



**KAJIAN PUSTAKA: APLIKASI NANOPARTIKEL KITOSAN
SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd)**

SKRIPSI

Oleh:

WIDIYA HENDRIYANI

NIM. 175080301111009



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL PERIKANAN
JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG

2021

**KAJIAN PUSTAKA: APLIKASI NANOPARTIKEL KITOSAN
SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd)**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana Perikanan
di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya**

Oleh:

**WIDIYA HENDIRYANI
NIM. 17580301111009**



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL PERIKANAN
JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2021



SKRIPSI

**KAJIAN PUSTAKA: APLIKASI NANOPARTIKEL KITOSAN SEBAGAI
ADSORBEN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd)**

Oleh:

**WIDIYA HENDRIYANI
NIM. 175080301111009**

Telah dipertahankan didepan penguji
pada tanggal 13 Juli 2021
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Mengetahui, Ketua Jurusan
Manajemen Sumberdaya Perairan



Dr. Ir. Muhamad Firdaus, MP
NIP. 19680919 200501 1 001

Tanggal: 7/22/2021

Mengetahui,
Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Dwi Setijawati, M.Kes
NIP. 19611022 1998802 2 001

Tanggal: 7/22/2021

**PERNYATAAN ORISINALITAS**

Dengan ini saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Widiya Hendriyani

NIM : 175080301111009

Judul Skripsi : Kajian Pustaka: Aplikasi Nanopartikel Kitosan Sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium (Cd)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini berdasarkan hasil pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah, tabel, gambar maupun ilustrasi lainnya yang tercantum sebagai bagian dari skripsi. Jika terdapat karya/pendapat/penelitian dari orang lain, maka saya telah mencantumkan sumber yang jelas dalam daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Brawijaya, Malang. Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa adanya paksaan dari pihak manapun.

Malang, 13 Juli 2021

Widiya Hendriyani
NIM. 175080301111009



IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul : Kajian Pustaka Aplikasi Nanopartikel Kitosan Sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium (Cd)

Nama Mahasiswa : Widiya Hendriyani

NIM : 175080301111009

Program Studi : Teknologi Hasil Perikanan

PENGUJI PEMBIMBING:

Pembimbing 1 : Dr.Ir. Dwi Setijawati, M.Kes.

Pembimbing 2 :

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING:

Dosen Penguji 1 : Prof.Ir. Sukoso, MSc PhD

Dosen Penguji 2 : Hefti Salis Y., Spi MP

Tanggal Ujian : 13 Juli 2021

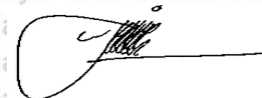


UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas karunia dan kesehatan yang telah diberikan selama ini sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Orang tua yang selalu memberikan dukungan kepada penulis baik secara moril maupun materiil.
3. Ibu Dr.Ir. Dwi Setijawati, M.Kes. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan serta nasehat kepada penulis.
4. Bapak Dr.Ir. Muhamad Firdaus, MP. Selaku Ketua Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan.
5. Ibu Rahmi Nurdiani, S.Pi, M.App.Sc, PhD selaku Ketua Program Studi Teknologi Hasil Perikanan.
6. Tim bimbingan Dr.Ir. Dwi Setijawati, M.Kes yang saling mendukung satu sama lain
7. Alyssa Budi Rahmadhanti, Pramita Aprilia Kusuma Dewi, Atindriya Ayu Pradipta, Reyza Fatima, Fajrin Adin yang telah memberikan dukungan mental kepada penulis.

Malang, 13 Juli 2021



Widiya Hendriyani
NIM. 175080301111009

RINGKASAN

WIDIYA HENDRIYANI. Kajian Pustaka: Aplikasi Nanopartikel Kitosan Sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium (Cd) (dibawah bimbingan **Dr.Ir. Dwi Setijawati, M. Kes**).

Logam berat kadmium merupakan logam berat berbahaya yang dapat menyebar luas bahkan jauh dari sumber pencemarannya. Logam berat kadmium berpotensi merusak lingkungan karena bersifat toksik, sulit terdegradasi serta dapat terserap cepat oleh organisme. Pencemaran logam berat kadmium telah banyak terjadi di Indonesia yang telah melebihi ambang batas cemarannya. Oleh karena itu, perlu dilakukannya kajian pustaka untuk mengetahui metode pengontrolan logam berat kadmium dan bahan alami yang dapat digunakan sebagai adsorben.

Kajian pustaka ini dilakukan dengan metode deskriptif. Pengerjaan kajian pustaka dilakukan dengan penentuan topik, pembuatan judul, penentuan tujuan *review*, pencarian dan pengumpulan pustaka, pemilihan pustaka, analisa pustaka dan penyusunan *review*. Adapun pustaka yang digunakan dalam membuat kajian pustaka ini berasal dari publikasi pustaka penelitian pada jurnal nasional ataupun internasional yang sebagian besar adalah terbitan setelah tahun 2011. Pustaka-pustaka tersebut didapatkan dengan mengunduh dari situs resmi seperti *Google Scholar*, *Science Direct*, *Researchgate*, *Google Books*.

Berdasarkan hasil kajian pustaka, metode pengontrolan logam berat kadmium dilakukan menggunakan metode adsorpsi dengan bahan adsorben yaitu nanopartikel kitosan. Nanopartikel kitosan disintesis dari kitosan hasil deasetilasi kitin yang memiliki potensi sebagai adsorben logam berat karena mempunyai gugus fungsi amina dan hidroksil yang berperan sebagai situs aktif untuk adsorpsi. Penggunaan nanopartikel kitosan sebagai adsorben memiliki keunggulan karena ukuran partikelnya yang kecil sehingga memperluas luas permukaan yang dapat membuat luas kontak terhadap target menjadi lebih besar sehingga kapasitas adsorpsi menjadi lebih besar dari mikro adsorben. Mekanisme adsorpsi logam berat kadmium menggunakan nanopartikel kitosan terjadi melalui proses kelasi dan kompleksasi. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti sifat fisik dan kimia adsorben, waktu kontak adsorben dengan adsorbat, konsentrasi adsorben yang digunakan serta pH larutan.

SUMMARY

WIDIYA HENDRIYANI. *Literature Review: Application of Chitosan Nanoparticles as Cadmium (Cd) Heavy Metal Adsorbents (Supervised by Dr.Ir. Dwi Setijawati, M. Kes)*

Cadmium is a dangerous heavy metal that can spread widely even far from the main source of pollution. Cadmium has the potential to damage the environment because it is toxic, nondegradable and can be adsorbed quickly by organism. Cadmium pollution has occurred in Indonesia and even exceeds the contamination. Therefore, it is necessary to conduct a review to determine the method of controlling cadmium and natural materials that can be used as heavy metal adsorbents.

This review was conducted using a descriptive method. The review is carried out by determining the topic of the review, making the title, determining the purpose of the review, searching, collecting and analyze the literature and make a review. The literature used in making this review comes from research literature publication in national or international journals, most of which are published after 2011. These libraries are obtained by downloading from official sites such as Google scholar, Science Direct, Researchgate, Google Books.

Based on the results of the review, the method of controlling cadmium heavy metal was carried out using the adsorption method with the chitosan nanoparticles as an adsorbent material. Chitosan nanoparticles were synthesized from chitosan from chitin deacetylation that has potential as a heavy metal adsorbent because it has amine and hydroxyl functional groups that act as active sites for adsorption. Chitosan nanoparticles as an adsorbent has advantages because of its small particle size so that it expands the surface area which can make the contact area of the target larger so the adsorption capacity becomes greater than the micro adsorbent. The mechanism of cadmium adsorption using chitosan nanoparticles occurs through chelation and complexation processes. The adsorption process is influenced by several factors such as the physical and chemical properties of the adsorbent, the contact time of the adsorbent with the adsorbate, the concentration of the adsorbent and the pH of solution.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala Anugerah dan KaruniaNya, sehingga penulis dapat menyajikan Skripsi Kajian pustaka dengan judul “Kajian Pustaka: Aplikasi Nanopartikel Kitosan Sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium (Cd)” sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana perikanan di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya. Dibawah bimbingan:

- **Dr.Ir. Dwi Setijawati, M. Kes.**

Skripsi ini berisi tentang gambaran umum penggunaan nanopartikel kitosan sebagai adsorben logam berat kadmium (Cd). Penulis sadar bahwa penyusunan kajian pustaka ini masih terdapat banyak kesalahan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran yang membangun agar tulisan ini menjadi lebih baik, baik dari isi maupun cara penulisan. Semoga kajian pustaka ini dapat berguna bagi semua pihak dalam upaya meningkatkan fungsi dan proses belajar mengajar di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang.

Malang, 13 Juli 2021


Widiya Hendriyani
NIM. 175080301111009

DAFTAR ISI	
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
IDENTITAS TIM PENGUJI	v
UCAPAN TERIMAKASIH	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	3
2. METODE <i>REVIEW</i>	4
2.1 Konsep Dasar Kajian pustaka.....	4
2.2 Tahapan Pembuatan Kajian pustaka.....	5
2.2.1 Penentuan Topik Kajian Pustaka.....	6
2.2.2 Pencarian Pustaka.....	7
2.2.3 Pemilihan Pustaka.....	7
2.2.4 Analisa Pustaka.....	8
2.2.5 Penyusunan Kajian Pustaka.....	8
3. HASIL <i>REVIEW</i>	9
3.1 Logam Berat Kadmium.....	9
3.1.1 Definisi.....	9
3.1.2 Cemaran Logam Berat Kadmium.....	10
3.2 Adsorpsi.....	13
3.2.1 Definisi.....	13
3.2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi.....	14
	x



3.3	Kitosan.....	15
3.3.1	Definisi Dan Sifat.....	15
3.3.2	Proses Pongolahan Kitosan.....	16
3.3.3	Karakterisasi Kitosan.....	19
3.3.4	Potensi Kitosan Sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium (Cd).....	25
3.4	Nanopartikel Kitosan.....	27
3.4.1	Definisi.....	27
3.4.2	Sintesis Nanopartikel kitosan.....	27
3.4.3	Karakterisasi Nanopartikel kitosan.....	33
3.4.4	Potensi Nanopartikel kitosan.....	39
3.5	Mekanisme Adsorpsi.....	41
3.6	Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Kadmium Oleh Nanopartikel kitosan.....	44
3.6.1	Optimasi Konsentrasi Adsorben.....	44
3.6.2	Optimasi pH.....	45
3.6.3	Optimasi Waktu Kontak.....	46
3.7	Kapasitas Adsorpsi Logam Berat Kadmium oleh Nanopartikel kitosan.....	46
4.	PENUTUP.....	50
4.1	Kesimpulan.....	50
4.2	Saran.....	50
	DAFTAR PUSTAKA.....	51
	LAMPIRAN.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Hasil pencarian pustaka	7
Tabel 2. Pencemaran logam berat kadmium	11
Tabel 3. Pencemaran logam berat kadmium pada organisme perairan	12
Tabel 4. Kasus paparan logam berat kadmium pada manusia.....	13
Tabel 5. Bahan-bahan pembuatan kitosan	16
Tabel 6. Alat-alat dalam proses pembuatan kitosan	17
Tabel 7. Karakterisasi FT-IR kitosan.....	21
Tabel 8. Potensi kitosan sebagai adsorben logam berat kadmium (Cd).....	26
Tabel 9. Variasi metode sintesis nanopartikel kitosan terhadap ukuran partikel	32
Tabel 10. Analisis ukuran nanopartikel kitosan	36
Tabel 11. Analisa gugus fungsi nanopartikel kitosan dengan penambahan TPP 0,1%	38
Tabel 12. Nanopartikel kitosan sebagai adsorben logam berat.....	39
Tabel 13. Aplikasi nanopartikel kitosan dalam pengelolaan air limbah	40
Tabel 14. Kapasitas adsorpsi logam kadmium oleh nanopartikel kitosan.....	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Kriteria <i>systematic review</i>	5
Gambar 2. <i>Flow chart</i> penyusunan kajian pustaka.....	6
Gambar 3. Proses pembuatan kitosan.....	18
Gambar 4. Struktur kitosan hasil deasetilasi kitin.....	19
Gambar 5. Spektra FT-IR kitosan.....	20
Gambar 6. Representasi skematik metode gelasi ionik.....	29
Gambar 7. Pembuatan nanopartikel kitosan dengan metode sonokimia.....	30
Gambar 8. Pembuatan kitosan dengsn metode kompleksasi polielektrolit.....	31
Gambar 9. Morfologi partikel kitosan menggunakan SEM.....	35
Gambar 10. Spektrum FT-IR nanopartikel kitosan dengan TPP 0,1%.....	37
Gambar 11. (a) Kelasi kadmium-kitosan, (b) Kompleksasi kadmium-kitosan.....	44



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Hasil pemilihan pustaka sebagai sumber kajian pustaka.....	63
Lampiran 2. Kerangka Review/Outline.....	64
Lampiran 3. Proses pembuatan kitosan.....	65
Lampiran 4. Sintesis nanopartikel kitosan menggunakan metode gelasi ionik	67



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri yang pesat di Indonesia menyebabkan beberapa dampak negatif seperti pencemaran bagi lingkungan baik udara, tanah maupun perairan. Salah satu masalah pencemaran perairan yang utama adalah pencemaran logam berat, sifatnya yang fleksibel memudahkan logam berat masuk dalam rantai makanan suatu ekosistem perairan (Pandiyan *et al.*, 2021). Pencemaran logam berat juga berpotensi menjadi toksik yang dapat menyebar luas dari sumber pencemaran sehingga bisa merusak biota perairan, hal ini disebabkan proses bioakumulasi, biomagnifikasi dan persistensi yang lama dalam perairan (Kumar *et al.*, 2019). Beberapa logam berat berbahaya yang tidak dibutuhkan tubuh dan sering ditemukan di lingkungan industrial yaitu timbal (Pb), arsen (As), merkuri (Hg) dan kadmium (Cd) (Lin *et al.*, 2021).

Dari beberapa logam berat tersebut, kadmium menjadi fokus pada kajian pustaka ini. Kadmium merupakan salah satu polutan yang paling merusak pada perairan karena beracun, tidak dapat terdegradasi, dapat terserap cepat oleh organisme (Alaswad *et al.*, 2020), tahan panas dan korosi, serta mudah bereaksi. Pencemaran logam berat kadmium banyak terjadi di Indonesia, baik di wilayah perairan maupun yang sudah terakumulasi pada pangan. Selain itu, Kadmium membutuhkan waktu sekitar 20 sampai 30 tahun untuk keluar dari dalam tubuh manusia serta dapat menimbulkan gejala yang beragam seperti hipertensi dan kanker (Istarani & Ellina, 2014). Selain itu, kadmium lebih mudah terakumulasi pada tanaman dibandingkan dengan logam berat lain.

Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan proses adsorpsi untuk mengurangi kadar kadmium. Adsorpsi merupakan proses menempelnya suatu ion atau molekul pada suatu permukaan adsorben. Metode adsorpsi memiliki beberapa kelebihan yaitu murah, efektif, rendah energi, tidak ada polusi sekunder, tidak membutuhkan banyak peralatan dan memiliki fleksibilitas yang tinggi (Deng *et al.*, 2018). Selain itu, metode adsorpsi terbukti sangat berpotensi untuk penghilangan logam berat atau kontaminan organik lainnya bahkan pada konsentrasi yang rendah (Yang *et al.*, 2020). Bahan alami yang memiliki potensi sebagai adsorben yaitu kitosan, yang memiliki kapasitas adsorpsi lebih besar dari 1 mmol/g yaitu 4,9 mmol/g untuk kitosan dalam ukuran nano (Alyasi *et al.*, 2020).

Kitosan merupakan polisakarida linier yang dibuat dengan deasetilasi alkali dari kitin (Azeredo *et al.*, 2011). Kitosan banyak digunakan pada beberapa aplikasi biologi dan biomedis seperti pengelolaan air, penghantar obat dan penyangga untuk rekayasa genetika. Kitosan berpotensi sebagai adsorben karena mempunyai gugus fungsi amina dan hidroksil yang berperan sebagai situs aktif untuk adsorpsi. Kitosan bersifat polielektrolit kation yang dapat mengikat logam berat, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai adsorben. Akan tetapi, kitosan tidak stabil dalam asam, tingkat kelarutan rendah (pH dibawah 4), serta mempunyai kristalinitas yang tinggi. Sehingga kurang maksimal jika digunakan sebagai adsorben secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi kitosan agar sesuai untuk adsorpsi (Upadhyay *et al.*, 2021). Menurut Grenha (2012), kitosan menjadi lebih efektif jika diformulasikan dalam bentuk nanopartikel.

Nanopartikel merupakan partikel yang berukuran setidaknya lebih kecil dari 1000 nm, sekecil atom dengan skala panjang molekulnya 0,2 nm (Buzea *et al.*, 2007).

Ukuran yang kecil membuat nanopartikel memiliki luas permukaan yang besar,

sehingga luas kontak terhadap target juga lebih besar (Ribeiro *et al.*, 2020).

Nanopartikel kitosan merupakan nanopartikel dari kitosan yang dimodifikasi ukurannya menjadi nano serta memiliki bentuk partikel bulat dan berdiameter kurang dari 100 nm (Ngo *et al.*, 2020). Nanopartikel kitosan berpotensi untuk perawatan air karena memiliki luas permukaan yang besar, tidak memiliki batasan difusi (Olivera *et al.*, 2016), serta memiliki reaktivitas dan aktifitas adsorpsi permukaan yang tinggi sehingga secara signifikan memiliki keunggulan untuk adsorpsi logam berat (Liu *et al.*, 2018). Oleh karena itu, pada kajian pustaka ini akan disajikan penjelasan dan gambaran tentang proses pembuatan nanopartikel kitosan serta potensi nanopartikel kitosan sebagai adsorben logam berat kadmium (Cd).

1.2 Tujuan

Tujuan dari kajian pustaka ini adalah untuk melakukan kajian terhadap beberapa pustaka dari penelitian terdahulu yang berkaitan dengan:

1. Aplikasi nanopartikel kitosan sebagai adsorben logam berat kadmium (Cd)
2. Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas dan efektifitas adsorpsi logam berat kadmium (Cd) menggunakan nanopartikel kitosan

2. METODE REVIEW

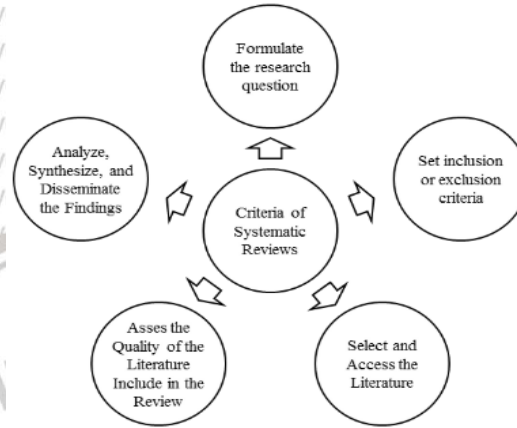
2.1 Konsep Dasar Kajian pustaka

Kajian pustaka merupakan suatu kajian ilmiah yang harus menggunakan metode sains dalam penyusunannya. Untuk membuat sebuah kajian pustaka, seorang penulis harus mendapatkan sumber untuk diidentifikasi. Kajian pustaka melibatkan pencarian internet terkait sumber yang akan diidentifikasi. Penulis setidaknya menyediakan daftar istilah pencarian sumber yang digunakan dalam kajian pustakanya. Ringkasan dari kriteria pustaka yang dapat dikutip dan pengecualian pustaka yang tidak dikutip harus disediakan. Hal ini dapat menjadi pembaruan berkala suatu pustaka dengan mempertimbangkan ulang data yang sudah ada sebelumnya dan menambah materi baru pada kajian pustaka (Sanders, 2020).

