	39
Gambar 4.2	Profil penurunan konsentrasi zat warna (%) dan volume <i>sludge</i> terhadap pH limbah	40

Gambar 4.3	Profil pengurangan konsentrasi zat warna terhadap waktu variasi pH.....	41
Gambar 4.4	Profil pengurangan konsentrasi zat warna (dalam persen <i>removal</i>) pada variasi dosis koagulan magnetik.....	42
Gambar 4.5	Profil pengurangan konsentrasi zat warna terhadap waktu variasi dosis koagulan.....	44
Gambar 4.6	Perbandingan data dan model pada model kinetika <i>pseudo</i> orde 1 dan 2 ...	46
Gambar 4.7	Profil pengurangan konsentrasi zat warna (dalam persen <i>removal</i>) pada variasi konsentrasi kongo merah dalam limbah	47
Gambar 4.8	Profil pengurangan konsentrasi zat warna terhadap waktu variasi konsentrasi kongo merah	48
Gambar 4.9	Profil pengurangan konsentrasi zat warna terhadap waktu untuk ekstrak kasar protein dan koagulan magnetik (besi–tanin–protein).....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Premis penelitian terkait fungsionalisasi besi nanopartikel dengan protein	5
Tabel 1.2	Premis penelitian terkait koagulasi menggunakan koagulan magnetik besi nanopartikel – protein	6
Tabel 2.1	Distribusi protein dalam biji petai cina basis kering.....	11
Tabel 3.1	Bahan keperluan analisis dalam penelitian.	27
Tabel 3.2	Rancangan percobaan variasi pH proses koagulasi dengan koagulan magnetik.....	35
Tabel 3.3	Rancangan percobaan variasi dosis koagulan proses koagulasi dengan koagulan magnetik	35
Tabel 3.4	Rancangan percobaan variasi konsentrasi awal kongo merah pada proses koagulasi dengan koagulan magnetik	36
Tabel 3.5	Rancangan percobaan variasi jenis koagulan terhadap proses koagulasi limbah sintetik kongo merah.....	36
Tabel 3.6	Rencana Penelitian	37
Tabel 4.1	Parameter kinetika adsorpsi pada variasi dosis koagulan	45
Tabel 4.2	Parameter kinetika adsorpsi pada variasi konsentrasi awal kongo merah dalam limbah.....	49
Tabel 4.3	Parameter kinetika adsorpsi pada variasi koagulan	51
Tabel 4.4	Perbandingan <i>COD</i> dan hasil koagulasi pada variasi jenis koagulan	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil umumnya menggunakan air dan zat warna sintetis dalam jumlah besar. Diperkirakan 700.000 ton zat warna sintetis digunakan setiap tahunnya (McMullan, dkk., 2001) dan 2–50% terbawa ke dalam limbah cair (O'Neill, dkk., 1999). Keberadaan zat warna sintetis pada perairan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena beracun serta memiliki *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi (Sen, dkk., 2011). Oleh karena itu diperlukan pengolahan limbah cair sebelum dibuang. Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair, namun koagulasi dan flokulasi merupakan metode yang sering digunakan karena efisiensi yang tinggi dan paling ekonomis (Verma, dkk., 2012). Koagulan yang paling banyak digunakan yaitu koagulan inorganik seperti aluminium sulfat (alum) karena dapat menghilangkan logam berat, turbiditas, COD, dan BOD dengan efisiensi tinggi dan biaya yang murah (Bahrodin, dkk., 2021). Akan tetapi koagulan inorganik memiliki kelemahan yaitu mengubah pH limbah cair dan menghasilkan *sludge* dalam jumlah besar yang mengandung senyawa berbahaya (Okoli, 2012). Penggunaan koagulan alami menjadi alternatif solusi yang banyak dikembangkan akhir-akhir ini karena dapat mengatasi kekurangan koagulan inorganik. Selain itu koagulan alami juga bersifat *biodegradable* dan ramah lingkungan (Dkhissi, dkk., 2018).

