

**STUDI ADSORPSI *BOVINE SERUM ALBUMIN*
PADA BESI NANOPARTIKEL Fe₃O₄ TERMODIFIKASI**

Laporan Penelitian

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

Oleh:

Christ Joseph Carlo Wibowo Apoenx (6141801038)

Stephanie Hanafi (6141801046)

Dosen Pembimbing:

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

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



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2022**

ADSORPTION OF BOVINE SERUM ALBUMIN ON MODIFIED Fe₃O₄ NANOPARTICLES

Research Report

Compiled to fulfill the final task to achieve
Bachelor's degree in Chemical Engineering

By:

Christ Joseph Carlo Wibowo Apoenx (6141801038)

Stephanie Hanafi (6141801046)

Academic Consultant:

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

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



**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
BANDUNG
2022**

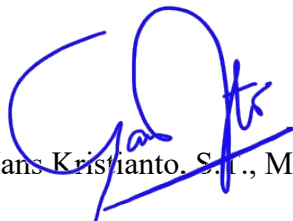
LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL : STUDI ADSORPSI BOVINE SERUM ALBUMIN PADA
BESI NANOPARTIKEL Fe₃O₄ TERMODIFIKASI**

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.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SURAT PERNYATAAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Christ Joseph Carlo Wibowo Apoenx

NPM : 6141801038

Nama : Stephanie Hanafi

NPM : 6141801046

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

Studi Adsorpsi *Bovine Serum Albumin* Pada Besi Nanopartikel Fe_3O_4 Termodifikasi

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, 13 Januari 2022



Christ Joseph Carlo Wibowo Apoenx
(6141801038)



Stephanie Hanafi
(6141801046)

LEMBAR REVISI

**JUDUL : STUDI ADSORPSI BOVINE SERUM ALBUMIN PADA
BESI NANOPARTIKEL Fe₃O₄ TERMODIFIKASI**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 9 Februari 2022

Penguji 1



Ratna Frida Susanti, Ph.D.

Penguji 2



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

INTISARI

Fe_3O_4 nanopartikel merupakan salah satu adsorben nanopartikel yang banyak dikembangkan karena memiliki beberapa keunggulan seperti kemampuan penyerapan yang sangat baik, kekuatan struktur yang baik, dan tingkat resistensi terhadap asam dan alkali yang tinggi. Fe_3O_4 nanopartikel dapat dimanfaatkan dalam proses adsorpsi protein; akan tetapi, besi nanopartikel memiliki permukaan hidrofobik yang tidak menguntungkan untuk aplikasi pada sistem yang polar sehingga modifikasi pada permukaan Fe_3O_4 nanopartikel perlu dilakukan agar kapasitas adsorpsi dapat meningkat. Pada penelitian ini, asam galat dan asam humat digunakan sebagai agen modifikasi Fe_3O_4 nanopartikel sehingga interaksi hidrofobik antara Fe_3O_4 nanopartikel dengan protein semakin meningkat.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pH terbaik, kapasitas adsorpsi, model isoterm, dan termodinamika pada proses adsorpsi *bovine serum albumin* (BSA) dengan dan tanpa modifikasi permukaan Fe_3O_4 nanopartikel dengan asam galat atau asam humat. Penentuan pH terbaik untuk adsorpsi BSA dilakukan dengan memvariasikan pH pada rentang 3,6 – 5,6 menggunakan larutan buffer asetat 0,1 M; pH terbaik digunakan sebagai kondisi penelitian selanjutnya. Studi isoterm adsorpsi dan termodinamika BSA dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi awal BSA sebesar 50 – 175 mg L⁻¹ dan temperatur adsorpsi dengan rentang 30 – 50 °C. Konsentrasi BSA yang teradsorpsi dianalisis menggunakan uji Bradford. Data yang diperoleh di-fit ke model Langmuir, Freundlich, Temkin, dan Dubinin-Radushkevich untuk isoterm adsorpsi serta persamaan Van't Hoff untuk termodinamika adsorpsi. Karakterisasi Fe_3O_4 nanopartikel sebelum dan setelah modifikasi asam galat atau asam humat serta setelah adsorpsi protein dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