Dalam penyusunan kajian pustaka, penulis harus melihat dan mengevaluasi pustaka yang relevan untuk mendapatkan informasi dari berbagai sumber. Penulis harus berpikir kritis dalam mengevaluasi, melakukan parafrase serta terampil dalam mengutip suatu pustaka (Pautasso, 2013).

Metode penyusunan kajian pustaka terdiri dari *systematic* dan *traditional review*. Pada metode *traditional review* menurut Hariyati (2010), biasanya tidak dilakukan proses pencarian secara sistematis, tidak dilakukan pengklasifikasian dengan kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya dan tidak banyak dilakukan evaluasi sistematis pada kualitas pustaka. Sedangkan metode *systematic review* memiliki tujuan untuk memberikan daftar pustaka yang relevan dengan subyek secara lengkap, mengevaluasi, mengidentifikasi dan mensintesis pustaka menggunakan

kriteria tertentu (Ramdhani *et al.*, 2014). Adapun kriteria *systematic review* dapat dilihat pada Gambar 1.



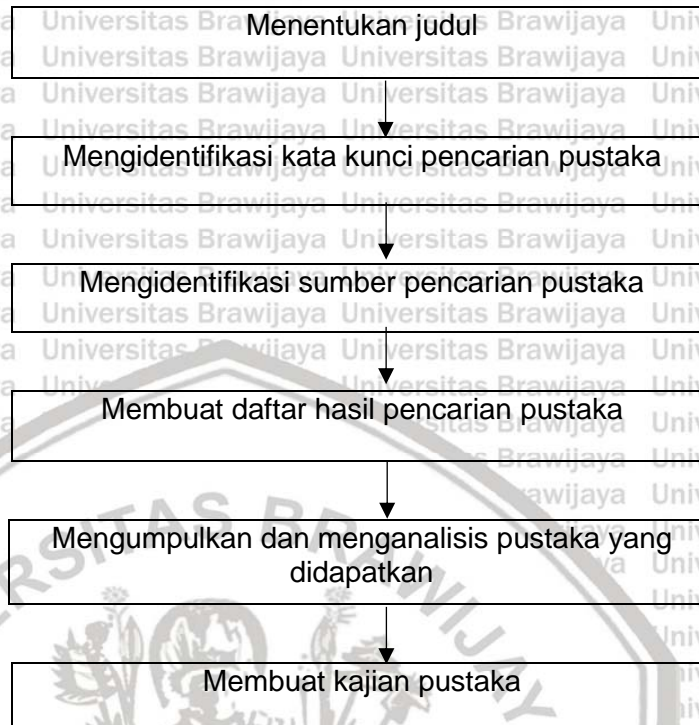
Sumber: (Ramdhani *et al.*, 2014)

Gambar 1. Kriteria *systematic review*

Pada kajian pustaka ini peneliti menggunakan metode *systematic review* dengan harapan dapat menyusun kajian pustaka ini secara sistematis dengan mengikuti tahapan agar terhindar dari bias serta pemahaman yang subjektif oleh peneliti.

2.2 Tahapan Pembuatan Kajian pustaka

Dalam penyusunan kajian pustaka, diperlukan beberapa tahap yang dapat dijadikan landasan dalam pengerjaannya. Tahapan untuk membuat kajian pustaka meliputi penentuan judul dimana penulis dapat menentukan judul sesuai dengan subjek yang diminati. Setelah itu, dilakukan identifikasi kata kunci dan sumber pencarian pustaka. Kemudian, membuat daftar hasil pencarian pustaka lalu mengumpulkan dan menganalisis pustaka yang telah didapatkan (Winchester & Salji, 2016). Adapun tahap-tahap dalam penyusunan kajian pustaka dapat dilihat pada Gambar 2.



Sumber: Winchester & Salji, (2016)

Gambar 2. Flow chart penyusunan kajian pustaka

2.2.1 Penentuan Topik Kajian Pustaka

Topik yang digunakan oleh penulis dalam kajian pustaka ini yaitu aplikasi nanopartikel kitosan sebagai adsorben logam berat kadmium (Cd). Topik tersebut dipilih karena masih terbatasnya penelitian yang membahas tentang aplikasi nanopartikel kitosan sebagai adsorben logam berat kadmium (Cd). Nanopartikel kitosan memiliki potensi sebagai adsorben logam berat yang lebih baik karena ukurannya yang nano. Atas dasar pertimbangan tersebut penulis menentukan topik aplikasi nanopartikel kitosan sebagai adsorben logam berat kadmium (Cd) sebagai kajian utama dalam kajian pustaka ini.

2.2.2 Pencarian Pustaka

Metode pencarian pustaka yang digunakan dalam kajian pustaka ini adalah dengan melakukan pencarian melalui situs penyedia informasi ilmiah seperti *Google Books, Google Scholar, Researchgate, Science Direct, MDPI dan SAGE journal* yang dilakukan dengan mencantumkan kata kunci yang relevan dengan topik yang telah ditentukan yaitu logam berat kadmium (Cd), *chitosan, chitosan nanoparticle*, adsorpsi.

2.2.3 Pemilihan Pustaka

Pemilihan pustaka dalam kajian pustaka ini dilakukan setelah melakukan pencarian pustaka yang relevan dengan judul kajian pustaka. Dalam pemilihan pustaka penulis memastikan dan memilih pustaka terpercaya yang dapat digunakan sebagai sumber kajian pustaka. Adapun hasil pencarian pustaka yang relevan dengan judul kajian pustaka ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pencarian pustaka

No.	Kata Kunci Pencarian	Jumlah Pustaka
1.	Logam berat kadmium (Cd)	20
2.	<i>Chitosan</i>	40
2.	<i>Chitosan nanoparticles</i>	30
3.	Adsorpsi	15
Total		105

Berdasarkan hasil pencarian pustaka pada Tabel 1 terdapat total pencarian pustaka sebanyak 105 pustaka. Adapun hasil pemilihan pustaka sebagai sumber kajian pustaka ini dapat dilihat pada Lampiran 1.

2.2.4 Analisa Pustaka

Analisa pustaka pada kajian pustaka ini menggunakan metode analisis deskriptif. Analisa deskriptif merupakan suatu bentuk analisa data yang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui secara umum hasil dari penelitian yang didasarkan pada sampel dengan cara mendeskripsikan data yang telah dikumpulkan (Nasution, 2017).

2.2.5 Penyusunan Kajian Pustaka

Pada kajian pustaka ini, penyusunannya dilakukan dengan cara mengumpulkan hasil analisis dari semua sumber pustaka ke dalam suatu narasi yang meyakinkan, terstruktur serta menyeluruh. Penulisan kajian pustaka dimulai dengan pendahuluan singkat, kemudian diikuti bagian isi dimana dilakukan pemisahan menjadi sub judul dan diakhiri dengan membuat ringkasan untuk menyatukan pustaka yang telah diulas. Kajian pustaka tidak hanya menampilkan fakta dari pustaka yang sudah dipublikasikan. Kajian suatu pustaka harus menjadi penilaian terhadap subjek yang diteliti dengan perspektif peneliti (Winchester & Salji, 2016).

3. HASIL

3.1 Logam Berat Kadmium

3.1.1 Definisi

Logam berat kadmium merupakan logam berwarna putih keperakan, sedikit kebiruan, tahan panas dan korosi, lunak mudah dibentuk (Istarani dan Ellina, 2014) sulit terdegradasi dalam perairan, mudah terserap oleh tumbuhan serta makanan hewani. Logam berat kadmium biasa ditemukan pada limbah industri pembuatan baterai, penambangan, penyulingan minyak bumi (Alaswad *et al.*, 2020), serta pada hasil pembakaran bahan bakar fosil dan penggunaan pupuk fosfat yang melebihi dosis (Suhani *et al.*, 2021). Kadmium merupakan salah satu pencemar bersifat *nondegradable* yang tersebar luas di lingkungan baik di perairan, udara maupun daratan. Logam berat kadmium termasuk dalam logam berbahaya yang memiliki toksisitas 2 sampai 20 kali lebih tinggi dari logam berat lainnya (Nahvi *et al.*, 2017).

Unsur kadmium termasuk ke dalam logam transisi yang memiliki berat atom 112,4, nomor atom 40, titik didih 767°C, titik leleh 321°C, masa jenis 8,65 g/cm³ (Istarani dan Ellina, 2014), serta 8 isotop alami yang stabil serta dapat terakumulasi dalam jaringan (Amari *et al.*, 2017). Logam kadmium termasuk elemen mikro yang merupakan logam berat *nonessential* (Kumar *et al.*, 2021). Logam berat kadmium lebih mudah terakumulasi pada tanaman dibandingkan dengan logam lain. Logam kadmium termasuk dalam daftar zat beracun urutan ke 7 berdasarkan A.T.S.D.R (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*) (ATSDR, 2002).

3.1.2 Cemar Logam Berat Kadmium

Rata-rata batas maksimum kadmium di udara yaitu $0,2 \text{ g/m}^3$ (Alaswad *et al.*, 2020). Konsumsi logam kadmium pada manusia yang diperbolehkan yaitu sebesar 25 g/kg berat badan per bulan. Pada air minum sebesar $3 \text{ }\mu\text{g/l}$ dan untuk air sebesar 5 mg/m^3 (WHO, 2010). Sedangkan pada bahan pangan sebesar $0,10 \text{ mg/kg}$ (BSN, 2009). Pencemaran logam berat kadmium telah banyak terjadi di berbagai perairan Indonesia yang dapat disebabkan oleh limbah industri seperti pembuatan baterai, penambangan serta penyulingan minyak bumi (Alaswad *et al.*, 2020). Hal ini dapat menyebabkan adanya proses bioakumulasi dan biomagnifikasi pada ekosistem perairan hingga sampai pada konsumsi manusia.

Adanya logam berat kadmium di perairan dapat menyebabkan terjadinya sedimentasi kadmium didasar perairan yang dapat menjadi sumber paparan logam kadmium oleh organisme perairan seperti ikan, udang dan kerang. Logam berat kadmium dapat teradsorpsi dan terakumulasi oleh organisme perairan yang menyebabkan bioakumulasi, biotransformasi dan biomagnifikasi. Kadmium dapat bergerak dengan mudah melalui lapisan tanah yang kemudian teradsorpsi oleh organisme air dan terjadi proses bioakumulasi (terjadi peningkatan kadar logam berat dalam tubuh organisme karena konsumsi secara terus menerus). Kemudian, terjadi perpindahan kadmium pada organisme lain (tingkat yang lebih tinggi) yang dapat dikonsumsi oleh manusia. Adapun pencemaran logam berat kadmium yang telah melebihi batas maksimum cemarannya di wilayah perairan Indonesia berdasarkan beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pencemaran logam berat kadmium

No.	Lokasi	Kadar	Ambang Batas	Pustaka
1.	Muara Sungai Way Kual Bandar Lampung	7,410 \pm 0,006 ppm	National Sediment Quality Survey USEPA (ambang batas: 0,65-2,49 ppm)	(Pratiwi <i>et al.</i> , 2016)
2.	Air Sungai Wakak Kendal	0,085 mg/L	PP Nomor 82 Tahun 2001 (ambang batas: 0,01 mg/L)	(Marwah <i>et al.</i> , 2015)
3.	Sedimen Pantai Muara Dasun, Rembang	0,21-0,29 mg/kg	SNI 7387:2009 (ambang batas: 0,10 mg/kg)	(Harmesa & Cordova, 2021)
4.	Sedimen Laut Sungai Tallo Kota Makassar	1,65 mg/kg	SNI 7387:2009 (ambang batas: 0,10 mg/kg)	(Akbar <i>et al.</i> , 2014)
5.	Kolom air Muara Sungai Banyuasin	0,057 mg/L	Kelas III PP RI No. 82 (2001) (ambang batas: 0,01 mg/L)	(Barus, 2017)
6.	Sedimen Waduk Saguling, Jawa Barat	21,08 mg/kg	SNI 7387:2009 (ambang batas: 0,10 mg/kg)	(Wardhani <i>et al.</i> , 2017)
7.	Muara Sungai Wiso Jepara	32,67 mg/kg	National Sediment Quality Survey USEPA (ambang batas: 0,65-2,49 ppm)	(Partogi <i>et al.</i> 2014)
8.	Sedimen daerah aliran Sungai Citarum	0,6 mg/kg	National Sediment Quality Survey USEPA (ambang batas: 0,65-2,49 ppm)	(Komari <i>et al.</i> , 2012)

Berdasarkan Tabel 2, pencemaran logam berat kadmium telah terjadi di banyak wilayah Indonesia. Adanya cemaran logam berat kadmium yang melimpah diperairan ini dapat menyebabkan terganggunya ekosistem perairan, bahkan dapat berdampak bagi manusia melalui konsumsi hasil perairan seperti ikan. Ketika masuk kedalam tubuh manusia dalam jumlah yang besar, logam berat kadmium dapat terakumulasi secara biologis dalam sistem tubuh, serta dapat menyebabkan berbagai

gangguan kesehatan seperti kerusakan pada tulang, gangguan ginjal, hipertensi bahkan kanker (Santos-Gallego & Jialal, 2016). Adapun beberapa cemaran logam berat kadmium pada organisme perairan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pencemaran logam berat kadmium pada organisme perairan

No.	Organisme	Kadar	Ambang Batas	Pustaka
1.	Ikan Tongkol	0,30 mg/kg		(Hananingtyas, 2017)
2.	Ikan Tapa	0.05 mg/kg		(Marini, 2011)
3.	Udang <i>Prawn</i> (<i>Panaeus merquiensis</i>)	8,01 mg/kg		(Rahman, 2006)
4.	Kerang Hijau	0,129 mg/kg		(Eshmat <i>et al.</i> , 2014)
5.	Kerang Kapak Kapak	0,011 mg/kg	SNI 7387:2009 (ambang batas: 0,10 mg/kg)	(Simbolon, 2019) (Riani <i>et al.</i> , 2017)
6.	Ikan Baung	0,171 ppm		(Komari <i>et al.</i> , 2012)
7.	Kerang Sumping (<i>Amusium pleuronectes</i>)	5,92- 8,01 mg/kg		(Azhar <i>et al.</i> , 2012)
8.	Mangrove <i>Avicennia sp.</i>	44.355 ppb	KEPMEN LH NO. 51. Tahun 2004 (ambang batas: 0,001 mg/L)	(Kawung <i>et al.</i> , 2018)

Berdasarkan Tabel 3, pencemaran logam berat kadmium pada berbagai organisme perairan seperti ikan, udang, kerang dan mangrove telah banyak terjadi di Indonesia. Adanya kadmium pada beberapa bahan pangan ini dapat menjadi potensi untuk dikonsumsi oleh manusia, karena proses akumulasi kadmium pada manusia dapat terjadi melalui jalur oral (mengkonsumsi makanan atau minuman yang

mengandung logam berat). Dalam konsentrasi rendah, kadmium dapat keluar melalui urin dan fekes, akan tetapi dalam konsentrasi tinggi dapat mengakibatkan gangguan kesehatan pada ginjal dan hati (Ishak, 2020). Adapun beberapa kasus paparan logam berat kadmium dalam tubuh manusia dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kasus paparan logam berat kadmium pada manusia

No.	Kasus	Kadar	Ambang Batas	Pustaka
1.	Pekerja bengkel las - Darah	1,58 ± 0,07 mg/dL		(Hernayanti et al., 2019)
2.	- Darah	1,645 µg/mL	25 g/kg berat badan per bulan (WHO, 2010)	(Dewi, 2020)
3.	Masyarakat Desa Senatan	9,2 x 10 ⁻⁷ mg/kg/hari		(Dwi H P S et al., 2019)

Berdasarkan Tabel 4, kasus paparan logam kadmium pada darah pekerja bengkel las dapat menyebabkan penurunan fungsi ginjal. Kadmium dan protein metalotionin membentuk ikatan yang stabil dan dapat menjadi pemicu meningkatnya radikal bebas dalam ginjal sehingga dapat menyebabkan gangguan fungsi ginjal (Hernayanti et al., 2019). Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukannya adsorpsi logam berat kadmium untuk mengurangi atau menghilangkan kadar logam berat kadmium.

3.2 Adsorpsi

3.2.1 Definisi

Adsorpsi merupakan proses terserapnya adsorbat pada permukaan adsorben akibat adanya gaya tarik antar molekul. Prinsip dasar adsorpsi yaitu terjadinya

interaksi antara ion adsorbat dengan gugus fungsional pada permukaan adsorben (Pang *et al.*, 2011). Adsorpsi terbatas pada pembentukan difusi film tergantung adanya pergerakan dalam sistem. Jika pergerakan kecil, lapisan yang mengelilingi partikel menebal sehingga proses penyerapan lambat. Namun, kecepatan difusi film dapat ditingkatkan dengan pengadukan yang cukup (Syauqiah *et al.*, 2011).

Metode adsorpsi dinilai efektif sebagai metode pengontrolan logam berat karena biaya proses murah, efektif, rendah energi, tidak ada polusi sekunder, tidak membutuhkan banyak peralatan, ramah lingkungan, memiliki fleksibilitas yang tinggi, serta tersedia berbagai jenis adsorben yang dapat digunakan (Deng *et al.*, 2018; Mbanga *et al.*, 2021; Pang *et al.*, 2011; Sheth *et al.*, 2021). Selain itu, metode adsorpsi memiliki potensi yang kuat untuk penghilangan logam berat atau kontaminan organik lainnya bahkan pada konsentrasi yang rendah (Yang *et al.*, 2020).

3.2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi menurut Liu *et al.* (2018), diantaranya meliputi: sifat fisik dan kimia adsorben, konsentrasi penambahan adsorben, suhu, pH serta waktu kontak adsorbat dengan adsorben. Struktur kimia permukaan adsorben dan sifat muatan adsorben harus sesuai dengan sifat muatan dari adsorbat. Berdasarkan penelitian Tahoon *et al.* (2020) dilaporkan bahwa, peningkatan dosis adsorben dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dan meningkatkan situs aktif kelasi logam berat. Penurunan viskositas larutan terjadi seiring dengan peningkatan suhu yang mengakibatkan meningkatnya ion difusi dan kemampuan adsorpsi. Efisiensi adsorpsi dapat meningkat seiring dengan banyaknya waktu kontak antara adsorben dan logam berat karena dapat meningkatkan interaksi antara ion logam dan situs aktif kelasi. Menurut Syauqiah *et al.* (2011), adsorpsi

merupakan suatu reaksi eksoterm dimana penurunan suhu menyebabkan tingkat adsorpsinya meningkat. pH berperan dalam proses adsorpsi ion logam karena nilai pH dapat mempengaruhi keelektronegatifan adsorben dan adsorbat serta mempengaruhi kelarutan ion logam. pH dapat mempengaruhi kelarutan suatu zat, gugus fungsi dan konsentrasi ion permukaan adsorben (Yildirim *et al.*, 2020).

3.3 Kitosan

3.3.1 Definisi Dan Sifat

Kitosan merupakan polisakarida kationik linier dengan rumus molekul ($C_6H_{12}NO_4$) turunan dari kitin yang terdiri dari monomer D-glukosamin dan N-Asetil-D-glukosamin (Alyasi *et al.*, 2020), berbentuk padatan *amorf* berwarna putih kekuningan yang dapat disintesis dari cangkang *artropoda*, *crustacea*, *algae*, *mollusca*, *insecta* serta pada dinding sel jamur (Pal & Pal, 2019). Kitosan dapat disintesis dari bahan-bahan alami yang tidak mahal dan nontoksik. Kitosan merupakan polisakarida terbanyak kedua di alam yang merupakan polielektrolit kationik dan berpotensi sebagai adsorben logam.