Zat aktif koagulan alami umumnya adalah polimer seperti polisakarida, polifenol, dan protein. Protein merupakan zat aktif koagulan yang memerlukan perlakuan lebih sederhana dan banyak dimiliki kacang-kacangan (Kristianto, dkk., 2019a). Terdapat beberapa penelitian penggunaan protein kacang-kacangan sebagai koagulan alami yaitu menggunakan ekstrak protein dari *Moringa olifera* (Beltrán-Heredia dan Martín, 2008; Choudhary dan Neogi, 2017), biji *Phaseolus vulgaris* (Vijayaraghavan dan Shanthakumar, 2015) dan biji petai cina (Al-Mamun dan Basir, 2016; Kristianto, dkk., 2019b). Hasilnya secara umum penggunaan protein sebagai koagulan alami memiliki efisiensi yang tinggi namun masih memiliki beberapa kekurangan. Kekurangan yang ditemui yaitu waktu sedimentasi yang cukup lama yaitu 60 – 90 menit karena sedimentasi hanya mengandalkan gaya gravitasi (Mateus, dkk., 2018a). Selain itu juga terdapat peningkatan zat organik dalam air yang telah diolah karena ekstrak turut membawa zat organik ke dalam air (Yin, 2010).

Untuk mengatasi masalah tersebut, beberapa peneliti menggunakan besi oksida nanopartikel untuk membuat koagulan magnetik. Koagulan magnetik dapat mempercepat waktu sedimentasi karena sedimentasi dapat dilakukan di bawah pengaruh medan magnet eksternal (Santos, dkk., 2018). Terdapat dua metode yang digunakan untuk sintesis koagulan magnetik yaitu dengan mendispersikan besi oksida nanopartikel ke ekstrak kasar protein dan melakukan fungsionalisasi permukaan besi oksida nanopartikel dengan protein (Kristianto, dkk., 2020b). Koagulan magnetik dari pendispersian besi nanopartikel dengan ekstrak kasar biji *moringa oleifera* dapat mempercepat waktu sedimentasi menjadi kurang dari 30 menit (Santos dkk., 2016a, 2018; Mateus dkk., 2018a, b). Sementara itu koagulan magnetik dari besi oksida nanopartikel yang difungsionalisasi protein biji *moringa oleifera* menghasilkan penurunan kadar zat warna sebesar 90% dan waktu sedimentasi 12 menit (Okoli, 2012).

Untuk membuat koagulan magnetik dengan fungsionalisasi, perlu dilakukan modifikasi permukaan besi oksida dengan menambahkan senyawa tertentu untuk meningkatkan jumlah protein teradsorp. Penelitian sebelumnya mensintesis koagulan magnetik dari magnetit yang difungsionalisasi protein biji petai cina (*Leucaena leucocephala*) menggunakan trinitrat sebagai zat pemodifikasi. Metode ini menghasilkan persentase penurunan zat warna sekitar 80% untuk konsentrasi awal kongo merah 10 ppm (Kristianto, dkk., 2020b), lebih rendah dari hasil koagulasi dengan koagulan magnetik metode dispersi yaitu 90% untuk konsentrasi awal kongo merah 50 ppm (Kristianto, dkk., 2020a). Hal ini diduga karena jumlah protein yang dapat teradsorp pada magnetit masih relatif sedikit. Selain itu masih terdapat peningkatan kandungan zat organik pada air yang telah diolah sebesar 18%, meskipun lebih rendah daripada menggunakan ekstrak kasar protein saja yaitu sebesar 48%. Peningkatan ini diduga karena adanya protein yang terdesorpsi dari permukaan magnetit pada saat koagulasi (Kristianto, dkk., 2020b).

Pada penelitian ini, koagulan magnetik disintesis menggunakan metode yang sama yaitu fungsionalisasi magnetit dengan protein biji petai cina. Namun zat pemodifikasi yang digunakan adalah asam tanin. Asam tanin merupakan asam fenolik yang memiliki banyak gugus hidroksil (Akomolafe, dkk., 2014) sehingga dapat memodifikasi permukaan besi oksida (Bagtash et al., 2016). Besi oksida yang dimodifikasi asam tanin telah menunjukkan keberhasilan dalam imobilisasi enzim tripsin (Atacan dan Özacar, 2015) dan β – agarase (Xiao, dkk., 2018). Penggunaan asam tanin sebagai zat pemodifikasi diharapkan mampu memberikan kinerja koagulasi yang lebih baik daripada trinitrat mengingat

banyaknya jumlah gugus hidroksil pada asam tanin yang memungkinkan meningkatkan kapasitas adsorpsi protein biji petai cina.