Hasil analisa FTIR menunjukkan bahwa Fe_3O_4 nanopartikel telah berhasil dimodifikasi dengan asam galat atau asam humat yang ditunjukkan dengan adanya ikatan *stretching* C=O. Selain itu, keberadaan gugus amida I, II dan III menunjukkan adanya BSA yang berhasil diadsorpsi. Peningkatan kapasitas adsorpsi BSA terjadi pada rentang pH 3,6 sampai 4,8 dan mengalami penurunan pada rentang pH 4,8 sampai 5,6 akibat adanya gaya tolak-menolak antara adsorbat dan adsorben. Kapasitas maksimum adsorpsi terjadi pada pH 4,8 mendekati titik isoelektrik BSA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi pada Fe_3O_4 , Fe_3O_4 -AG, dan Fe_3O_4 -AH mengikuti model isoterm Freundlich. Termodinamika adsorpsi pada Fe_3O_4 , Fe_3O_4 -AG, dan Fe_3O_4 -AH menunjukkan bahwa adsorpsi terjadi secara spontan, endotermis, dan adanya keacakan molekul BSA pada permukaan adsorben yang ditunjukkan nilai energi Gibbs (ΔG°) yang negatif, entalpi (ΔH°) yang positif, dan entropi (ΔS°) yang positif secara berturut-turut. Modifikasi besi nanopartikel menggunakan asam galat dan asam humat telah berhasil meningkatkan kapasitas adsorpsi hingga 33,650 mg BSA/g besi dan 39,231 mg BSA/g besi.

Kata kunci: adsorpsi, asam galat, asam humat, *Bovine Serum Albumin* (BSA), Fe_3O_4 nanopartikel

ABSTRACT

Fe₃O₄ nanoparticles are one of the nanoparticle adsorbents that have been widely developed because they have various advantages such as excellent adsorption ability, good structural strength, and a high level of resistance to acids and alkalis. Fe₃O₄ nanoparticles can be utilized in the protein adsorption process; however, iron nanoparticles have hydrophobic surface that is unfavorable for application in polar systems, so modifications to the surface of Fe₃O₄ nanoparticles need to be carried out to increase the adsorption capacity. In this study, gallic acid and humic acid were used as modification agents for Fe₃O₄ nanoparticles so that the hydrophobic interaction between Fe₃O₄ nanoparticles and protein increased.

This study aims to determine the optimum pH, adsorption capacity, isotherm model, and thermodynamics in bovine serum albumin (BSA) adsorption with and without surface modification of Fe₃O₄ nanoparticles with gallic acid or humic acid. The optimum pH for BSA adsorption was determined by varying the pH in the range of 3.6 – 5.6 using 0.1 M acetate buffer solution, where the best pH was used as the subsequent experimental study. The adsorption isotherm and thermodynamic studies of BSA were carried out by varying the initial concentration of BSA in the range of 50 – 175 mg L⁻¹ and the adsorption temperature in the range of 30 – 50 °C. The concentration of adsorbed BSA was analyzed using the Bradford test. The data obtained were then fitted to the Langmuir, Freundlich, Temkin, and Dubinin-Radushkevich models for adsorption isotherms and the Van't Hoff equation for adsorption thermodynamics. Characterization of Fe₃O₄ nanoparticles before and after modification of gallic acid or humic acid and after protein adsorption was carried out using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).

The results of FTIR analysis showed that Fe₃O₄ nanoparticles had been successfully modified with gallic acid or humic acid as indicated by the presence of stretching C=O bonds. In addition, the presence of amide groups I, II and III indicated the presence of BSA which was successfully adsorbed. The increase in BSA adsorption capacity occurred in the pH range of 3.6 to 4.8 and decreased in the pH range of 4.8 to 5.6 due to the repulsion between the adsorbate and the adsorbent. The maximum adsorption capacity occurred at pH 4.8 near the isoelectric point of BSA. The experimental results show that the adsorption process that occurs in Fe₃O₄, Fe₃O₄-AG, and Fe₃O₄-AH follows the Freundlich isotherm model. The thermodynamics of adsorption on Fe₃O₄, Fe₃O₄-AG, and Fe₃O₄-AH showed that the adsorption occurred spontaneously, endothermically, and the randomness of BSA molecules on the surface of the adsorbent; indicated by negative value of Gibbs energy (ΔG°), positive value of enthalpy (ΔH°), and positive value of entropy (ΔS°), respectively. Modification of iron nanoparticles using gallic acid and humic acid has succeeded in increasing the adsorption up to 33.650 mg BSA/g iron and 39.231 mg BSA/g iron.

Keywords: adsorption, gallic acid, humic acid, Bovine Serum Albumin (BSA), Fe₃O₄ nanoparticles

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa. Berkat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Studi Adsorpsi *Bovine Serum Albumin* Pada Besi Nanopartikel Fe_3O_4 Termodifikasi” tepat pada waktunya.