Kitosan bersifat *biodegradable*, polikationik, dapat terurai secara biologis dan memiliki reaktivitas, stabilitas, selektivitas serta sifat kelasi yang baik (Sukma *et al.*, 2018). Kitosan memiliki gugus fungsi amina kationik bermuatan positif dan gugus hidroksil yang bersifat basa dan sangat reaktif, sehingga dapat mengikat molekul anion yang bermuatan negatif (Rumengan *et al.*, 2018). Gugus amina dan hidroksil ini berfungsi sebagai situs aktif adsorpsi yang mampu berikatan dengan ion logam (Susilowati *et al.*, 2018). Pengolahan kitosan secara umum dilakukan dengan cara mencampurkan kitin dengan larutan NaOH pekat (larutan basa) yang menghasilkan N-Deasetilasi (Abd El-Hack *et al.*, 2020).

3.3.2 Proses Pongolahan Kitosan

Proses pengolahan kitosan dilakukan dengan mengubah gugus asetil pada kitin menjadi gugus amina pada kitosan (Purwanti, 2014). Modifikasi kitin menjadi kitosan berpotensi sebagai adsorben karena memiliki gugus fungsi amina dan hidroksil pada permukaan kitosan yang bertindak sebagai situs aktif untuk adsorpsi. Sifat unik kitosan ini dapat meningkatkan fungsinya sebagai adsorben. Beberapa penelitian terdahulu telah menjelaskan mengenai proses pembuatan kitosan mulai dari bahan, alat serta tahapan proses pembuatan sebagai berikut.

3.3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan kitosan oleh beberapa peneliti terdahulu dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Bahan-bahan pembuatan kitosan

No.	Bahan Baku Utama	Larutan Kimia	Bahan lain	Pustaka
1.	Cangkang udang	1 N HCL, 1-50% NaOH	Air	(Purwanti, 2014)
2.	Cangkang bekicot	3,5% NaOH, 1 N HCL, 50% NaOH	Aquades	(Victor M et al., 2016)
3.	Cangkang udang	0,5 M HCL, 0,4 M NaOH, 40% NaOH, 50% NaOH, 1 M HCL	Air suling	(Sharififard et al., 2018)
4.	Cangkang Tiram	1 N HCL, 3 N NaOH, 50% NaOH, kertas saring whatman, kertas lakmus	Aquades	(Handayani et al., 2018)
5.	Sisik Ikan Kakap	3,5% NaOH, 1 N HCL, 40-60% NaOH	Aquades	(La Ifa et al., 2018)

3.3.2.2 Alat

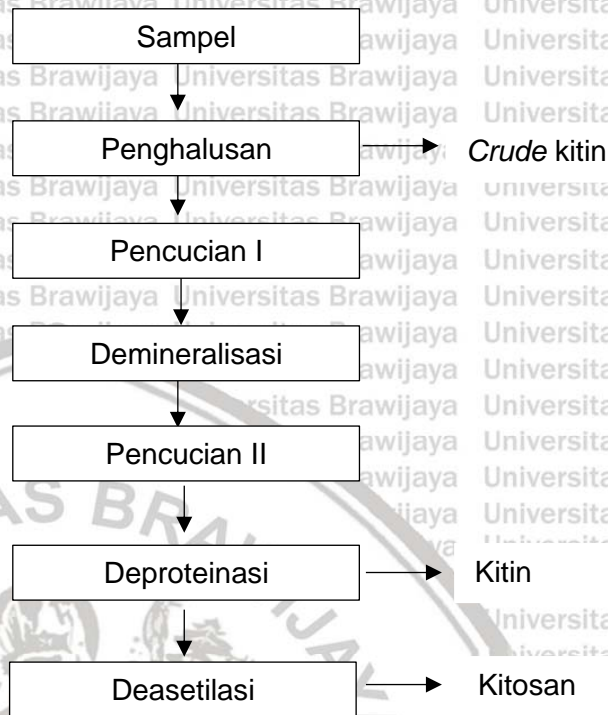
Alat-alat yang digunakan dalam proses pembuatan kitosan berdasarkan beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Alat-alat dalam proses pembuatan kitosan

No.	Tahap	Alat-alat	Fungsi	Pustaka
1.	Deasetilasi	Labu leher tiga, Oven Termometer	Tempat melarutkan kitin dengan NaOH Pengeringan sampel Mengukur suhu	(Purwanti, 2014)
2.	Deproteinasi, demineralisasi, deasetilasi	Gelas beker (250 mL, 1000 mL) Oven, <i>Magnetic stirrer</i>	Tempat campuran sampel dengan NaOH dan HCL Pengeringan sampel Pengaduk	(Victor M <i>et al.</i> , 2016)
3.	Demineralisasi	Tanduk Ultrasonik <i>Centrifuge</i>	Mensonifikasi suspensi Memisahkan bubuk sisa	Sharifard <i>et al.</i> , 2018)
4.	Deasetilasi	Pengaduk	Mengaduk sampel	(Handayani <i>et al.</i> , 2018)
5.	Demineralisasi	Labu leher tiga Pengaduk	Melarutkan sampel dalam NaOH	(La Ifa <i>et al.</i> , 2018)

3.3.2.3 Proses pembuatan

Proses pembuatan kitosan terdiri dari beberapa tahap yaitu penghalusan sampel yang menghasilkan *crude* kitin, penghilangan mineral dan protein yang menghasilkan kitin, serta penghilangan gugus asetil yang menghasilkan kitosan (Upadhyay *et al.*, 2021). Adapun proses pembuatan kitosan dapat dilihat pada Gambar 3.



Sumber: (Kumar *et al.*, 2020)

Gambar 3. Proses pembuatan kitosan

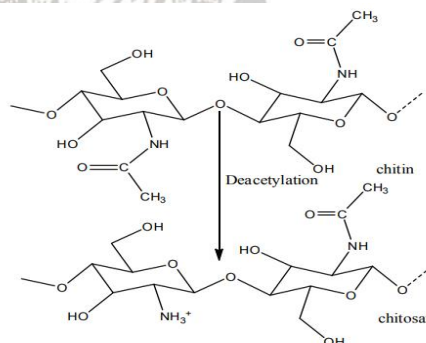
Berdasarkan Gambar 3, proses pembuatan kitosan dilakukan dengan menghaluskan sampel didapatkan crude kitin (Tobing *et al.*, 2011), melakukan pencucian lalu demineralisasi, kemudian dilakukan pencucian kembali dan deproteinasi (menghasilkan kitin). Selanjutnya kitin dideasetilasi (menghasilkan kitosan). Proses demineralisasi umumnya dilakukan dengan cara melarutkan sampel dalam larutan asam kuat HCL pada suhu 40°C yang ditujukan untuk menghilangkan mineral pada sampel. Proses deproteinasi umumnya dilakukan dengan melarutkan sampel hasil demineralisasi dengan basa kuat NaOH pada suhu 65°C yang ditujukan untuk menghilangkan kandungan protein pada sampel. Proses deasetilasi umumnya dilakukan dengan melarutkan kitin (hasil proses demineralisasi serta deproteinasi), kedalam NaOH dan dipanaskan pada suhu antara 40-121°C, yang bertujuan untuk menghilangkan gugus asetil pada kitin menjadi gugus amina pada kitosan (Kou *et al.*,

2021; La Ifa *et al.*, 2018; Purwanti, 2014; Siregar *et al.*, 2017; Victor M *et al.*, 2016).

Adapun proses pembuatan kitosan dari beberapa sampel yang berbeda berdasarkan beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Lampiran 3.

3.3.3 Karakterisasi Kitosan

Karakterisasi kitosan dilakukan untuk menganalisa gugus fungsi kitosan, nilai derajat deasetilasi, berat molekul, kelarutan serta ukuran partikel kitosan yang sesuai sebagai adsorben. Analisa gugus fungsi kitosan dilakukan dengan menggunakan FT-IR yang bertujuan untuk menganalisis kemurnian dan gugus fungsi kitosan serta derajat deasetilasi kitosan yang ditandai dengan terjadinya pergeseran panjang gelombang. Adapun struktur kitosan hasil deasetilasi dari kitin dapat dilihat pada Gambar 4.



Sumber: (Adhikari *et al.*, 2021)

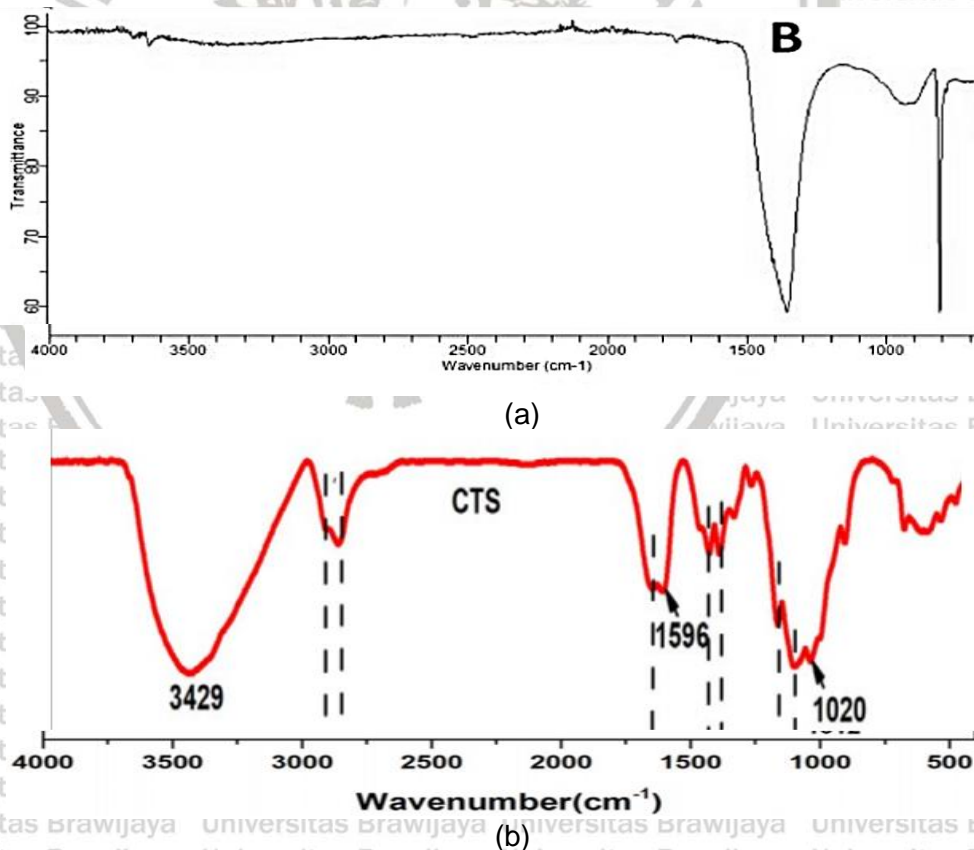
Gambar 4. Struktur kitosan hasil deasetilasi kitin

Berdasarkan Gambar 4, proses deasetilasi kitin menjadi kitosan terjadi karena adanya penghilangan gugus asetil (-COCH₃) pada kitin yang bertujuan untuk memutus ikatan kovalen antara gugus asetil (-COCH₃) dengan nitrogen pada asetamida sehingga gugus amida (-NHCOCH₃) berubah menjadi gugus amina (-NH₂)

(Handayani *et al.*, 2018). Semakin banyak jumlah gugus amina pada kitosan maka nilai derajat deasetilasi kitosan juga meningkat (Elystia *et al.*, 2021).

Spektra Serapan FT-IR kitosan

Karakterisasi gugus fungsi kitosan dilakukan menggunakan FT-IR dengan cara membuat pelet dari campuran kitosan 1 mg dengan 2,3 mg KBr (kalium bromida) (Hussain *et al.*, 2020), kemudian menganalisis puncak spektra serapan inframerahnya pada bilangan gelombang antara 400 dan 4000 cm^{-1} , untuk memprediksi gugus fungsi pada kitosan (Sandeep *et al.*, 2014; Shajahan *et al.*, 2017). Adapun spektra serapan FT-IR kitosan dapat dilihat pada Gambar 5.



Sumber: (a) (Handayani *et al.*, 2018); (b) (Chen *et al.*, 2018)

Gambar 5. Spektra FT-IR kitosan

Berdasarkan Gambar 5, spektrum hasil FT-IR dari kitosan menunjukkan adanya puncak-puncak serapan pada bilangan gelombang antara 998-3745 cm^{-1} yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Karakterisasi FT-IR kitosan

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Nilai DD (%)	Pustaka
OH dan NH	3745 – 3418		(Handayani <i>et al.</i> , 2018)
C-O dan C-H	1457-1407		
C=O	1953-1792	89,14	
C-O-C	998-965		
OH dan NH_2	3429		(Chen <i>et al.</i> , 2018)
CH_2 dan CH_3	2923 dan 2878		
C=O	1640	80	
NH_2	1596		
C-O-C	1152		

Dari hasil analisis spektra FT-IR pada Tabel 7, pada penelitian Handayani *et al.* (2018), menunjukkan terjadinya vibrasi gugus fungsi C=O pada bilangan gelombang 1953-1792 cm^{-1} yang menunjukkan masih adanya gugus asetil pada kitosan (%DD adalah 89,14%). Hal ini didukung oleh Agustina *et al.* (2015), yang melaporkan bahwa proses deasetilasi kitin yang sempurna ditandai dengan nilai derajat deasetilasinya sebesar >90%. Terdapat spektrum uluran gugus fungsi C-H dan C-O pada bilangan gelombang 1457-1407 cm^{-1} . Kitosan mengandung gugus fungsi NH dan OH yang membentuk serapan pada bilangan gelombang 3745 – 3418 cm^{-1} . Adanya serapan pada gugus fungsi NH menandakan telah terjadi proses

deasetilasi, sedangkan gugus fungsi C-O-C membentuk serapan pada bilangan gelombang 998-965 cm^{-1} yang menunjukkan adanya ikatan tunggal C-O-C dari kitosan.

Berdasarkan penelitian Chen *et al.* (2018), spektrum FT-IR kitosan menunjukkan adanya pita serapan pada bilangan gelombang 3429 cm^{-1} yang menandakan adanya peregangan gugus OH dan NH_2 . Pada bilangan gelombang 2923 dan 2878 cm^{-1} terbentuk pita serapan yang disebabkan oleh adanya vibrasi regangan gugus fungsi CH_2 dan CH_3 . Pita serapan pada bilangan gelombang 1640 cm^{-1} terjadi karena adanya vibrasi C=O, yang menandakan adanya gugus asetil. Vibrasi gugus amina (NH_2) ditunjukkan pada bilangan gelombang 1596 cm^{-1} . Vibrasi lentur ikatan CH pada gugus CH_2 dan CH_3 ditunjukkan adanya serapan pada panjang gelombang 1430 dan 1381 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang 1152 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-O-C dalam hubungan glikosidik.

Berdasarkan analisis gugus fungsi kitosan menggunakan FT-IR pada Tabel 7, dapat disimpulkan bahwa proses deasetilasi yang terjadi masih belum sempurna. Hal ini ditandai dengan munculnya pita serapan gugus C=O yang menandakan bahwa masih terdapat gugus asetil pada kitosan. Munculnya pita serapan gugus amina menandakan bahwa gugus OH (dari NaOH) telah melepaskan gugus CH_3COO^- dan menghasilkan gugus amina, sehingga %DD serta kemurnian kitosan meningkat (Cahyono, 2018).

Derajat Deasetilasi

Berdasarkan Tabel 7, nilai derajat deasetilasi kitosan yang dihasilkan sebesar 89,14% (Handayani *et al.*, 2018) dan 80% (Chen *et al.*, 2018). Nilai derajat deasetilasi tertinggi didapatkan pada penelitian Handayani *et al.* (2018), dengan penambahan

50% NaOH dan waktu pengadukan selama 1 jam pada suhu 120°C. Nilai %DD dapat dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi NaOH serta lama pengadukan. Menurut Citrowati *et al.* (2017), peningkatan suhu dan konsentrasi NaOH dapat menyebabkan peningkatan nilai derajat deasetilasi. Berdasarkan penelitian Apriani *et al.* (2012) dilaporkan bahwa, gugus OH pada NaOH akan berinteraksi dengan gugus asetamida (-NHCOCH₃) pada kitin dan menyebabkan eliminasi gugus asetil (-CH₃COO) membentuk gugus amina yang bermuatan positif (-NH₂). Semakin tinggi suhu yang digunakan, maka laju reaksi yang dihasilkan menjadi semakin besar karena jumlah antar partikel yang saling bertumbukan semakin tinggi (Mursida *et al.*, 2018). Pengadukan yang tidak sempurna pada proses deasetilasi kitin juga dapat menyebabkan tidak terjadinya reaksi yang maksimal antara NaOH dengan kitin, sehingga tidak menghasilkan banyak gugus amina pada kitosan (Dompeipen *et al.*, 2016).

Nilai derajat deasetilasi kitosan merepresentasikan adanya peningkatan sifat larut kitosan dalam air karena banyaknya gugus amina (Kou *et al.*, 2021), meningkatkan mutu dan reaktifitasnya. Berdasarkan penelitian Handayani *et al.* (2018) dilaporkan bahwa, semakin tinggi %DD maka semakin baik mutu kitosan tersebut dan semakin banyak gugus amina yang bermuatan positif pada rantai molekul kitosan yang menggantikan gugus asetil, sehingga kitosan semakin reaktif dan mampu mengikat senyawa yang bermuatan negatif. Secara umum nilai derajat deasetilasi pada kitosan lebih dari 60% (Rumengan *et al.*, 2018). Nilai derajat deasetilasi dikatakan sempurna apabila mencapai >90%.

Berat Molekul Dan Viskositas

Berat molekul kitosan merupakan parameter yang mempengaruhi bioaktivitas serta kelarutan kitosan (Kou *et al.*, 2021). Berdasarkan penelitian Sheth *et al.* (2021) dilaporkan bahwa, berat molekul yang tinggi dapat menyebabkan kekuatan mekanik dan stabilitas kimia yang lebih tinggi, ukuran partikel yang besar serta kelarutan yang lebih rendah. Berat molekul kitosan umumnya berkisar antara 100 kDa sampai 1200 kDa (Rumengan *et al.*, 2018). Bioaktivitas kitosan meningkat seiring dengan semakin rendahnya berat molekul. Penentuan berat molekul kitosan dilakukan dengan cara membuat larutan kitosan konsentrasi 20-100% dalam 0,1 M asam asetat dan 0,2 M sodium klorida lalu dimasukkan ke dalam *viscometer* (Khamidah *et al.*, 2011). Berat molekul yang tinggi menyebabkan tingkat kerapatannya lebih besar sehingga penyerapannya tidak maksimal (Kurniyati, 2019).

Berat molekul kitosan yang tinggi menyebabkan viskositasnya juga semakin besar (Nugroho *et al.*, 2011). Viskositas merupakan tingkat kekentalan yang dapat mempengaruhi kecepatan bergerak sehingga dapat mempengaruhi proses adsorpsi kitosan. Semakin kental suatu kitosan akan menyebabkan proses adsorpsinya tidak maksimal. Secara umum, kitosan komersial memiliki nilai viskositas sebesar 50 cPs (rendah) dan pada produk buatan sendiri sebesar 540,57 cPs (tinggi) (Rosema *et al.*, 2021).

Kelarutan

Kelarutan merupakan parameter yang dapat menentukan kapasitas adsorpsi kitosan. Kitosan memiliki sifat tidak larut air dan larutan basa (pH diatas 6,5) akan tetapi larut dalam asam organik seperti asam asetat dan asam sitrat (Victor M *et al.*,

2016). Kitosan bersifat mudah larut pada pH dibawah 6 (asam-asam organik) (Sandeep *et al.*, 2014), hal ini menyebabkan kitosan menjadi mudah terlarut sehingga kurang efektif jika diaplikasikan sebagai adsorben secara langsung. Berdasarkan penelitian Sheth *et al.* (2021), dilaporkan bahwa pada pH kurang dari 7 kitosan menjadi terlarut karena adanya gugus amino pada kitosan yang mudah terprotonasi.

Kapasitas penyerapan kitosan yang menurun dapat dipengaruhi oleh pH larutan yang asam. Kitosan yang stabil terhadap pH larutan menyebabkan kitosan tidak mudah larut dan pecah sehingga memaksimalkan proses adsorpsinya (Rosema *et al.*, 2021).