1.2 Tema Sentral Masalah

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, penggunaan ekstrak kasar protein biji petai cina (*Leucaena leucocephala*) sebagai koagulan menghasilkan penurunan persentase zat warna yang sama dengan alum dengan volume *sludge* berkurang separuhnya (Kristianto, dkk., 2019b). Namun kekurangan dari penggunaan ekstrak kasar protein saja memiliki kekurangan yaitu waktu sedimentasi yang lama dan peningkatan jumlah zat organik dalam air yang telah diolah. Menanggapi kekurangan tersebut, penelitian berikutnya berupaya mengisolasi protein biji petai cina dengan melakukan fungsionalisasi magnetit dengan trinitrium sitrat sebagai zat pemodifikasi. Hasilnya waktu sedimentasi menjadi lebih cepat namun penurunan persentase zat warna masih lebih rendah dari hasil koagulasi oleh koagulan magnetik metode dispersi yang diduga karena jumlah protein yang dapat teradsorp pada magnetit masih relatif sedikit (Kristianto, dkk., 2020b). Selain itu masih terdapat peningkatan kandungan zat organik pada air yang telah diolah sebesar 18%, meskipun lebih rendah daripada menggunakan ekstrak kasar protein saja. Peningkatan ini diduga karena masih ada protein yang terdesorp dari permukaan magnetit pada saat koagulasi (Kristianto, dkk., 2020b). Pada penelitian ini digunakan asam tanin sebagai zat pemodifikasi yang diharapkan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi protein serta memperkecil peningkatan kandungan zat organik setelah koagulasi. Respon yang diamati adalah penurunan konsentrasi zat warna, COD, serta volume *sludge* yang dihasilkan.

1.3 Identifikasi Masalah

Beberapa masalah yang dapat diidentifikasi dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana profil penurunan konsentrasi zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan terhadap pH dalam proses koagulasi limbah sintetik zat warna kongo merah?
2. Bagaimana profil penurunan konsentrasi zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan terhadap dosis koagulan dalam proses koagulasi limbah sintetik zat warna kongo merah?
3. Bagaimana profil penurunan konsentrasi zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan terhadap konsentrasi awal kongo merah dalam proses koagulasi limbah sintetik zat warna kongo merah?

4. Bagaimana model kinetika penurunan konsentrasi zat warna kongo merah menggunakan koagulan magnetik dibandingkan koagulan ekstrak kasar protein saja?
5. Bagaimana penurunan konsentrasi zat warna, volume *sludge* yang dihasilkan, dan nilai COD dari hasil koagulasi menggunakan koagulan magnetik dibandingkan ekstrak kasar protein saja?

1.4 Premis

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

1.5 Hipotesis

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

1. Koagulasi dapat terjadi pada pH di bawah pH isoelektrik protein biji petai cina yaitu 4,4; namun tidak lebih rendah dari pH 3. Hal ini terjadi karena koagulasi mengikuti mekanisme netralisasi muatan (Kristianto dkk., 2020b) di mana harus terdapat perbedaan muatan antara protein dengan koloid kongo merah. Protein yang memiliki pH di bawah isoelektriknya bermuatan positif sementara koloid kongo merah mulai bermuatan negatif pada $\text{pH} \geq 3$ (Kristianto, dkk., 2020b) sehingga persentase penurunan zat warna dan volume *sludge* maksimum di rentang pH 3 – 4,4. Di bawah pH 3 dan di atas pH 4,4 koagulasi tidak berlangsung dengan baik yang ditandai dengan persentase penurunan zat warna dan volume *sludge* yang rendah.
2. Semakin tinggi dosis koagulan, persentase penurunan zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan akan semakin tinggi (Tie, dkk., 2014). Akan tetapi terdapat dosis maksimum yaitu jika dosis koagulan ditingkatkan lebih dari dosis maksimum, justru menurunkan persentase penurunan zat warna sedangkan volume *sludge* yang dihasilkan terus meningkat. Hal ini terjadi karena semakin tinggi dosis koagulan, zat aktif koagulasi menjadi semakin banyak. Namun penambahan koagulan yang terlalu banyak akan menyebabkan restabilisasi muatan karena koloid akan berbalik muatan menjadi positif (Choy, dkk., 2015; Hoong dan Ismail, 2018; Kristianto, dkk., 2020c).