Laporan penelitian ini disusun dan diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Penelitian (CHE 184650-04) yang merupakan salah satu mata kuliah wajib untuk mendapatkan gelar sarjana pada Program Studi Sarjana Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan. Laporan ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya karena penulis menerima banyak bantuan dan dukungan. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Hans Kristianto S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama yang selalu memberikan bimbingan, waktu, dan masukannya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini.
2. Susiana Prasetyo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang juga telah memberikan bimbingan dan saran agar laporan penelitian ini dapat selesai.
3. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan dan perhatiannya selama penyusunan laporan.
4. Serta berbagai pihak yang tidak mungkin dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan ilmu dan pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, saran dan kritik dari pembaca yang bersifat membangun akan penulis terima dengan sepenuh hati. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, 26 Januari 2022

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
<i>ABSTRACT</i>	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah	2
1.3 Identifikasi Masalah.....	3
1.4 Premis	4
1.5 Hipotesis	4
1.6 Tujuan Penelitian	9
1.7. Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Bovine Serum Albumin (BSA).....	10
2.2 Besi Nanopartikel	12
2.3 Adsorpsi BSA dengan Besi Nanopartikel Termodifikasi Asam	13
2.4 Model Isoterm Adsorpsi	21
2.4.1 Isoterm Langmuir	21
2.4.2 Isoterm Freundlich	22
2.4.3 Isoterm Temkin	23
2.4.4 Isoterm Dubinin-Radushkevich.....	24
2.5 Termodinamika.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Rancangan Penelitian.....	27

3.2 Alat dan Bahan	29
3.3 Prosedur Penelitian	30
3.3.1 Modifikasi Menggunakan Asam Galat atau Asam Humat.....	30
3.3.2 Adsorpsi <i>Bovine Serum Albumin</i> (BSA)	32
3.4 Rancangan Percobaan.....	33
3.4.1 Pengolahan Data Isoterm Adsorpsi	34
3.4.2 Pengolahan Data Termodinamika Adsorpsi.....	36
3.5. Analisis	37
3.6. Jadwal Kerja Penelitian	37
BAB IV PEMBAHASAN.....	38
4.1 Modifikasi Besi Nanopartikel.....	38
4.2 Karakterisasi Adsorpsi BSA	39
4.3 Penentuan pH Optimum Adsorpsi	41
4.4 Pengaruh Konsentrasi Awal BSA dan Temperatur Adsorpsi.....	43
4.5 Isoterm Adsorpsi.....	45
4.5.1 Isoterm Adsorpsi Langmuir	45
4.5.2 Isoterm Adsorpsi Freundlich.....	47
4.5.3 Isoterm Adsorpsi Temkin.....	47
4.5.4 Isoterm Dubinin-Raduskevich.....	48
4.6 Termodinamika Adsorpsi	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA.....	54
LAMPIRAN A METODE ANALISA	62
LAMPIRAN B <i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i>.....	68
LAMPIRAN C HASIL ANTARA	80
LAMPIRAN D GRAFIK	87
LAMPIRAN E CONTOH PERHITUNGAN.....	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gugus asam amino pada pH di atas dan di bawah titik isoelektrik	10
Gambar 2.2	Struktur sekunder BSA	11
Gambar 2.3	Struktur molekul Fe ₃ O ₄	12
Gambar 2.4	Mekanisme tahap adsorpsi protein ke permukaan padatan adsorben	14
Gambar 2.5	Kapasitas adsorpsi tanpa dan dengan modifikasi asam	16
Gambar 2.6	Ilustrasi interaksi hidrofobik dan ikatan hidrogen	17
Gambar 2.7	Struktur molekul asam humat	17
Gambar 2.8	Spektrum IR dari Fe ₃ O ₄ nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi asam humat.....	18
Gambar 2.9	Interaksi asam galat dengan BSA	18
Gambar 2.10	Struktur molekul asam galat.....	19
Gambar 2.11	Spektrum IR dari Fe ₃ O ₄ nanopartikel dengan (kiri) dan tanpa modifikasi (kanan) asam galat	19
Gambar 2.12	Kapasitas adsorpsi BSA pada permukaan Fe ₃ O ₄ pada berbagai pH.....	20
Gambar 3.1	Diagram alir singkat penelitian.....	28
Gambar 3.2	Skema alat untuk modifikasi permukaan Fe ₃ O ₄ nanopartikel	29
Gambar 3.3	Diagram alir modifikasi permukaan Fe ₃ O ₄ nanopartikel dengan asam galat atau asam humat.....	31
Gambar 3.4	Diagram alir adsorpsi BSA pada permukaan Fe ₃ O ₄ nanopartikel	32
Gambar 4.1	Spektra infra merah sampel Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ – AG dan Fe ₃ O ₄ – AH	38
Gambar 4.2	(a) Spektra infra merah Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ – BSA, (b) Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ –AG dan Fe ₃ O ₄ – AG – BSA, (c) Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ – AH dan Fe ₃ O ₄ –AH–BSA, (d) BSA, Fe ₃ O ₄ –AG–BSA, Fe ₃ O ₄ –AH–BSA	40
Gambar 4.3	Profil kapasitas adsorpsi BSA terhadap pH pada suhu 30°C sampel Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ –AG, dan Fe ₃ O ₄ –AH.....	41