Ukuran

Umumnya kitosan berbentuk serbuk kepingan yang mudah pecah dan mengembang. Hal ini dapat menyebabkan kitosan tidak stabil dalam larutan air sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsinya (Supriyantini *et al.*, 2018). Ukuran partikel kitosan merupakan salah satu parameter yang berperan dalam proses adsorpsi. Semakin kecil ukuran partikel kitosan dapat menyebabkan luas permukaan meningkat sehingga luas kontak terhadap target menjadi lebih besar. Hal ini didukung oleh penelitian Victor M *et al.* (2016) yang melaporkan bahwa, kitosan berukuran 355 μ memiliki daya serap lebih tinggi dari kitosan berukuran 250 μ .

3.3.4 Potensi Kitosan Sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium (Cd)

Kitosan dapat diaplikasikan sebagai adsorben logam berat seperti kadmium (Cd), hal ini dikarenakan kitosan memiliki gugus fungsi amina ($-NH_2$) dan hidroksil ($-OH$) pada permukaan kitosan yang bertindak sebagai situs aktif untuk adsorpsi (Upadhyay *et al.*, 2021). Gugus amina pada kitosan bermuatan positif dan ion kadmium bermuatan negatif sehingga kitosan cocok sebagai adsorben kadmium.

Kapasitas adsorpsi yang besar pada kitosan disebabkan oleh sifat fisik dan kimia kitosan yang spesifik, reaktivitas dan selektivitas terhadap ion logam yang tinggi serta memiliki sifat pengkelatan yang baik (Vakili *et al.*, 2019). Hal ini didukung oleh beberapa penelitian terdahulu yang telah memanfaatkan kitosan sebagai adsorben logam berat kadmium yang dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Potensi kitosan sebagai adsorben logam berat kadmium (Cd)

No.	Polisakarida	%DD	Berat Molekul	Modifikasi	Kapasitas adsorpsi	Pustaka
1.	Kitosan	-	150 kDa	Surfaktan	125 mg/g	(Pal & Pal, 2019)
2.	Kitosan	80%	-	Vermiculit	58,48 mg/g	(Chen <i>et al.</i> , 2018)
3.	Kitosan	-	-	Murni	2,27 mg/g	(Boamah <i>et al.</i> , 2015)
4.	Kitosan berbasis hidrogel	85%	-	Murni	234,83 mg/g	(Vilela <i>et al.</i> , 2019)

Berdasarkan Tabel 8, kitosan memiliki kapasitas adsorpsi logam berat kadmium yang cukup tinggi dan bervariasi. Disamping itu, kitosan memiliki sifat tidak larut air dan larutan basa (pH diatas 6,5) akan tetapi larut dalam asam organik seperti asam asetat dan asam sitrat (Victor M *et al.*, 2016). Kitosan bersifat mudah larut pada pH dibawah 6 (asam-asam organik) (Sandeep *et al.*, 2014), hal ini menyebabkan kitosan menjadi mudah terlarut sehingga kurang maksimal jika diaplikasikan sebagai adsorben secara langsung. Pada pH kurang dari 7, kitosan menjadi terlarut karena adanya gugus amina pada kitosan yang mudah terprotonasi (Sheth *et al.*, 2021). Kitosan murni mempunyai keterbatasan yang menyebabkan dilakukannya modifikasi struktur dan kimia untuk kinerja yang lebih baik (Pal & Pal, 2019). Berdasarkan

permasalahan tersebut, dibutuhkan adanya penambahan *cross-linker* yang berfungsi sebagai agen pengikat silang untuk meningkatkan stabilitas kitosan pada pH rendah.

Kitosan dapat dimodifikasi berdasarkan ukuran partikelnya seperti bentuk nanopartikel tergantung pada pengaplikasiannya (Pal & Pal, 2019).

3.4 Nanopartikel kitosan

3.4.1 Definisi

Nanopartikel kitosan merupakan kitosan yang dimodifikasi ukurannya menjadi nanometer berkisar antara 10-1000 nm, yang memiliki banyak keunggulan karena ukuran partikelnya yang kecil sehingga memperluas luas permukaan yang dapat membuat luas kontak terhadap target menjadi lebih besar (Lembang & Lestari, 2020).

Nanopartikel kitosan memiliki karakteristik yaitu nontoksisitas, biokompatibilitas, biodegradabilitas, memiliki sifat adsorpsi dan memiliki gugus hidroksil (OH) dan amina (NH₂) pada permukaannya (Liu *et al.*, 2018), yang membuat nanopartikel kitosan berpotensi sebagai penyerap berbagai polutan pada air yang tercemar limbah seperti pestisida, pewarna dan logam berat (Yanat & Schroën, 2021).

3.4.2 Sintesis Nanopartikel kitosan

Sintesis nanopartikel kitosan berkaitan dengan interaksi elektrostatis antara agen *cross-linker* dengan gugus amina pada kitosan (Rashki *et al.*, 2021). Sintesis nanopartikel kitosan dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti gelasi ionik, sonokimia dan kompleksasi polielektrolit.

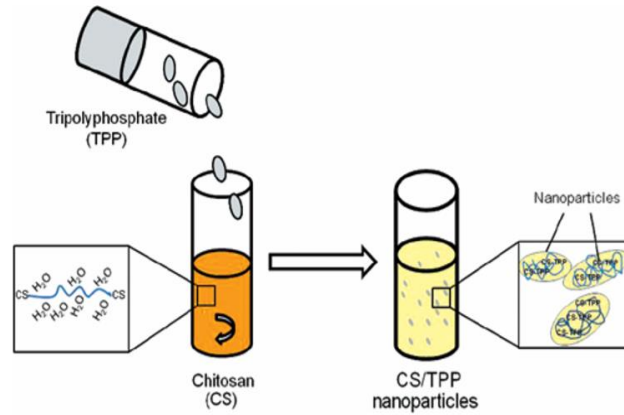
3.4.2.1 Gelasi Ionik

Gelasi ionik merupakan istilah ketika gelasi kitosan diinduksi oleh molekul anionik yang kecil seperti sulfat, fosfat dan sitrat (Grenha, 2012). Pembuatan

nanopartikel kitosan menggunakan metode gelasi ionik mengacu pada interaksi elektrostatik antara tripolifosfat (bermuatan negatif) dengan gugus amina kitosan yang bermuatan positif, dimana interaksi ini menghasilkan sintesis nanopartikel kitosan (Dash *et al.*, 2019). Nanopartikel kitosan disintesis dari kitosan yang dilarutkan dalam larutan asam untuk menghasilkan kation kitosan (Irianto & Ijah, 2011), kemudian dilakukan penambahan TPP (tripolifosfat) yang berfungsi sebagai agen *cross-linker* melalui ikatan intramolekul dan intermolekul dengan reaksi ionik yang dapat memperkuat matriks nanopartikel kitosan, memperkecil ukuran, memperluas luas permukaan partikel sehingga memperbesar kapasitas adsorpsinya (Handayani *et al.*, 2018). Penambahan asam asetat pada kitosan berfungsi untuk pembentukan gel. Adanya ikatan silang yang tinggi antara TPP dengan kitosan menyebabkan nanopartikel kitosan menjadi keras, kuat dan tidak mudah pecah (Rumengan *et al.*, 2018). Metode gelasi ionik memiliki kelebihan yaitu proses pembuatan mudah dan tidak memakai pelarut organik. Adapun proses pembuatan nanopartikel kitosan menggunakan metode gelasi ionik dari beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Lampiran 4.

Proses pembuatan nanopartikel kitosan dengan metode gelasi ionik dimulai dengan melarutkan 2,5 g bubuk kitosan (Alyasi *et al.*, 2020) dalam 0,1-0,3% asam asetat (Lembang & Lestari, 2020; Suptijah *et al.*, 2011), dan dilakukan pengadukan menggunakan pengaduk magnetik selama 1 hari (Nadia *et al.*, 2014), dengan kecepatan 1200rpm/menit. Kemudian menambahkan 10 mL larutan TPP dalam 50 mL larutan asam asetat dan kitosan, lalu diaduk selama 20 menit yang menghasilkan emulsi. Setelah itu, emulsi dibekukan pada suhu -4°C dan diendapkan pada suhu kamar yang menghasilkan nanopartikel. Hasil endapan nanopartikel kitosan diaduk selama 24 jam dan disentrifugasi, kemudian dibilas menggunakan air deionisasi dan

dikeringkan selama 1 hari pada suhu 60°C. Adapun representasi skematik preparasi nanopartikel kitosan dengan metode gelasi ionik dapat dilihat pada Gambar 6.



Sumber: (Grenha, 2012)

Gambar 6. Representasi skematik metode gelasi ionik

3.4.2.2 Sonokimia

Berdasarkan penelitian Ramayanti (2020), dilaporkan bahwa sonokimia merupakan metode kopresipitasi terbalik dengan bantuan gelombang ultrasonik pada suhu kamar. Metode sonokimia melibatkan energi sonik untuk proses pengadukan partikel (Dheyab *et al.*, 2021). Prinsip metode sonokimia adalah adanya gelombang ultrasonik yang dipancarkan dalam larutan. Proses sonifikasi menggunakan gelombang ultrasonik mampu menghasilkan rongga pada larutan yang dapat meningkatkan keseragaman ukuran partikel dalam skala nano (Astuti & Ningsi, 2017).

Adapun preparasi nanopartikel kitosan menggunakan metode sonokimia dapat dilihat pada Gambar 7.

Melarutkan Kitosan (3 gr) dalam 1% Asam Asetat 300 mL dan 60 tetes NH_3 37%

Pengadukan (200rpm)

Menghasilkan gel

Dimasukkan dalam *ultrasonic bath* (60 menit)

Liofilisasi dan penghalusan

Serbuk nanopartikel

Sumber: (Talu'mu, 2011)

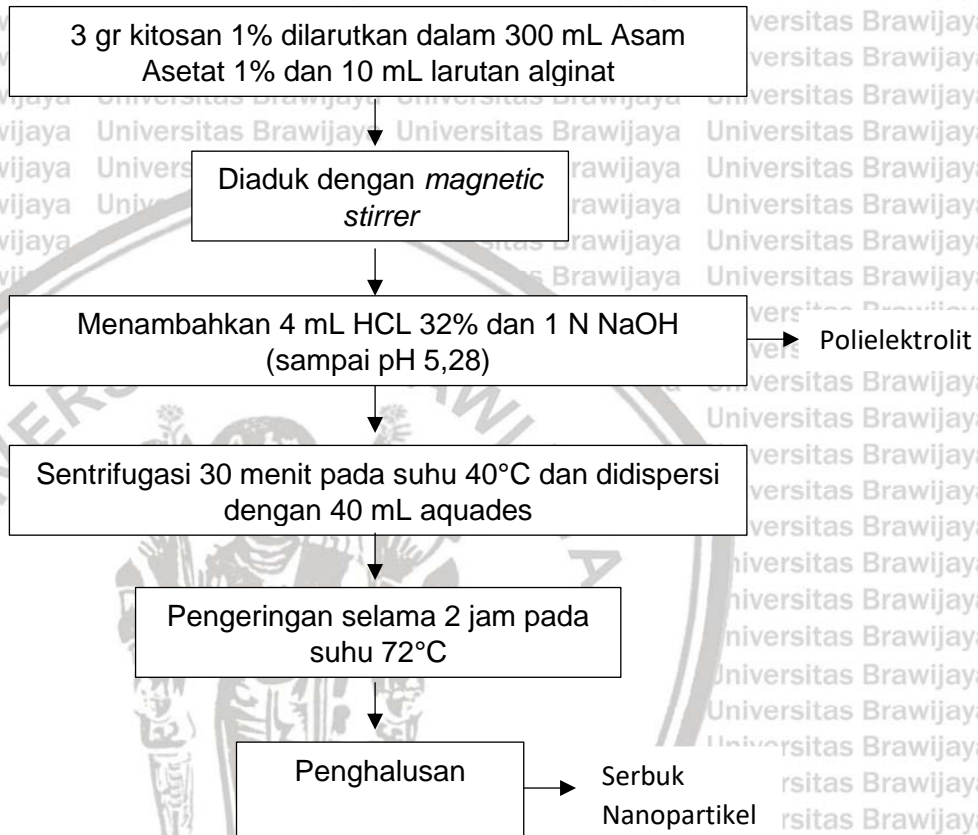
Gambar 7. Pembuatan nanopartikel kitosan dengan metode sonokimia

Berdasarkan Gambar 7, pembuatan nanopartikel kitosan dengan metode sonokimia dilakukan dengan melarutkan 3 gr kitosan dalam 1% asam asetat 300 mL kemudian menambahkan 37% NH_3 ± 60 tetes dan diaduk (200 rpm) yang menghasilkan gel. Selanjutnya, dimasukkan dalam *ultrasonic bath* selama 60 menit dan dilakukan liofilisasi serta penghalusan sampai membentuk serbuk nanopartikel kitosan.

3.4.2.3 Kompleksasi Polielektrolit

Polielektrolit kompleks terbentuk oleh adanya interaksi ionik antara polikation dan polianion. Interaksi utama dalam polielektrolit kompleks yaitu adanya daya tarik elektrostatik antara gugus asam karboksil ($-\text{COO}^-$) pada alginat dengan gugus amino ($-\text{NH}_3^+$) pada kitosan (Todingbua' *et al.*, 2018). Ukuran kompleks yang dihasilkan pada metode ini berkisar antara 600–700 nm. Metode kompleksasi polielektrolit memiliki kelebihan, yaitu sederhana tanpa menggunakan pelarut organik (Irianto, 2011).

Adapun preparasi nanopartikel kitosan menggunakan metode kompleksasi polielektrolit dapat dilihat pada Gambar 8.



Sumber: (Talu'mu, 2011)

Gambar 8. Pembuatan kitosan dengan metode kompleksasi polielektrolit

Berdasarkan Gambar 8, pembuatan nanopartikel kitosan dengan metode kompleksasi polielektrolit dilakukan dengan membuat 1,5 % (b/b) larutan alginat dengan pelarut aquades dengan cara melarutkan 1% 3 gr kitosan dalam 300 mL 1% asam asetat dan ditambahkan 10 mL larutan alginat kemudian dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*. Selanjutnya, dilakukan penambahan 32% HCL 4 mL dan 1 N NaOH sampai Ph 5,28 (membentuk polielektrolit). Polielektrolit yang terbentuk disentrifugasi selama 30 menit dengan suhu 40°C dan didispersikan dengan 40 mL

aquades. Setelah itu, dilakukan pengeringan selama 2 jam pada suhu 72°C dan dihaluskan sampai membentuk serbuk nanopartikel kitosan (Fajarwati *et al.*, 2018; Talu'mu, 2011). Sintesis nanopartikel kitosan dapat dilakukan dengan metode sonifikasi, kompleksasi polielektrolit dan gelasi ionik yang dapat menghasilkan variasi ukuran nanopartikel yang berbeda. Adapun pengaruh variasi metode sintesis nanopartikel terhadap ukuran partikel yang dihasilkan dari beberapa peneliti terdahulu dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Variasi metode sintesis nanopartikel kitosan terhadap ukuran partikel

No.	Metode	Penjelasan	Ukuran Partikel (nm)	Pustaka
1.	Sonokimia	Metode kopresipitasi terbalik dengan bantuan gelombang ultrasonik pada suhu ruang (Ramayanti, 2020)	800	(Talu'mu, 2011)
			400	(Astuti & Ningsi, 2017)
2.	Gelasi Ionik	Interaksi elektrostatik antara tripolifosfat (bermuatan negatif) dengan gugus amina kitosan yang bermuatan positif, dimana interaksi ini menghasilkan sintesis nanopartikel kitosan (Dash <i>et al.</i> , 2019)	302,6	(Putri <i>et al.</i> , 2018)
			150-250	(Alyasi <i>et al.</i> , 2020)
			215,9	(Husniati, 2013)
3.	Kompleksasi polielektrolit	Adanya daya tarik elektrostatik antara gugus asam karboksil (-COO-) pada alginat dengan gugus amino (-NH ₃ ⁺) pada kitosan	700	(Irianto & Ijah, 2011)
			600	(Talu'mu, 2011)

Berdasarkan Tabel 9, dari hasil penelitian terdahulu penggunaan metode sintesis nanopartikel yang berbeda menghasilkan ukuran partikel yang berbeda. Ukuran partikel terbesar pada Tabel 9, didapatkan pada perlakuan dengan metode sonokimia, sedangkan ukuran terkecil didapatkan pada metode gelasi ionik. Ukuran partikel yang kecil pada penggunaan metode gelasi ionik terjadi karena dilakukan

penambahan TPP (tripolifosfat) yang berfungsi sebagai agen *cross-linker* dengan kitosan melalui ikatan intramolekul dan intermolekul dengan reaksi ionik yang dapat memperkecil ukuran, memperluas luas permukaan partikel dan memperbesar kapasitas adsorpsinya (Handayani *et al.*, 2018).

Proses memperkecil ukuran suatu partikel kitosan dilakukan dengan alat *magnetic stirrer* dan *ultrasonic bath*. Penggunaan *magnetic stirrer* dalam memperkecil ukuran partikel memiliki kelebihan yaitu dapat menghasilkan partikel yang stabil dan homogen serta tidak terjadi aglomerasi. Metode pengecilan ukuran partikel menggunakan *magnetic stirrer* merupakan metode yang efektif untuk menghasilkan nanopartikel. Ultrasonik merupakan alat yang digunakan untuk mengubah partikel menjadi nanopartikel dengan melibatkan gelombang *sonic* (> 20 KHz). Penggunaan alat ultrasonik dalam pengecilan ukuran partikel dapat menghasilkan ukuran partikel yang tidak stabil dan berukuran lebih besar (Suptijah, 2011).

3.4.3 Karakterisasi Nanopartikel kitosan

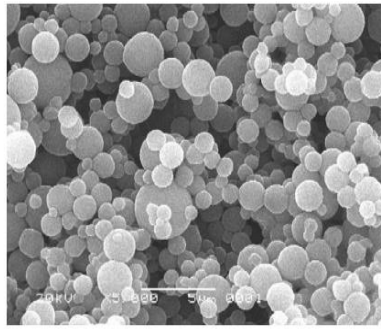
Karakterisasi nanopartikel kitosan dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel dan gugus fungsi nanopartikel kitosan. Ukuran partikel dapat diukur menggunakan PSA (*Particle Size Analyzer*) (Arsyi *et al.*, 2018; Lembang dan Lestari, 2020; Nadia *et al.*, 2014; Putri *et al.*, 2018), dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) (Suptijah, 2011). Sedangkan gugus fungsi nanopartikel kitosan dianalisis menggunakan spektra FT-IR yang akan menganalisis adanya gugus fungsi pada nanopartikel kitosan (Dash *et al.*, 2019; Handayani *et al.*, 2018).

3.4.5.1 Ukuran Partikel

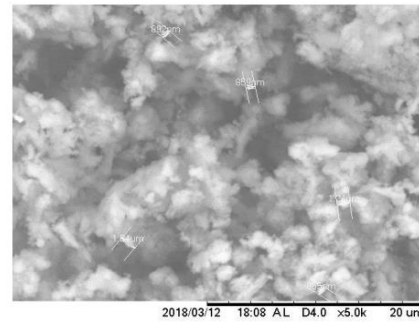
Ukuran partikel merupakan karakteristik penting dalam sistem nanopartikel karena dapat memperbesar luas permukaan sehingga kapasitas adsorpsinya menjadi lebih besar. Ukuran partikel dapat diukur menggunakan alat PSA (*Particle Size Analyzer*) dan atau SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Pengecilan ukuran partikel menggunakan pengaduk magnetik dengan kecepatan tinggi juga dapat menyebabkan ukuran partikel lebih merata (dibawah 1000 nm), stabil dan homogen.

SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM adalah teknik karakterisasi material yang digunakan untuk mengamati morfologi permukaan partikel (batas butir dan fase, distribusi, deformasi mekanik dan komposisi kimia) (Mursal, 2018). SEM merupakan metode yang digunakan untuk meneliti struktur ataupun bentuk mikro dari permukaan objek yang tidak bisa dilihat oleh mikroskop optik dengan menggunakan mikroskop elektron (Jores *et al.*, 2004). SEM mempunyai perbesaran 10 sampai 3.000 kali, mengukur ketebalan dari 200 Å sampai 0,5 µm serta resolusinya 1 sampai 10 nm. Prinsip kerja alat SEM adalah adanya gelombang dari elektron berupa difraksi pada sudut yang sangat kecil (Nadia *et al.*, 2014). Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima dan dikirim oleh detektor ke monitor (CRT) (Lubis, 2015). Adapun kenampakan nanopartikel kitosan menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 9.



(a)



(b)

Sumber: (a) (Suptijah, 2011); (Handayani *et al.*, 2018)
Gambar 9. (a) Morfologi partikel nanokitosan cangkang kerang; (b) Morfologi partikel nanokitosan cangkang udang

Kelebihan dari SEM yaitu memiliki rentang pembesaran yang besar dan gambarnya berbentuk 3 dimensi sehingga membuat hasil karakterisasi sampel dengan menggunakan SEM menjadi lebih mudah untuk diamati dan dianalisa. Namun, SEM tidak memiliki sistem koreksi untuk kesalahan aberasinya dan dapat memberikan kontras yang relatif rendah terlebih pada perbesaran tinggi. Selain itu, pengoperasian SEM harus dilakukan dengan pengaturan parameter elektron (*spot size, high voltage, bias, beam current*) dan parameter optik (kontras, fokus, astigmatismus) yang tepat, karena SEM menghasilkan kontras yang relatif rendah (pada perbesaran tinggi) (Sujatno *et al.*, 2017).

PSA (Particle Size Analyzer)

Pengukuran ukuran partikel menggunakan PSA dilakukan dengan pengukuran berdasarkan gerak brown partikel (gerakan secara terus menerus) pada larutan (Lembang dan Lestari, 2020). Prinsip alat PSA (*Particle Size Analyzer*) adalah adanya pancaran cahaya laser oleh partikel. Cahaya laser dipancarkan ke dalam partikel melalui jarum kecil (pinhole), partikel-partikel memancarkan cahaya kembali melalui

jarum kecil (pinhole) lalu cahaya dari partikel masuk dalam detektor kemudian diterjemahkan dalam bentuk sinyal cahaya fluktuatif. Alat PSA memiliki kelebihan yaitu waktu pengukuran singkat, distribusi partikel memiliki presisi tinggi, hasil pengukuran lebih akurat (Nuraeni *et al.*, 2013) serta mampu mengukur diameter partikel dari ukuran terkecil 11 nm sampai 3000 μm (Silaban *et al.*, 2016).

Analisis ukuran nanopartikel kitosan dapat dilakukan dengan alat PSA dan SEM yang dapat menghasilkan analisis ukuran partikel yang bervariasi. Adapun hasil analisis ukuran nanopartikel kitosan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan *Particle Size Analyzer* (PSA) berdasarkan beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Analisis ukuran nanopartikel kitosan

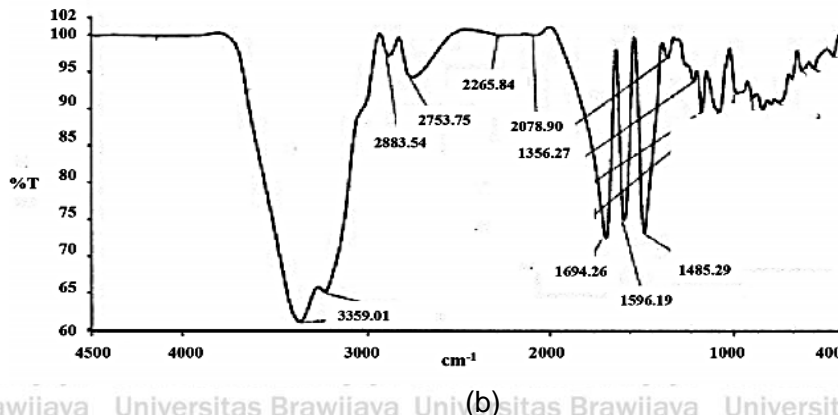
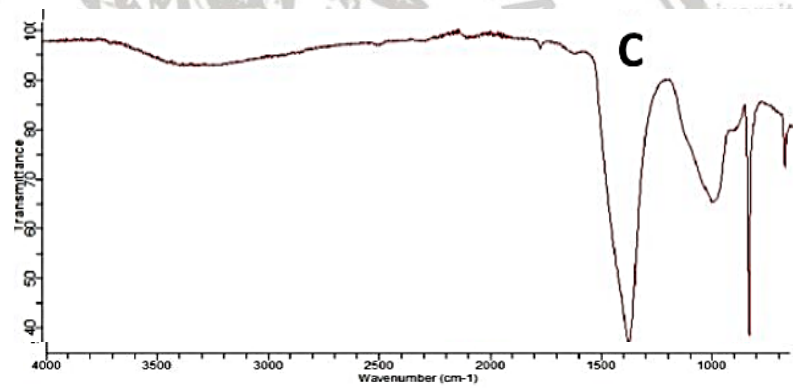
No.	Alat	Bahan	Metode Sintesis	Analisis ukuran	Pustaka
1.	PSA	Nanopartikel kitosan	Gelasi Ionik	774,3 nm	(Arsyi <i>et al.</i> , 2018)
				302,6 nm	(Putri <i>et al.</i> , 2018)
				389 nm	(Kurniasari & Atun, 2017)
				228,74 nm	(Nadia <i>et al.</i> , 2014)
2.	SEM	Nanopartikel kitosan	Gelasi Ionik	1600 nm	(Suptijah, 2011)
				892-1.540 nm	(Handayani <i>et al.</i> , 2018)

Berdasarkan Tabel 10, analisis ukuran nanopartikel kitosan menggunakan PSA berdasarkan penelitian terdahulu menunjukkan hasil ukuran nanopartikel yang beragam mulai dari 228,74 nm sampai 774,3 nm. Analisis ukuran partikel menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan hasil ukuran nanopartikel kitosan mulai dari 892 nm sampai 1.540 nm. Berdasarkan hasil analisis

ukuran nanopartikel kitosan menggunakan PSA dan SEM dari beberapa peneliti terdahulu, didapatkan hasil bahwa PSA mampu mengukur ukuran nanopartikel kitosan yang lebih kecil daripada SEM.

3.4.5.2 Identifikasi Gugus Fungsi Nanopartikel kitosan

Identifikasi gugus fungsi nanopartikel kitosan dilakukan menggunakan FT-IR yang akan mendeteksi gugus fungsi (OH, NH, C-C) pada kitosan (Dash *et al.*, 2019; Handayani *et al.*, 2018). Adapun analisis gugus fungsi nanopartikel kitosan dengan penambahan 0,1% TPP berdasarkan beberapa peneliti terdahulu dapat dilihat pada Gambar 10.



Sumber: (a) (Handayani *et al.*, 2018); (b) (Dash *et al.*, 2019)

Gambar 10. Spektrum FT-IR nanopartikel kitosan dengan TPP 0,1%

Berdasarkan Gambar 10, spektrum hasil FT-IR dari nanopartikel kitosan dengan penambahan TPP 0,1% menampakkan adanya puncak-puncak serapan pada bilangan gelombang antara 1382,93-3697 cm^{-1} yang disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Analisis gugus fungsi nanopartikel kitosan dengan penambahan TPP 0,1%

No.	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Pustaka
1.	OH dan NH_2	3230,97 dan 3369,01	(Dash <i>et al.</i> , 2019)
	CONH_2	1382,93	
	NH_2	1655,90	
	Amonium	1596,19 dan 1694,26	
2.	NH dan OH	3697-3638	(Handayani <i>et al.</i> , 2018)
	CH	1405	
	Amonium	1637,32	

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu pada Tabel 11, terjadi puncak serapan pada panjang gelombang 3230,97 cm^{-1} dan 3369,01 cm^{-1} akibat adanya vibrasi ulur gugus fungsi OH dan NH_2 . Pada panjang gelombang 1655,90 cm^{-1} dan 1382,93 cm^{-1} terjadi intensitas serapan gugus fungsi NH_2 dan CONH_2 . Munculnya pita serapan pada panjang gelombang 1596,19 cm^{-1} dan 1694,26 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan silang antara TPP dengan gugus fungsi amonium. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa gugus fungsi amonium telah berinteraksi dengan gugus tripolifosfat yang menandakan peningkatan interaksi antar molekul dalam nanopartikel kitosan (Dash *et al.*, 2019).

Spektra nanopartikel kitosan terbentuk pada bilangan gelombang 3697-3638 cm^{-1} yang disebabkan karena adanya gugus fungsi NH dan OH serta pada bilangan gelombang 1405 cm^{-1} disebabkan oleh gugus fungsi CH. Nanopartikel kitosan dengan penambahan TPP 0,1% menghasilkan spektra yang dicirikan dengan terbentuknya puncak pada bilangan gelombang 1637,32 cm^{-1} karena adanya *cross-link* antara ion

ammonium dan ion fosfat (TPP 0,1%) (Handayani *et al.*, 2018). Penambahan TPP 0,1% adalah konsentrasi yang paling optimal untuk membentuk nanopartikel kitosan (Rahmania, 2011; Yudhasasmita *et al.*, 2017).

3.4.4 Potensi Nanopartikel kitosan

Nanopartikel kitosan memiliki keunggulan dalam adsorpsi logam berat karena memiliki ukuran partikel yang kecil sehingga memperluas luas permukaan yang dapat membuat luas kontak terhadap target menjadi lebih besar (Lembang & Lestari, 2020), serta memiliki aktivitas adsorpsi permukaan dan reaktivitas (perbandingan luas permukaan dan volume besar) yang tinggi (Liu *et al.*, 2018). Adapun pemanfaatan nanopartikel kitosan sebagai adsorben logam berat berdasarkan beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Nanopartikel kitosan sebagai adsorben logam berat

No.	Adsorben	Logam berat (adsorbat)	Kapasitas adsorpsi	Pustaka
1.	Nanopartikel lapis kitosan	FeNO ₃ Cr (Chromium)	88%	(Mahdi <i>et al.</i> , 2019)
2.	Nanopartikel kitosan	Pb (Timbal) Cd (Kadmium)	79,24 mg/g (Pb) 36,42 mg/g (Cd)	(Fan <i>et al.</i> , 2017)
3.	Nanopartikel kitosan	Cd (Kadmium)	2,01 mmol/g	(Alyasi <i>et al.</i> , 2019)
4.	Nanopartikel kitosan	Cd (Kadmium)	0,4 g/ 50 mL	(Yudhasasmita <i>et al.</i> , 2017)
5.	Magnetik nanopartikel kitosan	Pb ²⁺ (Timbal)	82,31%	(Izak <i>et al.</i> , 2011)
6.	Kitosan nanomaterial	Cr (Chromium)	21,7 mg/L	(Elystia <i>et al.</i> , 2021)
7.	Magnetik nanobiokomposit berbasis kitosan	Cu (Tembaga) Pb (Timbal) Cr (Chromium)	33,76% 98,4% 100%	(Eivazzadeh-keihan <i>et al.</i> , 2020)

Berdasarkan Tabel 12, beberapa peneliti terdahulu telah mengaplikasikan nanopartikel kitosan sebagai adsorben berbagai logam berat berbahaya dengan

kapasitas adsorpsi yang berbeda pada tiap penelitiannya. Nanopartikel kitosan berpotensi menunjukkan kapasitas penyerapan yang lebih tinggi dari mikro adsorben karena luas permukaannya lebih tinggi, memiliki ukuran nano, serta tidak memiliki batasan difusi (Olivera *et al.*, 2016). Beberapa peneliti terdahulu telah menunjukkan aplikasi nanopartikel kitosan yang digunakan untuk pengelola air limbah yang dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Aplikasi nanopartikel kitosan dalam pengelolaan air limbah

No.	Senyawa	Metode sintesis	Ukuran partikel (nm)	Aplikasi	Pustaka
1.	CsNPs, Fe ₃ O ₄	Co-presipitasi (NP Fe ₃ O ₄) dan ikatan silang	30	Penghilangan logam berat	(Thin et al., 2013)
	CsNPs, acrylic acid, lead (II) nitrate (Pb (NO ₃) ₂)	Ikatan silang	50-200		(Ge et al., 2016)
	CsNPs, ALG	Gelasi ionik	396,1		(Gokila et al., 2017)
2.	CsNPs, β-cyclodextrin, Fe ₃ O ₄	Co-presipitasi (NP Fe ₃ O ₄), emulsifikasi dan ikatan silang	100	Penghilangan pewarna	(Fan et al., 2012)
	CsNPs, ethylenediamine, Fe ₃ O ₄	Co-presipitasi (NP Fe ₃ O ₄), emulsifikasi dan ikatan silang	15-40		(Zhou et al., 2011)
	CsNPs, Fe ₃ O ₄	Co-presipitasi	78,82		(Hosseini et al., 2016)
Ikatan silang dengan TPP		68,74			
Ikatan silang dengan glutaral dehid		55,93			

Berdasarkan Tabel 13, beberapa peneliti terdahulu telah mengaplikasikan nanopartikel kitosan dengan ukuran partikel yang berbeda dalam pengelolaan air limbah seperti penghilangan pewarna dan logam berat. Nanopartikel kitosan memiliki ukuran partikel yang kecil, luas permukaan yang besar sehingga memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi (Yanat & Schroën, 2021).

3.5 Mekanisme Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses ketika suatu zat terlarut (adsorbat) terakumulasi pada permukaan suatu zat (adsorben) membentuk atom atau molekul (Singh *et al.*, 2018). Kapasitas adsorpsi suatu adsorben akan meningkat tiap satuan waktu dan mencapai titik kesetimbangannya. Proses uji adsorpsi kadmium menggunakan nanopartikel kitosan dilakukan dengan menyiapkan nanopartikel kitosan (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 g) dan 50 mL larutan kadmium dalam Erlenmeyer 100 mL. Kemudian dilakukan pengadukan selama 15 menit menggunakan pengaduk magnetik. Selanjutnya larutan disaring (whatman), lalu dianalisis kandungan kadmium menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan atau SSA (Spektrometri Serapan Atom) (Izak *et al.*, 2011; Lembang & Lestari, 2020; Yudhasasmita *et al.*, 2017).

Mekanisme adsorpsi terdiri dari kemisorpsi dan fisorpsi (Kayranlı, 2021).

Fisorpsi merupakan penyerapan adsorbat oleh adsorben dengan gaya Van Der Waals (gaya tarik molekul adsorbat dengan substansi adsorben lebih kecil dari gaya tarik molekul antara permukaan adsorben dengan adsorbat) (Deng *et al.*, 2018). Kelemahan fisorpsi adalah energi yang dihasilkan rendah (20 KJ/mol) serta molekul terikat lemah.

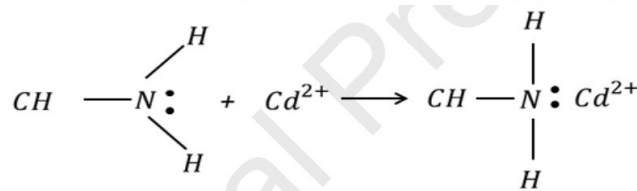
Kemisorpsi terjadi ketika terdapat reaksi kimia (pertukaran elektron) antara permukaan adsorben dengan atom adsorbat, yang memiliki kelebihan yaitu energi yang dihasilkan besar yaitu 40-400 KJ/mol (Singh *et al.*, 2018). Kemisorpsi ditandai dengan adanya ikatan kimia (ikatan kovalen) antara adsorben dan adsorbat, yang diawali dengan proses fisorpsi yaitu partikel adsorbat menempel pada permukaan adsorben melalui ikatan hidrogen. Selanjutnya pada proses kemisorpsi partikel adsorbat menempel pada permukaan adsorben dan membentuk ikatan kimia. Mekanisme adsorpsi dapat dijelaskan sebagai proses ketika suatu adsorbat meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan adsorben secara kimia dan fisika (Syauqiah *et al.*, 2011). Secara umum, mekanisme adsorpsi melibatkan reaksi kimia seperti kompleksasi dan pengkelatan (kelasi) (Nitsae *et al.*, 2018). Mekanisme adsorpsi logam berat yang berpotensi untuk adsorpsi kadmium menggunakan nanopartikel kitosan yaitu melibatkan reaksi kimia kompleksasi dan pengkelatan (Alyasi *et al.*, 2020; Marzuki *et al.*, 2019). Gugus amina pada kitosan berperan untuk kelasi dan pengikat ion logam (Vakili *et al.*, 2019).

Mekanisme adsorpsi secara kimia terdiri dari kelasi dan kompleksasi. Kelasi merupakan jenis ikatan antara molekul adsorben dan ion logam. Lepasnya proton (ion H^+) masuk ke dalam sel dan menggantikan kation penyeimbang sehingga membentuk kompleks ion logam dan terjadi kelasi. Kelasi melibatkan reaksi keseimbangan antara pengkelat dengan ion logam yang membentuk dua atau lebih ikatan antara pengkelat dan ion logam (Priyadi *et al.*, 2013). Pengkelatan ion logam oleh adsorben dilakukan dengan cara mencampurkan adsorben dengan logam berat kemudian ditambahkan dengan pengkelat 0,02 M dan diinkubasi selama 30 menit (Fawole *et al.*, 2012). Proses pengkelatan terjadi dimana ion kadmium 1 M berikatan dengan 2 M gugus amina pada kitosan dan membentuk kompleks logam kelat. Ion logam kadmium

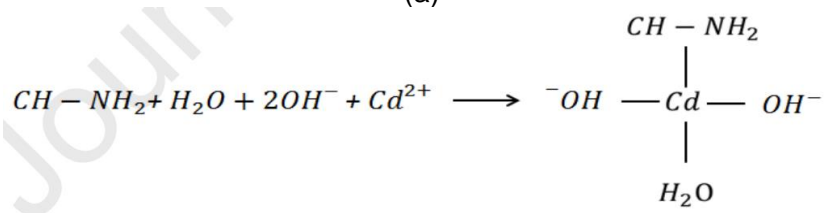
terkelat oleh gugus amina pada permukaan *cross-link* kitosan dan gugus amina bebas membentuk kompleks stabil (Shaker, 2015). Ikatan kovalen koordinasi terbentuk ketika logam kadmium bertindak sebagai asam lewis dan pasangan elektron bebas nitrogen bertindak sebagai basa Lewis.

Berdasarkan penelitian Kayranli (2021), dilaporkan bahwa kompleksasi permukaan terjadi antara ion kadmium dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen pada kitosan, dengan cara berbagi pasangan elektron bebas pada atom oksigen. Selain itu, kompleksasi terjadi karena adanya beberapa gugus OH pada karbon C₃ kitosan yang berperan sebagai situs aktif untuk adsorpsi dan sebagai donor sehingga gugus hidroksil yang terdeprotonasi terkoordinasi dengan ion logam membentuk kompleks (Alyasi *et al.*, 2020).