Tabel 1.1 Premis penelitian terkait fungsionalisasi besi nanopartikel dengan protein

No.	Jenis Besi	Jenis Protein	Zat Pemodifikasi	Kondisi Modifikasi		Kondisi Fungsionalisasi				Hasil	Peneliti
				Jumlah Besi	Konsentrasi Zat Pemodifikasi	Jumlah Besi	Volume protein	Konsentrasi Protein	pH		
1	Fe ₃ O ₄	Bovine Serum Albumin (BSA)	Trinatrium sitrat	0,5 g	0,05 M	0,5 g	5	1,5 x 10 ⁻⁵ M	4	Adsorpsi BSA maksimum pada pH 4,7 (pH isoelektrik BSA) dan konsentrasi zat pemodifikasi 0,3 M	Dong, dkk., 2012
					0,1 M				4,6		
					0,2 M				7,4		
					0,3 M						
					0,4 M						
0,5 M											
2	Fe ₃ O ₄	Ekstrak biji petai Cina	Trinatrium sitrat	0,080 g	0,25 M	0,080 g	5	n.a	3,0	Kapasitas adsorpsi maksimum pada pH 4 (dekat pH isoelektrik protein) dan konsentrasi zat pemodifikasi 0,5 M	Kristianto, dkk., 2020b
					0,50 M				3,5		
									3,0		
									4,0		
									4,5		
									5,0		
1,0 M	5,5										
6,0											
3	Fe ₃ O ₄	Enzim tripsin	Asam tanin	1,0551 g	25 mg/mL	0,100 g	n.a	1 mg/mL	7,5	Imobilisasi enzim tripsin meningkatkan aktivitas enzim.	Atacan dan Özacar, 2015
4	Fe ₃ O ₄	Enzim β - agarase	Asam tanin	1,0551 g	25 mg/mL	0,025 g	1	160 U/mL	7,5	Dosis protein optimum adalah 3 mL/25 mg besi	Xiao, dkk., 2018
							1,5				
							2				
							2,5				
							3				
							3,5				

Tabel 1.2 Premis penelitian terkait koagulasi menggunakan koagulan magnetik besi nanopartikel – protein

No	Jenis Koagulan	Jenis Limbah	Kondisi awal limbah	Kondisi Koagulasi		Hasil	Peneliti
				Koagulan : Air limbah	pH		
1	Fe ₃ O ₄ dan ekstrak biji <i>Moringa oleifera</i>	Zat warna Tartrazine	Konsentrasi warna 50 mg/L	0,067 mL/mL	3	Kondisi optimum koagulasi pada pH 3 (%removal 70,16%, 10 menit) ;	Mateus, dkk., 2018a
					6		
					9		
2	Fe ₃ O ₄ dan ekstrak biji <i>Moringa oleifera</i>	Air sungai	(i) Turbiditas 143,33 NTU (ii) pH 7,12 (iii) UV 245 nm 0,224 cm ⁻¹	0,067 mL/mL	n.a	Kondisi optimum koagulasi pada jumlah Fe ₃ O ₄ 20 mg (penurunan turbiditas 96,8%, 10 menit)	Mateus, dkk., 2018b
3	Fe ₃ O ₄ dan ekstrak biji petai cina	Zat warna kongo merah	Konsentrasi warna 50 ppm	0,004 mL/mL	3	Kondisi optimum koagulasi pada pH 3 dan konsentrasi koagulan 0,028 mL/mL (%removal 90%, 30 menit) ; model kinetika yang paling cocok adalah <i>pseudo</i> orde 2	Kristianto, dkk., 2020a
				0,008 mL/mL			
				0,012 mL/mL	4		
				0,016 mL/mL			
				0,020 mL/mL	6		
				0,024 mL/mL			
				0,028 mL/mL	8		
				0,032 mL/mL			
				0,036 mL/mL	10		
0,040 mL/mL							
4	Fe ₃ O ₄ termodifikasi (trinitrium sitrat) difungsionalisasi oleh ekstrak biji <i>Moringa oleifera</i> (MO)	Larutan kaolin clay	Konsentrasi kaolin 10 g/L	0,01 mg/L	n.a.	Kondisi optimum koagulasi pada 0,2 mg/L (%removal 70%, 1 jam)	Okoli, dkk.. 2011
				0,05 mg/L			
				0,10 mg/L			
				0,20 mg/L			
				0,30 mg/L			
				0,40 mg/L			

Tabel 1.2 Premis penelitian terkait koagulasi menggunakan koagulan magnetik besi nanopartikel – protein (*lanjutan*)