Gambar 4.4 Profil Adsorpsi (a) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-BSA}$, (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AG-BSA}$,
(c) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AH-BSA}$ 44

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Premis penelitian terkait adsorpsi BSA pada Fe_3O_4 nanopartikel.....	5
Tabel 1.2 Premis penelitian terkait termodinamika adsorpsi BSA pada Fe_3O_4 nanopartikel	8
Tabel 2.1 Komposisi asam amino pada BSA	12
Tabel 2.2 Jenis Adsorpsi.....	14
Tabel 3.1 Bahan kimia untuk keperluan analisis.....	29
Tabel 3.2 Run percobaan kapasitas adsorpsi pada berbagai derajat keasaman (pH)	33
Tabel 3.3 Rancangan percobaan isoterm adsorpsi.....	34
Tabel 3.4 Plot sumbu x dan sumbu y setiap isoterm adsorpsi.....	35
Tabel 3.5 <i>Gradien</i> dan <i>slope</i> setiap isoterm adsorpsi.....	35
Tabel 3.6 Persamaan non-linear setiap isoterm adsorpsi.....	36
Tabel 3.7 Jadwal Kerja Penelitian	37
Tabel 4.1 Parameter isoterm Langmuir Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AG}$, dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AH}$	45
Tabel 4.2 Perbandingan isoterm adsorpsi besi nanopartikel Fe_3O_4 hasil penelitian dengan pustaka	46
Tabel 4.3 Parameter isoterm Freundlich Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AG}$, dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AH}$	47
Tabel 4.4 Parameter isoterm Temkin Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AG}$, dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AH}$	48
Tabel 4.5 Parameter isoterm Dubinin-Raduskevich Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AG}$, dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AH}$	49
Tabel 4.6 Uji non-linear <i>Chi-squared</i> parameter isoterm Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AG}$, dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AH}$	50
Tabel 4.7 Nilai persen error parameter isoterm Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AG}$, dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AH}$	50
Tabel 4.8 Termodinamika adsorpsi Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AG}$, dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AH}$	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanopartikel merupakan merupakan partikel yang memiliki ukuran sebesar 1-100 nm; di mana dalam beberapa tahun terakhir telah banyak diteliti dan digunakan dalam berbagai bidang, seperti industri, medis, hingga produk konsumen (Manna dan Bdanyopadhyay, 2018). Salah satu aplikasinya yang diteliti pada penelitian ini adalah adsorben berukuran nano telah banyak dikembangkan seiring dengan perkembangan nanoteknologi. Keuntungan nanopartikel sebagai adsorben dibandingkan adsorben konvensional adalah kinerja yang lebih baik karena luas permukaan yang besar, tidak adanya resistansi difusi internal, efisien dan biasanya lebih hemat biaya (Sadegh dkk., 2017). Salah satu adsorben berukuran nano yang banyak dikembangkan dalam penelitian bioteknologi terutama dalam adsorpsi dan pemurnian protein yaitu besi oksida nanopartikel.