Hasil dari proses adsorpsi adalah menempelnya ion logam pada permukaan adsorben melalui ikatan kovalen dan hidrogen membentuk lapisan tipis (*chelate*), kemudian membentuk endapan yang stabil dalam suatu larutan (media cair). Selanjutnya, endapan yang terbentuk dipisahkan dengan proses sentrifugasi (16.000rpm selama 10 menit) yang menghasilkan supernatan. Supernatan ini digunakan untuk menentukan konsentrasi kadmium yang terserap dengan AAS (Shaker, 2015). Proses adsorpsi bersifat *reversible*, dimana ion logam yang sudah teradsorpsi dapat bebas kembali dengan adanya pelarut yang bersifat sama dengan ion logam tersebut (Guan *et al.*, 2020; Syauqiah *et al.*, 2011). Kemampuan nanopartikel kitosan dalam mengadsorpsi logam berat kadmium dapat mencapai kesetimbangan atau kejenuhan (desorpsi) (Iriana *et al.*, 2018). Sehingga, peningkatan jumlah adsorbat tidak akan mempengaruhi proses adsorpsi apabila telah mencapai kesetimbangannya (Rosema *et al.*, 2021). Adapun representasi kelasi dan kompleksasi dapat dilihat pada Gambar 11.



(a)



(b)

Sumber: (Alyasi *et al.*, 2020)

Gambar 11. (a) Kelasi kadmium-kitosan, (b) Kompleksasi kadmium-kitosan

3.6 Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Kadmium Oleh Nanokitosan

Kondisi optimum penyerapan kadmium menggunakan nanopartikel kitosan dilakukan dengan menentukan konsentrasi adsorben, pH larutan serta waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat.

3.6.1 Optimasi Konsentrasi Adsorben

Berdasarkan penelitian Yudhasasmita *et al.* (2017), dilaporkan bahwa konsentrasi adsorben yang digunakan dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsinya terhadap logam berat kadmium. Penurunan kandungan kadmium dalam medium cair terjadi seiring dengan semakin tingginya konsentrasi penambahan nanopartikel kitosan. Penurunan kadar kadmium terjadi dengan penambahan 0,5 g/50 mL nanopartikel kitosan (konsentrasi tertinggi) pada 7 ppm larutan kadmium dengan kapasitas adsorpsinya sebesar 98,7% (Yudhasasmita *et al.*, 2017). Hal ini didukung oleh penelitian Sivakami *et al.* (2013) yang melaporkan bahwa, salah satu faktor yang

dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi logam berat adalah besarnya konsentrasi penambahan nanopartikel kitosan (adsorben) karena adanya gugus fungsi amina pada nanopartikel kitosan sebagai situs aktif adsorpsi.

3.6.2 Optimasi pH

Semakin tinggi pH maka ion H^+ semakin menurun dan permukaan nanopartikel kitosan menjadi bermuatan negatif, sehingga adsorpsi logam menjadi lebih efektif karena adanya interaksi elektrostatik (Zhang *et al.*, 2016). Akan tetapi, peningkatan nilai pH lebih lanjut dapat menurunkan kapasitas adsorpsi yang disebabkan oleh meningkatnya ukuran partikel yang dapat memperkecil luas permukaan untuk penyerapan. Semakin rendah nilai pH larutan maka semakin rendah pula kapasitas penyerapan yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh adanya hidronium dengan konsentrasi tinggi yang bersaing dengan ion kadmium sehingga situs penyerapan kadmium menurun (Seyed *et al.*, 2013). Berdasarkan penelitian Rahaman *et al.* (2021), hasil penyerapan logam berat kadmium pada pH larutan 2 terjadi paling lambat. Namun peningkatan pH lebih dari 9 dapat menurunkan adsorpsi kadmium 80%. Berdasarkan penelitian Tphoon *et al.* (2020), dilaporkan bahwa pH yang cocok untuk adsorpsi kadmium adalah pH sedang karena gugus fungsi yang terdeprotonasi dapat mengurangi dan meningkatkan daya tarik antara situs aktif pada gugus fungsional dengan ion logam.

Optimasi nilai pH dilakukan dengan tahapan proses yang berbeda yaitu dengan mencampurkan nanopartikel kitosan dengan larutan logam kadmium dan dilakukan pengadukan selama 12 jam dengan kecepatan 300 sampai 1200 rpm. Pada proses adsorpsi kadmium menggunakan nanopartikel kitosan, pH larutan kadmium yang

digunakan yaitu 4 sampai 10 (optimum 4,6) (Seyed *et al.*, 2013; Yudhasmita *et al.*, 2017).

3.6.3 Optimasi Waktu Kontak

Optimasi waktu kontak nanopartikel kitosan dengan logam kadmium dilakukan dengan tahapan proses yang berbeda. Optimasi waktu kontak dilakukan dengan cara mencampurkan larutan kitosan 0,025 g (50 mL) dengan 50 mL kadmium dalam erlenmeyer selama 10 sampai 60 menit dengan kecepatan 300 rpm, kemudian diambil sampel untuk menentukan konsentrasi kadmium yang dihasilkan dan dianalisis menggunakan ICP-OES (Optima 3000XL, Perkin-Elmer). Waktu kontak antara nanopartikel kitosan dengan kadmium yang digunakan yaitu selama 120 menit dengan kecepatan pengadukan 300 rpm (Alyasi *et al.*, 2020; Seyed *et al.*, 2013).

3.7 Kapasitas Adsorpsi Logam Berat Kadmium oleh Nanopartikel kitosan

Kapasitas adsorpsi mencerminkan banyaknya adsorbat yang terserap oleh adsorben. Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, kapasitas adsorpsi logam berat kadmium menggunakan nanopartikel kitosan berbeda-beda pada setiap penelitiannya yang dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Kapasitas adsorpsi logam kadmium oleh nanopartikel kitosan

No	pH	Konsentrasi nanopartikel kitosan	Konsentrasi larutan Cd	Waktu kontak	Metode Sintesis	Ukuran Partikel (nm)	Kapasitas adsorpsi (mg/g)	Efektifitas adsorpsi (%)	Pustaka
1.	4,6	50 mg/mL	50 mL (1000mg/L)	60 menit	Gelasi ionik	34,6	357,14	-	(Seyed <i>et al.</i> , 2013)
2.	5,5	1,5 g/L	50 mL (200mg/L)	240 menit		140	63,5	95	(Shaker, 2015)
3.	7	1,8 mg/mL	5 mL (100ppm)	120 menit		30-70	63,71	65	(Hussain <i>et al.</i> , 2020)
4.	4,5	100 mg/mL	100 mL	-		150-250	226	68,3	(Alyasi <i>et al.</i> , 2020)
5.	7	0,1 g/50 mL	50 mL (7ppm)	-		389,15	-	98,7	(Yudhasasmita <i>et al.</i> , 2017).
6.	7,5	22,5 mg	50 mL	-		-	141,3	-	(Babakhani & Sartaj, 2020)

Berdasarkan Tabel 14, adsorpsi logam berat kadmium menggunakan nanopartikel kitosan menghasilkan kapasitas dan efektifitas adsorpsi yang berbeda-beda pada tiap penelitiannya. Kapasitas adsorpsi terbesar (357.14 mg/g) didapatkan pada penelitian Seyed *et al.* (2013), dengan penggunaan pH larutan 4,6, konsentrasi nanopartikel kitosan 50 mg/mL, konsentrasi larutan kadmium 50 mL (1000 mg/L), waktu kontak selama 60 menit dengan ukuran partikelnya sebesar 34,6 nm. Kapasitas adsorpsi terendah (63,5 mg/g) didapatkan pada penelitian Shaker (2015), dengan penggunaan pH larutan 5,5, konsentrasi nanopartikel kitosan 1,5 g/L, konsentrasi larutan kadmium 50 mL (200 mg/L), waktu kontak selama 240 menit dengan ukuran partikelnya sebesar 140 nm. Sedangkan, efektifitas adsorpsi tertinggi (98,7%) didapatkan pada penelitian Yudhasasmita *et al.* (2017), dengan penggunaan pH larutan 7, konsentrasi nanopartikel kitosan 0,1 g/ 50 mL, konsentrasi larutan kadmium 50 mL (7 ppm) dengan ukuran partikelnya sebesar 389,15 nm. Efektifitas adsorpsi terendah (65%), didapatkan pada penelitian Hussain *et al.* (2020), dengan penggunaan pH larutan 7, konsentrasi nanopartikel kitosan 1,8 mg/mL, konsentrasi larutan kadmium 5 mL (100 ppm), waktu kontak selama 120 menit dengan ukuran partikelnya sebesar 30-70 nm.

Perbedaan kapasitas dan efektifitas adsorpsi dapat dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi nanopartikel kitosan dan ion logam kadmium, pH larutan, waktu kontak antara nanopartikel kitosan dengan ion kadmium dan ukuran partikel yang digunakan. Hal ini didukung oleh Tahoon *et al.* (2020) yang melaporkan bahwa, pH yang cocok untuk adsorpsi kadmium adalah pH sedang karena gugus fungsi yang terdeprotonasi dapat mengurangi dan meningkatkan daya tarik antara situs aktif pada gugus fungsional nanopartikel kitosan dengan ion logam. Konsentrasi nanopartikel kitosan juga dapat mempengaruhi kapasitas dan efektifitas adsorpsinya, dimana

semakin banyak konsentrasi yang digunakan maka dapat meningkatkan kapasitas dan efektifitas adsorpsi. Akan tetapi, kemampuan nanopartikel kitosan dalam mengadsorpsi logam berat kadmium dapat mencapai kesetimbangan atau kejenuhan (desorpsi) (Iriana *et al.*, 2018). Sehingga, peningkatan jumlah adsorbat tidak akan mempengaruhi proses adsorpsi apabila telah mencapai kesetimbangannya (Rosema *et al.*, 2021).

Selain itu, kapasitas dan efektifitas adsorpsi dapat meningkat seiring dengan banyaknya waktu kontak antara nanopartikel kitosan dan logam kadmium karena dapat meningkatkan interaksi antara ion logam kadmium dan situs aktif kelasi. Menurut Lembang & Lestari (2020), semakin kecil ukuran partikel suatu material dapat menyebabkan luas permukaannya meningkat dan membuat luas kontak terhadap target menjadi lebih besar. Berdasarkan Tabel 14, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi nanopartikel kitosan dan ion logam kadmium, pH larutan, waktu kontak serta ukuran nanopartikel kitosan dapat mempengaruhi kapasitas dan efektifitas adsorpsi logam berat kadmium menggunakan nanopartikel kitosan.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari kajian pustaka ini, didapatkan kesimpulan bahwa: nanopartikel kitosan dapat digunakan sebagai adsorben logam berat kadmium dengan cara khelasi dan kompleksasi permukaan. Pada prinsipnya, Ion logam kadmium menempel pada permukaan nanopartikel kitosan kemudian membentuk ikatan kimia serta lapisan tipis (chelate) kemudian membentuk endapan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas dan efektifitas adsorpsi meliputi pH larutan, konsentrasi ion logam dan nanopartikel kitosan, serta waktu kontak antara ion logam dan nanopartikel kitosan.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, nanopartikel kitosan dapat diaplikasikan sebagai adsorben logam berat kadmium pada media cair (perairan). Akan tetapi, belum ditemukan kajian tentang penggunaan nanopartikel kitosan sebagai adsorben logam berat kadmium pada bahan pangan seperti ikan. Oleh karena itu, disarankan untuk kajian pustaka selanjutnya agar dapat melakukan kajian tentang penggunaan nanopartikel kitosan sebagai adsorben logam berat kadmium pada bahan pangan.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Firdaus & Aunurohim. (2019). Pengaruh pemberian karboksimetil kitosan (KMK) dalam upaya penurunan kadar logam berat kadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna viridis* Linn.) dari Perairan Teluk Lamong Surabaya. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, **8**(2), 23–30.
- Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Shafi, M. E., Zabermaawi, N. M., Arif, M., Batiha, G. E., Khafaga, A. F., Abd El-Hakim, Y. M., & Al-Sagheer, A. A. (2020). Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan and its derivatives and their applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, **164**, 2726–2744. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.153>
- Adhikari, H. S., Garai, A., Marasini, B. P., Adhikari, R., & Yadav, P. N. (2021). Synthesis and characterization of high molecular weight chitosan, and antioxidant activity of its chitosan oligosaccharide encapsulation. *Journal of Nepal Chemical Society*, **42**(1), 29–38. <https://doi.org/10.3126/jncs.v42i1.35326>
- Aditya Rahman. (2006). Kandungan logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada beberapa jenis krustasea di Pantai Batakan dan Takisung Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Bioscientiae*, **3**(2), 93–101. <http://www.unlam.ac.id/bioscientiae/>
- Agustina, S., Swantara, I., & Suartha, I. (2015). Isolasi kitin, karakterisasi, dan sintesis kitosan dari kulit udang. *Jurnal Kimia*, **9**(2), 271–278.
- Alaswad, S. O., Lakshmi, K. B., Sudha, P. N., Gomathi, T., & Arunachalam, P. (2020). Toxic heavy metal cadmium removal using chitosan and polypropylene based fiber composite. *International Journal of Biological Macromolecules*, **164**, 1809–1824. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.252>
- Alyasi, H., Mackey, H., & McKay, G. (2020). Novel model analysis for multimechanistic adsorption processes: case study: cadmium on nanochitosan. *Separation and Purification Technology*, 1–29. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117925>
- Alyasi, H., Mackey, H. R., Loganathan, K., & McKay, G. (2020). Adsorbent minimisation in a two-stage batch adsorber for cadmium removal. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **81**, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.09.003>
- Amari, T., Ghnaya, T., & Abdelly, C. (2017). Nickel, cadmium and lead phytotoxicity and potential of halophytic plants in heavy metal extraction. *South African Journal of Botany*, **111**, 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.011>
- Apriani, L., Iskandar, G. M., & Said, M. (2012). Pengaruh variasi konsentrasi naoh terhadap nilai derajat deasetilasi pada pembuatan chitosan dari cangkang kulit kepiting. *Jurnal Teknik Kimia*, **18**(1), 35–40.
- Arsyi, N. Z., Nurjannah, E., Ahlina, D. N., & Budiayati, E. (2018). Karakterisasi nano kitosan dari cangkang kerang hijau dengan metode gelasi ionik. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, **2**(2), 106–111.

- Astuti, A., & Ningsi, S. (2017). Sintesis dan karakterisasi nanopartikel titanium dioksida (tio₂) menggunakan metode sonokimia. *Jurnal Ilmu Fisika Universitas Andalas*, *9*(1), 26–32. <https://doi.org/10.25077/jif.9.1.26-32.2017>
- ATSDR. (2002). *Toxicological profile for cadmium*. ATSDR's Toxicological Profiles. [https://doi.org/10.1016/s1090-3798\(09\)70033-9](https://doi.org/10.1016/s1090-3798(09)70033-9)
- Azeredo, H. M. C., De Britto, D., & Assis, O. B. G. (2011). Chitosan edible films and coatings-a review. *Handbook of Chitosan Research and Applications*, 179–193.
- Azhar, H., Widowati, I., & Suprijanto, J. (2012). Studi kandungan logam berat pb, cu, cd, cr pada kerang simping (amusium pleuronectes), air dan sedimen di Perairan Wedung, Demak serta analisis maximum tolerable intake pada manusia. *Diponegoro Journal of Marine Research*, *1*(2), 35–44. <https://doi.org/10.14710/jmr.v1i2.2017>
- Babakhani, A., & Sartaj, M. (2020). Removal of Cadmium (II) from aqueous solution using tripolyphosphate cross-linked chitosan. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *8*(4), 103842. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103842>
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). SNI 7387:2009. Batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan. *Batas Maksimum Cemaran Logam Berat Dalam Pangan*, 17. https://sertifikasibbia.com/upload/logam_berat.pdf
- Barus. (2017). Analisis kandungan logam berat kadmium (cd) dan merkuri (hg) pada air dan sedimen di perairan muara sungai banyuasin. *Maspari Journal*, *9*(1), 69–76.
- Boamah, P. O., Huang, Y., Hua, M., Zhang, Q., Liu, Y., Onumah, J., Wang, W., & Song, Y. (2015). Removal of cadmium from aqueous solution using low molecular weight chitosan derivative. *Carbohydrate Polymers*, *122*, 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.01.004>
- Buzea, C., Pacheco, I. I., & Robbie, K. (2007). Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases*, *2*(4), 17–71. <https://doi.org/10.1116/1.2815690>
- Cahyono, E. (2018). Karakteristik kitosan dari limbah cangkang udang windu (Panaeus monodon). *Akuatika Indonesia*, *3*(2), 96. <https://doi.org/10.24198/jaki.v3i2.23395>
- Chen, L., Wu, P., Chen, M., Lai, X., Ahmed, Z., Zhu, N., Dang, Z., Bi, Y., & Liu, T. (2018). Preparation and characterization of the eco-friendly chitosan/vermiculite biocomposite with excellent removal capacity for cadmium and lead. *Applied Clay Science*, *159*(12), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.12.050>
- Citrowati, A.N., Woro, H.S., & Gunanti, M. (2017). Nilai derajat deasetilasi kitosan dari cangkang. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, *6*(2), 1–9.
- Dash, S., Kumar, M., & Pareek, N. (2019). Enhanced antibacterial potential of berberine via synergism with chitosan nanoparticles. *Materials Today: Proceedings*, *31*(2214–7853), 640–645. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.506>

- Deng, F., Luo, X. B., Ding, L., & Luo, S. L. (2018). Application of nanomaterials and nanotechnology in the reutilization of metal ion from wastewater. In *Nanomaterials And Nanotechnology In Reutilization*. Elsevier Inc. 149-178. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814837-2.00005-6>
- Dewi, C.H. (2020). Perbedaan kadar kadmium (cd) dalam darah dan tekanan darah pada pengelas dan non pengelas di pt . X Surabaya the difference between cadmium blood level and blood pressure in welders and non welders at pt . X Surabaya. *Jurnal Wlyata*, **7**(2), 110–123.
- Dheyab, M.A., Abdul Aziz, A., Jameel, M. S., Moradi, K.P., & Mehrdel, B. (2021). Sonochemical-assisted synthesis of highly stable gold nanoparticles catalyst for decoloration of methylene blue dye. *Inorganic Chemistry Communications*, **127**(2), 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.108551>
- Dompeipen, E. J., Kaimudin, M. (2016). Isolasi kitin dan kitosan dari limbah kulit udang isolation. *Majalah BIAM*, **12**(1), 32–39. <http://ejournal.kemenperin.go.id/bpbiam/article/view/2326>
- Dwi H P S, K., Onny, S., & Yusniar, D. (2019). Analisis risiko kesehatan lingkungan pajanan logam berat (pb, cd, as) pada debu di Kecamatan Sluke Kabupaten Rembang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, **7**(1), 381–388.
- Eivazzadeh-keihan, R., Radinekiyan, F., Asgharnasl, S., & Maleki, A. (2020). A natural and eco-friendly magnetic nanobiocomposite based on activated chitosan for heavy metals adsorption and the in-vitro hyperthermia of cancer therapy. *Integrative Medicine Research*, **9**(6), 12244–12259. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.08.096>
- Elystia, S., Zultinlar., & Juniwarnis. (2021). Penyisihan logam cr limbah cair industri elektroplating menggunakan bionanomaterial chitosan limbah cangkang kulit udang. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, **25**(1), 25–32.
- Eshmat, M.E., Gunanti, M., & Boedi, S.R. (2014). Analisis kandungan logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada kerang hijau (*Perna viridis* L.) Di Perairan Ngemboh Kabupaten Gresik Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, **6**(1), 101–108.
- Fajarwati, F. I., Kurniawan, M. A., Fatima, M. N., & Fikrina, R. (2018). Penghilangan zat warna menggunakan kompleks polielektrolit kitosan-alginat. *JPSCR : Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, **3**(1), 36. <https://doi.org/10.20961/jpscr.v3i1.16268>
- Fan, H. L., Zhou, S. F., Jiao, W. Z., Qi, G. S., & Liu, Y. Z. (2017). Removal of heavy metal ions by magnetic chitosan nanoparticles prepared continuously via high-gravity reactive precipitation method. *Carbohydrate Polymers*, **174**, 1192–1200. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.050>
- Fouda-Mbanga, B. G., Prabakaran, E., & Pillay, K. (2021). Carbohydrate biopolymers, lignin based adsorbents for removal of heavy metals (Cd²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺) from wastewater, regeneration and reuse for spent adsorbents including latent fingerprint detection: A review. *Biotechnology Reports*, **30**, 1–16.