No	Jenis Koagulan	Jenis Limbah	Kondisi awal limbah	Kondisi Koagulasi		Hasil	Peneliti
				Koagulan : Air limbah	pH		
5	Fe ₃ O ₄ termodifikasi (trinatrium sitrat) difungsionalisasi oleh ekstrak biji petai cina	Zat warna kongo merah	Konsentrasi warna 10 mg/L	60 mg/L	2	Kondisi optimum koagulasi pada pH 3 dan konsentrasi koagulan 420 mg/L (%removal 80%, 20 menit) ; model kinetika yang paling cocok adalah <i>pseudo</i> orde 2	Kristianto, dkk., 2020b
				120 mg/L	3		
				180 mg/L	4		
				240 mg/L	5		
				300 mg/L	6		
				360 mg/L	7		
				420 mg/L	8		
				480 mg/L	9		
				540 mg/L	10		
				600 mg/L			

3. Semakin tinggi konsentrasi awal kongo merah, persentase penurunan zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan akan semakin tinggi. Tetapi, akan terdapat suatu titik kritik dimana penambahan konsentrasi awal kongo merah tidak lagi meningkatkan aktivitas koagulasi dan bahkan dapat berakibat menurunkan persentase penurunan zat warna walaupun volume *sludge* yang dihasilkan akan terus meningkat. Hal ini diakibatkan semakin tinggi konsentrasi awal kongo merah, semakin banyak koloid kongo merah yang siap untuk didestabilisasi oleh koagulan. Namun, konsentrasi awal kongo merah yang terlalu tinggi dengan ketersediaan zat aktif koagulan yang tetap, membuat koloid tidak lagi dapat berikatan membentuk flok akibat koagulan yang sudah jenuh sehingga konsentrasi kongo merah pada limbah tetap tinggi (Hoong dan Ismail, 2018).
4. Koagulasi dengan koagulan magnetik memiliki waktu sedimentasi yang lebih singkat dibandingkan menggunakan koagulan ekstrak kasar protein saja. Hal ini disebabkan karena pada penggunaan koagulan magnetik, sedimentasi tidak hanya memanfaatkan gaya gravitasi saja melainkan dibantu oleh medan magnet eksternal (Okoli, 2012). Sementara itu model kinetika yang paling cocok dengan proses koagulasi – sedimentasi adalah *pseudo* orde 2 (Kristianto, dkk., 2020b).
5. Penurunan konsentrasi zat warna dari hasil koagulasi menggunakan koagulan magnetik kurang lebih sama dibandingkan menggunakan ekstrak kasar protein saja. Volume *sludge* yang dihasilkan dan nilai *COD* lebih rendah jika menggunakan koagulan magnetik. Pada koagulan magnetik hanya terdapat protein saja sementara zat lain non-protein terpisahkan sehingga volume *sludge* yang dihasilkan dan nilai *COD* lebih rendah daripada menggunakan koagulan ekstrak kasar protein (Okoli, 2012).

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui profil persentase penurunan zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan terhadap pH pada proses koagulasi limbah sintetik zat warna kongo merah menggunakan koagulan magnetik protein biji petai cina.
2. Mengetahui profil persentase penurunan zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan terhadap dosis koagulan pada proses koagulasi limbah sintetik zat warna kongo merah menggunakan koagulan magnetik protein biji petai cina.

3. Mengetahui profil persentase penurunan zat warna dan volume *sludge* yang dihasilkan terhadap konsentrasi awal kongo merah pada proses koagulasi limbah sintetik zat warna kongo merah menggunakan koagulan magnetik protein biji petai cina.
4. Membuat model kinetika yang sesuai untuk penurunan konsentrasi zat warna kongo merah pada koagulasi menggunakan koagulan magnetik dan koagulan ekstrak kasar protein saja.
5. Membandingkan penurunan konsentrasi zat warna, volume *sludge* yang dihasilkan, dan nilai COD dari hasil koagulasi menggunakan koagulan magnetik dengan koagulan ekstrak kasar protein saja.

1.7 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. **Bagi mahasiswa**, untuk mengetahui pengaruh pH terhadap fungsionalisasi magnetit dengan ekstrak kasar protein. Selain itu; untuk mengetahui pengaruh dosis koagulan dan pH terhadap penurunan konsentrasi zat warna, volume *sludge* yang dihasilkan, dan nilai COD pada proses koagulasi; serta membandingkan hasil koagulasi antara menggunakan koagulan magnetik dan ekstrak kasar protein saja.
2. **Bagi industri**, khususnya untuk industri tekstil, untuk mengembangkan penggunaan koagulan alami sebagai metode untuk mengolah limbah cair yang memiliki kinerja setara bahkan lebih baik dari koagulan inorganik yang umum digunakan.