Magnetit (Fe_3O_4) nanopartikel dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti immobilisasi enzim dan protein, *magnetic resonance imaging* (MRI), *drug delivery system*, dan purifikasi DNA/RNA (Kim dkk., 2007). Hal tersebut dikarenakan Fe_3O_4 nanopartikel memiliki beberapa keunggulan, antara lain kemampuan penyerapan yang sangat baik, kekuatan struktur yang baik, tingkat resistensi terhadap asam dan alkali yang tinggi, dapat dilakukan modifikasi pada permukaan, biaya yang relatif murah, dan proses pemisahan yang mudah sehingga dapat digunakan kembali (Faraji dkk., 2010; Jain dkk., 2018). Akan tetapi, Fe_3O_4 nanopartikel mudah teroksidasi ketika bereaksi dengan udara dan cenderung membentuk agregat dalam sistem yang polar karena energi permukaannya yang tinggi menyebabkan Fe_3O_4 nanopartikel sulit untuk terikat secara langsung dengan biomolekul dalam air (Kim dkk., 2007). Beberapa penelitian juga menyatakan bahwa Fe_3O_4 nanopartikel memiliki permukaan hidrofobik yang tidak menguntungkan untuk aplikasi pada sistem yang polar (Mahdavinia dan Etemadi, 2015; Wu dkk., 2015; Zhang dkk., 2011). Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi pada permukaan Fe_3O_4 nanopartikel, salah satunya adalah dengan melapisi permukaannya dengan asam multivalensi sehingga dapat meningkatkan interaksi hidrofobik antara permukaan Fe_3O_4 nanopartikel dengan biomolekul pada sistem yang polar.

Adsorben Fe_3O_4 nanopartikel termodifikasi yang memiliki sifat hidrofilik banyak digunakan dalam adsorpsi protein, yang pada penelitian ini diwakili dengan *Bovine Serum Albumin* (BSA), karena adanya interaksi hidrofobik akan meningkatkan kapasitas adsorpsi Fe_3O_4 termodifikasi-BSA. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Atacan dan Özacar (2015), Joshua (2021), dan Kim dkk. (2007), Fe_3O_4 nanopartikel yang termodifikasi asam memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi daripada tanpa modifikasi. Faktor lainnya yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi BSA adalah interaksi elektrotatis yang dipengaruhi oleh variasi pH (Peng dkk., 2004).

Modifikasi Fe_3O_4 nanopartikel dengan asam galat dan asam humat sudah pernah dilakukan, namun studi proses adsorpsi dengan BSA belum pernah terutama pada studi isoterm dan termodinamika proses adsorpsinya; namun beberapa penelitian (Madaeni dkk., 2006; Precupas dkk., 2019) telah menunjukkan bahwa asam galat ataupun asam humat memiliki interaksi dengan BSA. Oleh karena itu, pada penelitian ini, efektivitas modifikasi permukaan Fe_3O_4 nanopartikel menggunakan asam galat dan asam humat akan dievaluasi dengan mempelajari isoterm dan termodinamika adsorpsinya. Studi isoterm adsorpsi dapat menentukan jumlah maksimum adsorbat yang dapat teradsorpsi pada permukaan adsorben, mekanisme adsorpsi, dan konstanta kesetimbangan adsorpsi.

Termodinamika adsorpsi dapat menentukan karakteristik adsorpsi yang terjadi berdasarkan data yang didapatkan dari model isoterm, dimana salah satunya adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi (Myers, 2004). Masing-masing parameter termodinamika memiliki peran penting terhadap identifikasi karakteristik adsorpsi Fe_3O_4 termodifikasi asam dengan BSA. Nilai energi Gibbs (ΔG°) digunakan untuk mengetahui spontanitas dari proses adsorpsi, sedangkan nilai entalpi (ΔH°) sebagai parameter panas adsorpsi, dan entropi (ΔS°) untuk mengetahui struktur lapisan pada *interface* adsorben dan interaksi yang terjadi pada proses adsorpsi (Mahdavinia dan Etemadi, 2015; Sahmoune, 2018; Sharifi dkk., 2017).

1.2 Tema Sentral Masalah

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, Fe_3O_4 nanopartikel dapat dimanfaatkan sebagai adsorben untuk adsorpsi protein BSA. Namun, kinerja adsorpsi protein pada Fe_3O_4 nanopartikel masih belum optimal karena kapasitas adsorpsi yang diperoleh cenderung rendah. Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi kapasitas

adsorpsi, pada penelitian ini dibatasi pada pH terbaik adsorpsi dan studi adsorpsi BSA dengan modifikasi permukaan. Penelitian terkait modifikasi permukaan Fe_3O_4 nanopartikel menggunakan asam multivalensi belum banyak dilakukan, khususnya terkait studi adsorpsi isoterm serta termodinamika pada modifikasi Fe_3O_4 nanopartikel masih sangat minim. Modifikasi permukaan Fe_3O_4 nanopartikel dengan asam galat dan asam humat merupakan salah satu alternatif dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi BSA. Selain itu, peningkatan kapasitas adsorpsi BSA juga dipengaruhi oleh pH. Pada penelitian ini, kapasitas adsorpsi pada Fe_3O_4 nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi asam galat dan asam humat diamati pada variasi pH 3,6 – 5,6.