- <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00609>
- Ge, H., Hua, T., & Chen, X. (2016). Selective adsorption of lead on grafted and crosslinked chitosan nanoparticles prepared by using Pb²⁺ as template. *Journal of Hazardous Materials*, **308**, 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.01.042>
- Gokila, S., Gomathi, T., Sudha, P. N., & Anil, S. (2017). Removal of the heavy metal ion chromium(VI) using Chitosan and Alginate nanocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*, **104**, 1459–1468. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.117>
- Grenha, A. (2012). Chitosan nanoparticles: A survey of preparation methods. *Journal of Drug Targeting*, **20**(4), 291–300. <https://doi.org/10.3109/1061186X.2011.654121>
- Guan, Z., Guo, Y., Li, S., Feng, S., Deng, Y., Ou, X., Ren, J., Sun, S., & Liang, J. (2020). Decomplexation of heterogeneous catalytic ozonation assisted with heavy metal chelation for advanced treatment of coordination complexes of Ni. *Science of the Total Environment*, **732**, 139223. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139223>
- Hananingtyas, I. (2017). Studi pencemaran kandungan logam berat timbal (pb) dan kadmium (Cd) pada Ikan Tongkol (Euthynnus sp .) di Pantai Utara Jawa. *Biotropic the Jurnal of Tropical Biology*, **1**(2), 41–50.
- Handayani, L., Syahputra, F., & Astuti, Y. (2018). Utilization and characterization of oyster shell as chitosan and nanochitosan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, **21**(4), 224–231. <https://doi.org/10.14710/jksa.21.4.224-231>
- Hariyati, R. T. S. (2010). Mengenal systematic review theory dan studi kasus. *Jurnal Keperawatan Indonesia*, **13**(2), 124–132. <https://doi.org/10.7454/jki.v13i2.242>
- Harmesa, & Cordova, M. R. (2021). A preliminary study on heavy metal pollutants chrome (Cr), cadmium (Cd), and lead (Pb) in sediments and beach morning glory vegetation (*Ipomoea pes-caprae*) from Dasun Estuary, Rembang, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, **162**, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111819>
- Hernayanti, Slamet, S., Sri, L., Lucky, P., & Kamsinah, R. (2019). Efek paparan kadmium (cd) terhadap fungsi ginjal pekerja bengkel las. *Jurnal Kesmas Indonesia*, **11**(1), 283.
- Hosseini, F., Sadighian, S., Hosseini-Monfared, H., & Mahmoodi, N. M. (2016). Dye removal and kinetics of adsorption by magnetic chitosan nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*, **57**(51), 24378–24386. <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1143879>
- Husniati., & Eva, O. (2013). Sintesis nano partikel kitosan dan pengaruhnya terhadap inhibisi bakteri pembusuk jus nenaS. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, **25**(2), 89–95.
- Hussain, M. S., Musharraf, S. G., Bhangar, M. I., & Malik, M. I. (2020). Salicylaldehyde

- derivative of nano-chitosan as an efficient adsorbent for lead(II), copper(II), and cadmium(II) ions. *International Journal of Biological Macromolecules*, **147**, 643–652. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.091>
- Iriana, D. D., Sedjati, S., & Yulianto, B. (2018). Kemampuan Adsorpsi Kitosan Dari Cangkang Udang Terhadap Logam Timbal. *Marine Research*, **7**(4), 303–309. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jmr>
- Irianto, H.E & Ijah, M. (2011). Proses dan aplikasi nanopartikel kitosan. *Squalen*, **6**(1), 1–8.
- Ishak, N.I., & Anwar, D., Furqaan, N. (2020). Risiko logam berat (Hg, Cd, As) pada sedimen laut, ikan, dan kerang terhadap kesehatan masyarakat Pesisir Makassar. *JST Kesehatan*, **16**(1), 90.
- Istarani, F., & Ellina, S. P. (2014). Studi dampak arsen (as) dan kadmium (cd) terhadap penurunan kualitas lingkungan. *Jurnal Teknik Pomits*, **3**(1), 1–6.
- Kawung, N., Rompas, R., Paulus, J., Lasut, M., Mantiri, D., & Rumampuk, N. (2018). Analisis akumulasi kandungan logam kadmium pada akar dan daun mangrove di Perairan Basaan-Belang Kabupaten Minahasa Tenggara dan Likupang Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, **6**(1), 98. <https://doi.org/10.35800/jplt.6.1.2018.20569>
- Kayranli, B. (2021). Cadmium removal mechanisms from aqueous solution by using recycled lignocelluloses. *Alexandria Engineering Journal*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.06.036>
- Khamidah, I. N., Djunaidi, M. C., & Khabibi, K. (2011). Pemanfaatan kitosan termodifikasi asam askorbat sebagai adsorben ion logam kobalt (II) dan Nikel (II). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, **14**(1), 21–25. <https://doi.org/10.14710/jksa.14.1.21-25>
- Komari, N., Irawati, U., & Novita, E. (2012). Kandungan kadmium dan seng pada ikan baung (*Hemibagrus nemurus*) di Perairan Trisakti Banjarmasin Kalimantan Selatan. *Sains Dan Terapan Kimia*, **7**(1), 42–49.
- Kou, S. (Gabriel), Peters, L. M., & Mucalo, M. R. (2021). Chitosan: A review of sources and preparation methods. In *International Journal of Biological Macromolecules*, **169**. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.005>
- Kumar, A., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Cabral-Pinto, M. M. S., Shabnam, A. A., Jigyasu, D. K., Malyan, S. K., Fagodiya, R. K., Khan, S. A., & Yu, Z. G. (2021). Bio-remediation approaches for alleviation of cadmium contamination in natural resources. *Chemosphere*, **268**, 128855. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128855>
- Kumar, D., Gihar, S., Shrivash, M. K., Kumar, P., & Kundu, P. P. (2020). A review on the synthesis of graft copolymers of chitosan and their potential applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, **163**, 2097–2112. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.060>
- Kumar, V., Parihar, R. D., Sharma, A., Bakshi, P., Singh Sidhu, G. P., Bali, A. S.,

- Karaouzas, I., Bhardwaj, R., Thukral, A. K., Gyasi-Agyei, Y., & Rodrigo-Comino, J. (2019). Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere*, **236**, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124364>
- Kurniasari, D., & Atun, S. (2017). Pembuatan dan karakterisasi nanopartikel ekstrak etanol temu kunci (*Boesenbergia pandurata*) pada berbagai variasi komposisi kitosan. *Jurnal Sains Dasar*, **6**(1), 31. <https://doi.org/10.21831/jsd.v6i1.13610>
- Kurniyati, R. (2019). Pengaruh chitosan beads dan chitosan beads sitrat sebagai penurun kadar fosfat dan abs (Alkyl Benzene Sulfonate). *Indonesian Journal of Chemical Science*, **7**(1), 83–90.
- La Ifa, L. I., Artiningsih, A., Julniar, J., & Suhaldin, S. (2018). Pembuatan kitosan dari sisik ikan kakap merah. *Journal Of Chemical Process Engineering*, **3**(1), 43. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v3i1.194>
- Lin, Y., Lu, J., & Wu, J. (2021). Heavy metals pollution and health risk assessment in farmed scallops: Low level of Cd in coastal water could lead to high risk of seafood. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **208**, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111768>
- Liu, L., Luo, X. B., Ding, L., & Luo, S. L. (2018). Application of nanotechnology in the removal of heavy metal from water. In *Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814837-2.00004-4>
- Lembang, M.S., & Mini, L. (2020). Sintesis nano kitosan sebagai filter amonia (nh3) dalam perairan budidaya. *Jurnal Harpodon Borneo*, **13**(2), 48–53.
- Lubis, K. (2015). Metoda-metoda karakteristik nanopartikel perak. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, **21**(79), 50–55.
- M Nitsae, H R L Solle, M. E. S. L. (2018). Preparasi kitosan dari cangkang keong sawah (*Pila Ampullacea*) asal persawahan 'Aerbauk' Desa Oesao, Kabupaten Kupang untuk adsorpsi timbal(II). *Jurnal Mipa*, **41**(2), 96–104.
- Mahdi, S., Sahebi, H., Zandavar, H., & Mirsadeghi, S. (2019). Fabrication of Fe₃O₄ nanoparticles coated by extracted shrimp peels chitosan as sustainable adsorbents for removal of chromium contaminates from wastewater : The design of experiment. *Composites Part B*, **175**(6), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107130>
- Marini, H. dan M. (2011). Konsentrasi timbal dan kadmium pada organ ikan di suaka margasatwa giam siak kecil, Provinsi Riau. *BAWAL*, **3**(6), 397–404.
- Marwah, R. A., Supriharyono., Haeruddin. (2015). Analisis konsentrasi kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada air dan ikan dari perairan Sungai Wakak Kendal. *Diponegoro Journal of Maquares*, **4**(3), 37–41.
- Marzuki, I., Alwi, R. S., Erniati., Mudyawati., Sinardi., & Iryani, A. S. (2019). Chitosan performance of shrimp shells in the biosorption ion metal of cadmium, lead and

- nickel based on variations ph interaction. *Advances in Engineering Research*, **165**, 6–11. <https://doi.org/10.2991/icmeme-18.2019.2>
- Mursal, I.L.P. (2018). Karakterisasi Xrd dan SEM pada material nanopartikel serta peran material nanopartikel dalam drug delivery system. *Pharma Xplore : Jurnal Ilmiah Farmasi*, **3**(2), 214–221. <https://doi.org/10.36805/farmasi.v3i2.491>
- Mursida, Tasir, & Sahriawati. (2018). Efektifitas larutan alkali pada proses deasetilasi. *Jphpi*, **21**(2), 356–366.
- Nadia, L. M. H., Suptijah, P., & Ibrahim, B.. (2014). Production and characterization chitosan nano from black tiger shrimp with ionic gelation methods. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, **17**(2), 119–126. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v17i2.8700>
- Nahvi, A., Hashemi, S. A., & Fallahchai, M. M. (2017). Studying the ability to absorb heavymetal of cadmium on the amount of sugar and chlorophyll using seedlings of berry specie (*Morus alba*) in pollution area. *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, **37**(1), 35–37. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2016.08.006>
- Nasution, L. . (2017). Statistik deskriptif. *Jurnal Hikmah*, **14**(1), 49–55. <https://doi.org/10.1021/ja01626a006>
- Ngo, T. M. P., Nguyen, T. H., Dang, T. M. Q., Tran, T. X., & Rachtanapun, P. (2020). Characteristics and antimicrobial properties of active edible films based on pectin and nanochitosan. *International Journal of Molecular Sciences*, **21**(6). <https://doi.org/10.3390/ijms21062224>
- Nugroho, A., & Nanik, D.N. (2011). Sintesis dan karakterisasi membran kitosan untuk aplikasi sensor deteksi logam berat. *Molekul*, **6**(2), 123–136.
- Nuraeni, W., Daruwati, I., W, E. M., & Sriyani, M. E. (2013). Verifikasi kinerja alat Particle Size Analyzer (PSA) Horiba Lb-550 untuk penentuan distribusi ukuran nanopartikel. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir*, 268–269.
- Olivera, S., Muralidhara, H. B., Venkatesh, K., Guna, V. K., Gopalakrishna, K., & Kumar K., Y. (2016). Potential applications of cellulose and chitosan nanoparticles/composites in wastewater treatment: A review. *Carbohydrate Polymers*, **153**, 1–50. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.08.017>
- Pal, P., & Pal, A. (2019). Treatment of real wastewater: Kinetic and thermodynamic aspects of cadmium adsorption onto surfactant-modified chitosan beads. *International Journal of Biological Macromolecules*, **131**, 1092–1100. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.121>
- Pandiyan, J., Mahboob, S., Govindarajan, M., Al-Ghanim, K. A., Ahmed, Z., Al-Mulhm, N., Jagadheesan, R., & Krishnappa, K. (2021). An assessment of level of heavy metals pollution in the water, sediment and aquatic organisms: A perspective of tackling environmental threats for food security. *Saudi Journal of Biological Sciences*, **28**(2), 1218–1225. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.072>
- Pang, Y., Zeng, G., Tang, L., Zhang, Y., Liu, Y., Lei, X., Li, Z., Zhang, J., & Xie, G. (2011). PEI-grafted magnetic porous powder for highly effective adsorption of

- heavy metal ions. *Desalination*, **281**(1), 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.08.001>
- Partogi, M. A., & Purnomo, Wahyu, S. (2014). Distribusi logam berat timbal (pb) dan cadmium (cd) di sedimen, air dan bivalvia di Lingkungan Muara Sungai Wiso Jepara. *Diponegoro Journal of Maquares*, **3**(4), 92–101. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/maquares>
- Pautasso, M. (2013). Ten simple rules for writing a Kajian pustaka. *PLOS Computational Biology*, **9**(7), 1–4. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003149>
- Permanasari, A., Siswaningsih, W., & Wulandari, I. (2010). Uji kinerja adsorben kitosan-bentonit terhadap logam berat. *Jurnal Sains Dan Teknologi Kimia*, **1**(2), 121–134.
- Prambaningrum, W., Khabibi, K., & Djunaidi, M. C. (2009). Adsorpsi Ion Besi(III) dan Kadmium(II) menggunakan gel kitosan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, **12**(2), 47–51. <https://doi.org/10.14710/jksa.12.2.47-51>
- Pratiwi, D. F., Hidayat, D., & Pratama, D. S. (2016). Tingkat pencemaran logam kadmium (cd) dan kobalt (co) pada sedimen di sekitar pesisir bandar lampung metal contamination of cadmium (cd) and cobalt (co) sediment from bandar lampung coastal. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, **1**(01), 61–68.
- Priyadi, S., Darmaji, P., Santoso, U., & Hastuti, P. (2013). Kelasi plumbum (Pb) dan cadmium (Cd) menggunakan asam sitrat. *Agritech*, **33**(4), 407–414.
- Purwanti, A. (2014). Evaluasi proses pengolahan limbah kulit udang. *Jurnal Kimia*, **7**(1), 83–90.
- Putri, A. I., Sundaryono, A., & Candra, I. N. (2018). Karakterisasi nanopartikel kitosan ekstrak daun ubi jalar (Ipomoea batatas L.) menggunakan metode gelasi ionik. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, **2**(2), 203–207.
- Rahaman, H., Ataul, I., Monjurul, I., Aminur, R. (2021). Biodegradable composite adsorbents of modified cellulose and chitosan to remove heavy metal ions from aqueous solution. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, **4**(3), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100119>
- Ramayanti, M. (2020). Sintesis dan karakterisasi magnetit (Fe₃O₄): studi komparasi metode konvensional dan metode sonokimia. *Al Ulum Sains Dan Teknologi*, **6**(1), 26–31.
- Ramdhani, A. Muhammad, A.R., & Abdusy, S. (2014). Writing a Kajian pustaka research paper: A step-by-step approach. *International Journal of Basic and Applied Science*, **3**(1), 47–56.
- Rashki, S., Asgarpour, K., Tarrahimofrad, H., Hashemipour, M., Ebrahimi, M. S., Fathizadeh, H., Khorshidi, A., Khan, H., Marzhooseyni, Z., Salavati-Niasari, M., & Mirzaei, H. (2021). Chitosan-based nanoparticles against bacterial infections. *Carbohydrate Polymers*, **251**(5), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117108>

- Riani, E., Johari, H. S., & Cordova, M. R. (2017). Bioaccumulation of cadmium and lead in prickly pen shell in Seribu Archipelago. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, **20**(1), 131. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v20i1.16500>
- Ribeiro, E. F., de Barros-Alexandrino, T. T., Assis, O. B. G., Junior, A. C., Quiles, A., Hernando, I., & Nicoletti, V. R. (2020). Chitosan and crosslinked chitosan nanoparticles: Synthesis, characterization and their role as Pickering emulsifiers. *Carbohydrate Polymers*, **250**, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116878>
- Rosema, R., Supriyantini, E., & Sedjati, S. (2021). Pemanfaatan kitosan untuk menurunkan kadar logam Pb dalam perairan yang tercemar minyak bumi. *Buletin Oseanografi Marina*, **10**(1), 61–66. <https://doi.org/10.14710/buloma.v10i1.31051>
- Rumengan, I. F. M., Suptijah, P., Salindeho, N., Wullur, S., & Luntungan, A. H. (2018). Nanopartikel kitosan dari sisik ikan : aplikasinya sebagai pengemas produk perikanan. *Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Sam Ratulangi*. 117.
- Sandeep, A., Sangameshwar, K., Mukesh, G., Chandrakant, R., Avinash, D., Ambore, M., & Pharm, M. (2014). A brief overview on chitosan applications. *Indo American Journal of Pharmaceutical Research*, **3**(12), 2231–6876.
- Sanders, D. A. (2020). How to write (and how not to write) a scientific review article. *Clinical Biochemistry*, **81**(4), 65–68. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2020.04.006>
- Santos-Gallego, C. G., & Jialal, I. (2016). Cadmium and atherosclerosis: Heavy metal or singing the blues? *Atherosclerosis*, **249**, 230–232. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2016.01.041>
- Seyedi, S.M., Bagher, A., Mohsen, M., & Naghi, J. (2013). Comparative cadmium adsorption from water by nanochitosan and chitosan. *Int. J. Eng. Innov. Technol.*, **5**(9), 145–148.
- Shajahan, A., Shankar, S., Sathiyaseelan, A., Narayan, K. S., Narayanan, V., Kaviyarasan, V., & Ignacimuthu, S. (2017). Comparative studies of chitosan and its nanoparticles for the adsorption efficiency of various dyes. *International Journal of Biological Macromolecules*, **104**, 1449–1458. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.128>
- Shaker, M. A. (2015). Thermodynamics and kinetics of bivalent cadmium biosorption onto nanoparticles of chitosan-based biopolymers. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **47**, 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.10.010>
- Sharififard, H., shahraki, Z. H., Rezvanpanah, E., & Rad, S. H. (2018). A novel natural chitosan/activated carbon/iron bio-nanocomposite: Sonochemical synthesis, characterization, and application for cadmium removal in batch and continuous adsorption process. *Bioresource Technology*, **270**, 562–569. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.094>
- Sheth, Y., Dharaskar, S., Khalid, M., & Sonawane, S. (2021). An environment friendly approach for heavy metal removal from industrial wastewater using chitosan