Studi adsorpsi protein dibatasi pada isoterm dan termodinamika adsorpsi menggunakan isoterm Langmuir, Freundlich, Temkin, dan Dubinin-Radushkevich. Isoterm adsorpsi bertujuan untuk mengetahui interaksi yang terjadi antara BSA dengan Fe_3O_4 nanopartikel. Termodinamika adsorpsi sendiri diperhitungkan untuk mengkaji proses adsorpsi BSA yang ditinjau dari nilai energi Gibbs (ΔG°), entalpi (ΔH°), dan entropi (ΔS°).

1.3 Identifikasi Masalah

Beberapa masalah yang dapat diidentifikasi pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kinerja adsorpsi protein pada permukaan Fe_3O_4 nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi menggunakan asam galat atau asam humat?
2. Bagaimana profil kapasitas adsorpsi BSA pada permukaan Fe_3O_4 nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi menggunakan asam galat atau asam humat pada berbagai pH?
3. Bagaimana profil kapasitas adsorpsi BSA pada permukaan Fe_3O_4 nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi menggunakan asam galat atau asam humat pada berbagai konsentrasi awal BSA dan suhu?
4. Model isoterm adsorpsi apakah yang paling cocok untuk proses adsorpsi protein BSA pada Fe_3O_4 nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi menggunakan asam galat atau asam humat?
5. Bagaimana sifat termodinamika energi Gibbs (ΔG°), entalpi (ΔH°), dan entropi (ΔS°) pada adsorpsi BSA dengan Fe_3O_4 nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi menggunakan asam galat atau asam humat?

1.4 Premis

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, dapat disusun beberapa premis yang menjadi dasar penelitian ini. Premis penelitian terkait adsorpsi BSA pada Fe_3O_4 nanopartikel disajikan pada **Tabel 1.1** dan premis penelitian terkait termodinamika adsorpsi BSA pada Fe_3O_4 nanopartikel disajikan pada **Tabel 1.2**.

1.5 Hipotesis

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

1. Kapasitas adsorpsi protein pada permukaan Fe_3O_4 nanopartikel yang telah dimodifikasi menggunakan asam meningkat karena permukaan Fe_3O_4 nanopartikel cenderung lebih stabil dan terdapat banyak gugus hidroksil ($-\text{OH}$) bersifat asam yang dapat berikatan dengan protein melalui ikatan hidrofobik dibandingkan tanpa modifikasi (Ur Rahman dkk., 2012).
2. Kapasitas adsorpsi maksimum didapatkan pada nilai pH terbaik yang berada di sekitar rentang pH isoelektrik BSA (sekitar 4,7) karena pada pH tersebut konfigurasi protein berbentuk globular dengan ukuran yang lebih kompak; sehingga gaya tolak-menolak (*repulsion*) antarmolekul yang teradsorpsi minimal mengakibatkan kapasitas adsorpsi BSA mencapai titik maksimumnya, terlepas pada besi nanopartikel yang termodifikasi atau pun tidak (Liang dkk., 2007; Peng dkk., 2004; Ur Rahman dkk., 2012; Wang dkk., 2015).
3. Kapasitas adsorpsi BSA pada permukaan Fe_3O_4 nanopartikel meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi awal BSA dan temperatur yang digunakan karena tingginya interaksi kuat antara BSA dengan BSA lainnya membentuk ikatan yang melapisi Fe_3O_4 nanopartikel. Temperatur yang naik, meningkatkan difusi pada permukaan adsorben dengan aktivitas protein yang menghasilkan kapasitas adsorpsi BSA yang lebih tinggi (Joshua, 2021; Kopac dkk., 2008; Rahdar dkk., 2019; Wang dkk., 2015).
4. Model isoterm adsorpsi yang cocok untuk proses adsorpsi BSA pada permukaan Fe_3O_4 nanopartikel adalah isoterm adsorpsi Langmuir karena adsorpsi BSA pada permukaan Fe_3O_4 cenderung membentuk lapisan monolayer (Peng dkk., 2004).

Tabel 1.1 Premis penelitian terkait adsorpsi BSA pada Fe₃O₄ nanopartikel

No	Adsorben	Adsorbat	Agen Modifikasi	pH	Temperatur	Dosis Adsorben (mg)	Konsentrasi Awal Adsorbat (mg/mL)	Persamaan Isoterm	Hasil	Peneliti
1	Fe ₃ O ₄	BSA	Asam sitrat	4,0	Temperatur ruang	500	0,075	n,a	Kapasitas maksimum adsorpsi BSA terjadi pada pH 4,7 dengan kapasitas sebesar 83 mg/g	Ur Rahman dkk., 2012
				4,7						
				7,4						
2	Fe ₃ O ₄	BSA	<i>Carboxymethyl Chitosan</i>	3,7	Temperatur ruang	30	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0,1 ▪ 0,3 ▪ 0,5 ▪ 1,0 ▪ 1,2 ▪ 1,5 ▪ 2,0 ▪ 3,0 	– Isoterm Langmuir – Isoterm Freundlich	– Kapasitas maksimum adsorpsi BSA terjadi pada pH 4,8 dengan kapasitas sebesar 159,51 mg/g – Kesetimbangan adsorpsi BSA cocok dengan model isoterm adsorpsi Langmuir	Wang dkk., 2015
				4,0						
				4,8						
				5,0						
				6,0						
				7,0						
				8,0						
3	Fe ₃ O ₄	BSA	<i>Carboxymethyl Chitosan</i>	3,8	Temperatur ruang	75	1,017	Isoterm Langmuir	Kapasitas maksimum adsorpsi BSA terjadi pada pH 4,6 dengan kapasitas sebesar 94,45 mg/g	Liang dkk., 2007
				4,6						
				5,6						
				7,4						
				8,9						

Tabel 1.1 Premis penelitian terkait adsorpsi BSA pada Fe₃O₄ nanopartikel (*lanjutan*)

No	Adsorben	Adsorbat	Agen Modifikasi	pH	Temperatur	Dosis Adsorben (mg)	Konsentrasi Awal Adsorbat (mg/mL)	Persamaan Isoterm	Hasil	Peneliti
4	Fe ₃ O ₄	BSA	n,a	3,36	Temperatur ruang	110	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0,413 ▪ 1,202 	Isoterm Langmuir	Kapasitas maksimum adsorpsi BSA terjadi pada pH 4,64 dengan kapasitas sebesar 418,9 mg/g	Peng dkk., 2004
				4,64						
				5,19						
				6,15						
				7,25						
				8,11						
9,07										
5	TiO ₂	BSA	n,a	2,0	Temperatur ruang	2,5	1	n,a	Kapasitas maksimum adsorpsi BSA terjadi pada pH 4,5	Xu dan Grassian, 2017
				4,5						
				7,4						
6	MnFe ₂ O ₄	BSA	Silika	1,0	Temperatur ruang	3,5	0,3	Isoterm Langmuir	Kapasitas maksimum adsorpsi BSA terjadi pada pH 5,1 yang mendekati titik isoelektrik BSA dengan kapasitas sebesar 100 mg/g	Liang dan Wang, 2010
				2,0						
				3,0						
				4,0						
				5,0						
				6,0						
7,0										

Tabel 1.1 Premis penelitian terkait adsorpsi BSA pada Fe₃O₄ nanopartikel (*lanjutan*)

No	Adsorben	Adsorbat	Agen Modifikasi	pH	Temperatur	Dosis Adsorben (mg)	Konsentrasi Awal Adsorbat (mg/mL)	Persamaan Isoterm	Hasil	Peneliti
7	TiO ₂	BSA	n,a	4,0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 20°C ▪ 30°C ▪ 40°C 	8–14	0,54	-Isoterm Langmuir -Isoterm Freundlich	-Kapasitas maksimum adsorpsi BSA terjadi pada pH 4 dengan kapasitas sebesar 42,6 mg/g -Keseimbangan adsorpsi BSA cocok dengan model isoterm adsorpsi Langmuir	Kopac dkk., 2008
				5,0						
				10,0						
8	SiO ₂ TiO ₂ ZrO ₂ Al ₂ O ₃	BSA	n,a	3,2	40°C	300	5	Isoterm Langmuir	Kapasitas maksimum adsorpsi BSA terjadi pada pH 5 yang mendekati titik isoelektrik BSA	Fukuzaki dkk., 1996
				4,0						
				5,0						
				6,0						
				7,0						
				8,0						
9,0										

keterangan: n,a = data tidak tersedia

Tabel 1.2 Premis penelitian terkait termodinamika adsorpsi BSA pada Fe₃O₄ nanopartikel

No	Adsorben	Adsorbat	Persamaan Isoterm	Termodinamika Adsorpsi				Hasil	Peneliti
				T (K)	ΔH° (kJ/mol)	ΔG° (kJ/mol)	ΔS° (J/molK)		
1	Fe ₃ O ₄	BSA	- Isoterm Langmuir I, II, III, IV - Isoterm Freundlich	298	18,73	-8,90	92,80	- Proses adsorpsi BSA pada permukaan terjadi secara spontan (ΔG° negatif), endotermis (ΔH° positif) - Model isoterm adsorpsi terbaik menggunakan Isoterm Langmuir tipe II	Rahdar dkk., 2019
				308		-9,89			
				318		-10,75			
2	Fe ₃ O ₄ termodifikasi (magnetic κ -carrageenan / carboxy methyl chitosan)	BSA	- Isoterm Langmuir - Isoterm Freundlich	278	-18,96	-2,305	-52,53	- Proses adsorpsi BSA pada permukaan terjadi secara spontan (ΔG° negatif), eksotermis (ΔH° negatif), dan adanya penurunan keacakan pada interface (ΔS° negatif) - Model isoterm adsorpsi terbaik adalah Isoterm Langmuir	Mahdavinia dan Etemadi, 2015
				288		-2,896			
				298		-3,451			
				308		-3,343			
3	Fe ₃ O ₄ @Ag@SiO ₂ -PNIPA (Poly(N-isopropyl acrylamide))	BSA	- Isoterm Langmuir - Isoterm Freundlich	303	31,37	-0,412	105	- Proses adsorpsi BSA pada permukaan terjadi secara spontan (ΔG° negatif), endotermis (ΔH° positif), dan adanya interaksi yang tinggi antara BSA dengan adsorben (ΔS° positif) - Model isoterm adsorpsi terbaik adalah isoterm Langmuir	Shah dan Alveroglu, 2021
				313		-1,388			
				323		-3,204			
				333		-3,518			
				343		-3,696			
				353		-6,163			
4	Fe ₃ O ₄	BSA	n,a	293,15	17,041	-3,669	70,164	- Proses adsorpsi BSA oleh adsorben terjadi secara spontan (ΔG° negatif), endotermis (ΔH° positif)	Keshavarz dan Ghasemi, 2011
				303,15		-3,853	68,919		
				313,15		-4,094	67,488		

keterangan: n,a = data tidak tersedia

5. Proses adsorpsi terjadi secara spontan dengan nilai energi Gibbs (ΔG°) yang negatif dan entropi (ΔS°) yang positif, serta endotermis yang ditunjukkan nilai perubahan entalpi (ΔH°) yang bernilai positif (Mahdavinia dan Etemadi, 2015; Sahmoune, 2018).

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kinerja adsorpsi protein pada permukaan Fe_3O_4 nanopartikel nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi menggunakan asam galat atau asam humat.
2. Mengetahui profil kapasitas adsorpsi BSA pada permukaan Fe_3O_4 nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi menggunakan asam galat atau asam humat pada berbagai pH.
3. Mengetahui profil kapasitas adsorpsi BSA pada permukaan Fe_3O_4 nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi menggunakan asam galat atau asam humat pada berbagai konsentrasi awal BSA dan suhu.
4. Mengetahui model isoterm adsorpsi untuk adsorpsi protein BSA pada Fe_3O_4 nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi menggunakan asam galat atau asam humat.
5. Mengetahui sifat termodinamika sistem adsorpsi BSA pada Fe_3O_4 nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi menggunakan asam galat atau asam humat.

1.7. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain:

1. **Bagi mahasiswa;** mengetahui kinerja adsorpsi protein pada permukaan Fe_3O_4 nanopartikel dengan dan tanpa modifikasi menggunakan asam. Mahasiswa mengetahui jenis asam dan pH terbaik yang digunakan agar menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum. Mahasiswa juga mengetahui memahami mekanisme proses adsorpsi menggunakan isoterm adsorpsi serta dapat menentukan besaran termodinamika selama proses adsorpsi.
2. **Bagi dunia kesehatan,** dapat digunakan untuk imobilisasi enzim dan protein, *magnetic resonance imaging* (MRI), *drug delivery system*, dan purifikasi DNA/RNA yang dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai suatu strategi untuk penanganan berbagai penyakit.