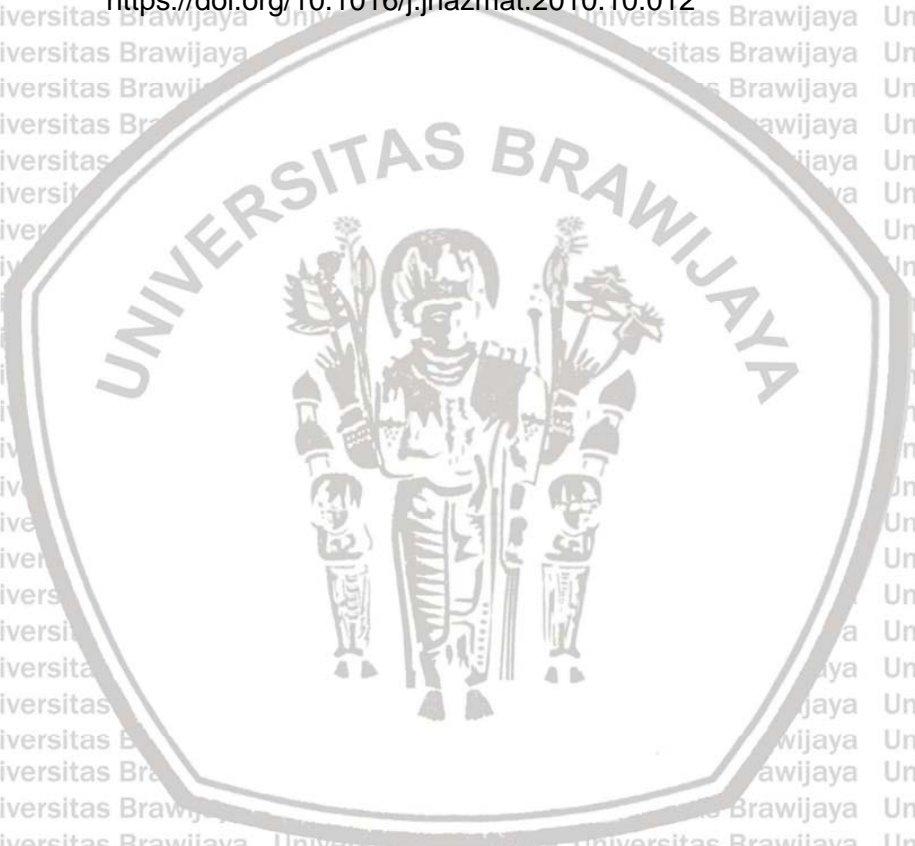
- based biosorbent: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, **43**(11), 1–29. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100951>
- Singh, N. B., Nagpal, G., Agrawal, S., & Rachna. (2018). Water purification by using Adsorbents: A Review. *Environmental Technology and Innovation*, **11**, 187–240. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.05.006>
- Siregar, E. C., Suryati, S., & Hakim, L. (2017). Pengaruh suhu dan waktu reaksi pada pembuatan kitosan dari tulang sotong (*Sepia officinalis*). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, **5**(2), 37. <https://doi.org/10.29103/jtku.v5i2.88>
- Sivakami, M. S., Gomathi, T., Venkatesan, J., Jeong, H. S., Kim, S. K., & Sudha, P. N. (2013). Preparation and characterization of nano chitosan for treatment wastewaters. *International Journal of Biological Macromolecules*, **57**, 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.03.005>
- Suptijah, P., Agoes M., & Jacob, D. R. (2011). Karakterisasi nano kitosan cangkang udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) dengan metode gelasi ionik. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, **14**(2), 78–84. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v14i2.5315>
- Suhani, I., Sahab, S., Srivastava, V., & Singh, R. P. (2021). Impact of cadmium pollution on food safety and human health. *Current Opinion in Toxicology*, **27**, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.04.004>
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimiyati, A. (2017). Studi scanning electron microscopy (sem) untuk karakterisasi proses oksidasi paduan zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, **9**(1), 44. <https://doi.org/10.17146/jfn.2015.9.1.3563>
- Sukma, D. H., Riani, E., & Pakpahan, E. N. (2018). Pemanfaatan kitosan sebagai adsorben sianida pada limbah pengolahan bijih emas. *Jphpi*, **21**, 460–470.
- Supriyantini, E., Yulianto, B., Ridlo, A., Sedjati, S., & Nainggolan, A. C. (2018). Pemanfaatan chitosan dari limbah cangkang rajungan (*portunus pelagicus*) sebagai adsorben logam timbal (Pb). *Jurnal Kelautan Tropis*, **21**(1), 23. <https://doi.org/10.14710/jkt.v21i1.2399>
- Susilowati, E., Mahatmanti, F. W., & Haryani, S. (2018). Sintesis kitosan-silika bead sebagai pengadsorpsi ion logam Pb (II) pada limbah cair batik. *Indonesian Journal of Chemical Science*. **7**(2), 1-9
- Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini, H. A. (2011). Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif. *Info Teknik*, **12**(1), 11–20.
- Tahoon, M. A., Siddeeg, S. M., Alsaïari, N. S., Mnif, W., & Ben Rebah, F. (2020). Effective heavy metals removal fromwater using nanomaterials: A review. *Processes*, **8**(6), 1–24. <https://doi.org/10.3390/PR8060645>
- Talu'mu, M. (2011a). Sintesis nanopartikel kitosan dengan metode sonokimia, gelasi ionotropik, dan kompleks polielektrolit. *Jurnal Progres Kimia Sains*, **1**(2), 130–137.

- Tobing, M. T. L., Prasetya, N.B.A., & Khabibi (2011). Peningkatan Derajat Deasetilasi Kitosan dari Cangkang Rajungan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, **14**(3), 83–88.
- Todingbua', A., Thahir, R., Saka, I., Dase, M., Jurusan, D., Kimia, T., Negeri, P., Pandang, U., & Jurusan, M. (2018). Sintesis dan karakterisasi polielektrolit kompleks (pec) kitosan-pektin sebagai matriks film indikator ph. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M)*, 65–70.
- Upadhyay, U., Sreedhar, I., Singh, S. A., Patel, C. M., & Anitha, K. L. (2021). Recent advances in heavy metal removal by chitosan based adsorbents. *Carbohydrate Polymers*, **251**(8), 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117000>
- Vakili, M., Deng, S., Cagnetta, G., Wang, W., Meng, P., Liu, D., & Yu, G. (2019). Regeneration of chitosan-based adsorbents used in heavy metal adsorption: A review. *Separation and Purification Technology*, **224**(2), 373–387. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.05.040>
- Victor M, S., Andhika, B., & Syauqiah, I. (2016). Pemanfaatan kitosan dari cangkang bekicot (*achatina fulica*) sebagai adsorben logam berat seng (zn). *Jurnal Konversi*, **5**(1), 24–29.
- Vilela, P. B., Matias, C. A., Dalalibera, A., Becegato, V. A., & Paulino, A.T. (2019). Polyacrylic acid-based and chitosan-based hydrogels for adsorption of cadmium: Equilibrium isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **7**(5), 103327. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103327>
- Wardhani, E., Roosmini, D., & Notodarmojo, S. (2017). Pencemaran kadmium di sedimen Waduk Saguling Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, **23**(3), 285. <https://doi.org/10.22146/jmL.18802>
- Winchester, C. L., & Salji, M. (2016). Writing a Kajian pustaka. *Journal of Clinical Urology*, **9**(5), 308–312. <https://doi.org/10.1177/2051415816650133>
- World Health Organization. (2010). Exposure to cadmium: a major public health concern. *Preventing Disease Through Healthy Environments*, 3–6. <http://www.who.int/ipcs/features/cadmium.pdf>
- Yanat, M., & Schroën, K. (2021). Preparation methods and applications of chitosan nanoparticles; with an outlook toward reinforcement of biodegradable packaging. *Reactive and Functional Polymers*, **161**(12), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2021.104849>
- Yang, S., Huang, Z., Li, C., Li, W., Yang, L., & Wu, P. (2020). Individual and simultaneous adsorption of tetracycline and cadmium by dodecyl dimethyl betaine modified vermiculite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **602**(5), 1–35. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125171>
- Yildirim, A., Baran, M. F., & Acay, H. (2020). Kinetic and isotherm investigation into the removal of heavy metals using a fungal-extract-based bio-nanosorbent. *Environmental Technology and Innovation*, **20**, 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101076>

Yudhasasmita, S., Andhika, D. A. N., Nugroho, P., Selatan, J. T., & Utara, S. (2017). Sintesis dan aplikasi nanopartikel kitosan sebagai adsorben cd dan antibakteri koliform. *Jurnal Ilmiah Biologi*, **5**(1), 42–48.

Zhang, L., Zeng, Y., & Cheng, Z. (2016). Removal of heavy metal ions using chitosan and modified chitosan: A review. *Journal of Molecular Liquids*, **214**, 175–191. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.12.013>

Zhou, L., Jin, J., Liu, Z., Liang, X., & Shang, C. (2011). Adsorption of acid dyes from aqueous solutions by the ethylenediamine-modified magnetic chitosan nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*, **185**(2–3), 1045–1052. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.10.012>



LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil pemilihan pustaka sebagai sumber kajian pustaka

No	Tahun terbit	Judul	Penulis
1.	2012	Chitosan nanoparticles: A survey of preparation methods	Grenha, 2012
2.	2016	Potential applications of cellulose and chitosan nanoparticles/composites in wastewater treatment: A review	Olivera <i>et al.</i> , 2016
3.	2016	Removal of heavy metal ions using chitosan and modified chitosan: A review	Zhang <i>et al.</i> , 2016
4.	2018	Application of nanotechnology in the removal of heavy metal from water	Liu <i>et al.</i> , 2018
5.	2018	Application of nanomaterials and nanotechnology in the reutilization of metal ion from wastewater	Deng <i>et al.</i> , 2018
6.	2019	A multi-functional-group modified cellulose for enhanced heavy metal cadmium adsorption: Performance and quantum chemical mechanism	Chen <i>et al.</i> , 2019
7.	2019	Regeneration of chitosan-based adsorbents used in heavy metal adsorption: A review	Vakili <i>et al.</i> , 2019
8.	2020	Effective heavy metals removal from water using nanomaterials: A review	Tahoon <i>et al.</i> , 2020
9.	2020	Adsorbent minimisation in a two-stage batch adsorber for cadmium removal	Alyasi <i>et al.</i> , 2020
10.	2020	Chitosan and crosslinked chitosan nanoparticles: Synthesis, characterization and their role as pickering emulsifiers	Ribeiro <i>et al.</i> , 2020
11.	2020	Toxic heavy metal cadmium removal using chitosan and polypropylene based fiber composite	Alaswad <i>et al.</i> , 2020
12.	2020	Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans	Briffa <i>et al.</i> , 2020
13.	2021	A preliminary study on heavy metal pollutants chrome (Cr), cadmium (Cd), and lead (Pb) in sediments and beach morning glory vegetation (<i>Ipomoea pes-caprae</i>) from Dasun Estuary, Rembang, Indonesia	Harmesa <i>et al.</i> , 2021
14.	2021	Recent advances in heavy metal removal by chitosan-based adsorbents	Upadhyay <i>et al.</i> , 2021
15.	2021	Carbohydrate biopolymers, lignin-based adsorbents for removal of heavy metals (Cd ²⁺ , Pb ²⁺ , Zn ²⁺) from wastewater, regeneration and reuse for spent adsorbents including latent fingerprint detection: A review	Mbanga <i>et al.</i> , 2021
16.	2020	Novel Model Analysis for Multimechanistic Adsorption Processes: Case Study: Cadmium on Nanochitosan	Alyasi <i>et al.</i> , 2020

Lampiran 2. Kerangka Review/Outline

Judul: **Aplikasi Nanopartikel kitosan Sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium (Cd)**

1. Latar Belakang

- Masalah pencemaran dan toksisitas logam berat kadmium
- Metode adsorpsi logam berat
- Potensi kitosan dan nanopartikel kitosan sebagai adsorben

2. Tujuan Review

Membandingkan beberapa pustaka dari penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penggunaan aplikasi nanopartikel kitosan sebagai adsorben logam berat kadmium (Cd).

3. Metode Review

Metode *review* studi pustaka atau pengumpulan data sekunder dari hasil penelitian sebelumnya dari situs penyedia informasi ilmiah seperti Google Books, Google Scholar, Researchgate dan Science Direct.

4. Hasil Review

Bahasan yang akan ditulis pada bab hasil antara lain adalah sebagai berikut:

- Pengertian, toksisitas dan kasus cemaran logam berat kadmium (Cd)
- Pengertian dan faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi
- Pengertian, sifat, karakterisasi dan potensi kitosan dan nanopartikel kitosan sebagai adsorben kadmium (Cd).
- Mekanisme adsorpsi
- Kapasitas adsorpsi logam berat kadmium menggunakan nanopartikel kitosan

Lampiran 3. Proses pembuatan kitosan

No	Sampel	Proses	Keterangan proses	Tujuan	Pustaka
1.	Cangkang udang	<ul style="list-style-type: none"> - Demineralisasi - Deproteinasi - Deasetilasi - Penetralkan pH 	<ul style="list-style-type: none"> - Melarutkan cangkang udang dalam 1 N HCL (1:15 g/mL) selama 30 menit - Melarutkan cangkang udang dalam 10% NaOH (1:10 g/mL) selama 30 menit sampai 12 jam pada suhu 65-100°C - Melarutkan kitin dalam 40-50% NaOH (1:10 g/mL) selama 30 menit - Mencuci kitosan menggunakan air, disaring dan dikeringkan selama 1 hari pada suhu 60°C 	<ul style="list-style-type: none"> - Menghilangkan mineral pada cangkang udang - Memisahkan protein pada cangkang udang dengan ikatan kitin - Menghilangkan gugus asetil pada kitin - Menetralkan pH 	(Purwanti, 2014)
2.	Cangkang bekicot	<ul style="list-style-type: none"> - Deproteinasi - Demineralisasi - Depigmentasi - Deasetilasi 	<ul style="list-style-type: none"> - Melarutkan sampel dalam 3,5% NaOH (10:1 v/b), diaduk dengan magnetic stirrer selama 2 jam pada suhu 65°C, setelah itu didinginkan, disaring dan dinetralkan dengan akuades lalu dioven pada suhu 85°C selama 2 jam - Melarutkan sampel dalam 1 N HCL (10:1 v/b) selama 30 menit pada suhu 40°C, - Melarutkan sampel pada 30% H₂O₂ (10:1 v/b) lalu dipanaskan pada suhu 50°C selama 1 jam kemudian didinginkan, disaring dan dinetralkan dengan akuades lalu dioven pada suhu 90°C selama 2 jam - Melarutkan sampel pada 50% NaOH (10:1 v/b) selama 2 jam pada suhu 95°C, didinginkan, disaring dan dinetralkan dengan akuades lalu dioven pada suhu 90°C selama 3 kali 8 jam 	<ul style="list-style-type: none"> - Mengurangi kadar protein pada sampel - Menghilangkan mineral pada sampel - Menghilangkan pigmen pada sampel - Menghilangkan gugus asetil pada kitin 	(Victor Met al., 2016a)

No	Sampel	Proses	Keterangan proses	Tujuan	Pustaka
3.	Tulang sotong	<ul style="list-style-type: none"> - Deproteinasi - Demineralisasi - Deasetilasi 	<ul style="list-style-type: none"> - Melarutkan sampel dengan 4% NaOH pada suhu 80°C - Melarutkan sampel dengan 1M HCL (1:15 b/v) selama 2 jam - Mereaksikan hasil demineralisasi dengan 50% NaOH (1:10 b/v) selama 40-70 menit pada suhu 70-100°C, lalu dicuci dan dikeringkan 	<ul style="list-style-type: none"> - Memutuskan ikatan antara kitin dengan protein - Menghilangkan mineral pada bahan baku - Menghilangkan gugus asetil pada kitin menjadi gugus amina pada kitosan 	(Siregar <i>et al.</i> , 2017)
4.	Cangkang udang dan kepiting	<ul style="list-style-type: none"> - Demineralisasi - Deproteinasi - Deasetilasi 	<ul style="list-style-type: none"> - Melarutkan sampel dengan 10% HCL selama 2-3 jam - Melarutkan sampel dengan 10% NaOH selama 0,5 sampai 12 jam pada suhu 65-100°C - Melarutkan sampel dengan NaOH 40-50% 	<ul style="list-style-type: none"> - Menghilangkan mineral pada sampel - Menghilangkan protein dan komponen organik lain selain kitin pada sampel - Mengubah kitin menjadi kitosan 	(Kou <i>et al.</i> , 2021)
5.	Sisik ikan kakap	<ul style="list-style-type: none"> - Deproteinasi - Demineralisasi - Deasetilasi 	<ul style="list-style-type: none"> - Melarutkan sampel dengan 3,5% NaOH (1:10 g/mL), diaduk selama 2 jam pada suhu 65°C lalu disaring dan dinetralkan dengan akuades - Melarutkan endapan hasil deproteinasi dengan 1 N HCL (1:15 g/mL) selama 30 menit, lalu disaring, dinetralkan dengan akuades dan dikeringkan - Melarutkan kitin dalam 40-60% NaOH (1:10 g/mL) selama 1 jam pada suhu 121°C lalu disaring, dinetralkan dan dikeringkan 	<ul style="list-style-type: none"> - Menghilangkan protein pada sampel - Menghilangkan mineral pada sampel - Menghilangkan gugus asetil pada kitin 	(La Ifa <i>et al.</i> , 2018)

Lampiran 4. Sintesis nanopartikel kitosan menggunakan metode gelasi ionik

No.	Cross-linker	Proses	Ukuran Partikel (nm)	Pustaka
1.	NaTPP (natrium tripolifosfat)	<ul style="list-style-type: none"> - Melarutkan 0,2% kitosan dalam asam asetat (larutan kitosan) - Menambahkan 1% NaTPP pada larutan kitosan (1:3) dengan kecepatan pengadukan 900 rpm - Melakukan pengadukan selama 1 jam 	774,3	(Arsyi <i>et al.</i> , 2018)
2.	TPP (tripolifosfat)	<ul style="list-style-type: none"> - Melarutkan 0,2 gr kitosan dalam 0,3% asam asetat (100 mL) (larutan kitosan) - Memperkecil ukuran kitosan dengan pengadukan menggunakan <i>magnetic stirrer</i>, ultrasonikator dan homogenizer selama 30 menit - Menambahkan 50 µl twin (0,1%) menggunakan sprayer - Menstabilisasi kitosan dengan 7 mL larutan STPP (0,1%) dan dilakukan pengadukan selama 1 jam kemudian dikeringkan dengan metode spray drying 	400	(Suptijah, <i>et al.</i> , 2011)
3.	NaTPP (natrium tripolifosfat)	<ul style="list-style-type: none"> - Melarutkan kitosan dalam larutan asam (larutan kitosan) untuk menghasilkan gugus amina - Menambahkan 0,1% NaTPP dalam 100 mL larutan kitosan, kemudian dilakukan pengadukan selama 30 menit (3000 rpm) 	302,6	(Dash <i>et al.</i> , 2019)
4.	TPP (tripolifosfat)	<ul style="list-style-type: none"> - Menambahkan tween 80 pada larutan kitosan sebagai pengemulsi untuk menstabilkan partikel kitosan (pemecahan partikel efektif) 	679-910	(Handayani <i>et al.</i> , 2018)

No.	Cross-linker	Proses	Ukuran Partikel (nm)	Pustaka
5.	TPP (tripolifosfat)	<ul style="list-style-type: none"> - Melarutkan 0,2% kitosan dalam 0,3% asam asetat, dilakukan pengadukan selama 1 malam - Dilakukan penyaringan untuk menghilangkan partikel tidak terlarut - Membuat larutan TPP (tripolifosfat) dengan cara melarutkan NaTPP dalam akuades - Melarutkan 10 mL TPP dalam 50 mL larutan kitosan, kemudian dilakukan pengadukan - Dilakukan pengeringan suspensi nanopartikel kitosan 	446	(Lembang & Lestari, 2020)
6.	TPP (tripolifosfat)	<ul style="list-style-type: none"> - Melarutkan 2,5 mg/mL kitosan dalam 0,05% asam asetat dan dilakukan pengadukan selama 1 hari - Mengencerkan 0,5 M NaOH dengan air deionisasi - Melarutkan TPP (tripolifosfat) dalam air deionisasi sampai konsentrasi 0,25 mg/mL - Menambahkan TPP (tripolifosfat) tetes demi tetes (0,3 mL/menit) dalam larutan kitosan dan dilakukan pengadukan magnetik - Suspensi yang dihasilkan dibiarkan menjadi gel 	228,74	(Nadia <i>et al.</i> , 2014)
7.	TPP (tripolifosfat)	<ul style="list-style-type: none"> - Melarutkan 2,5 g kitosan bubuk dalam 1% asam asetat dan dilakukan pengadukan menggunakan <i>magneic stirrer</i> dengan kecepatan pengadukan 1200rpm/menit (larutan kitosan) - Menambahkan larutan TPP dengan kecepatan 10 mL per menit sambil dilakukan pengadukan selama 20 menit (emulsi) - Membekukan campuran larutan kitosan, asam asetat dan TPP pada suhu -4°C dan diendapkan pada suhu kamar (nanopartikel) - Melakukan pengadukan selama 24 jam kemudian disentrifugasi - Nanopartikel kitosan dibilas menggunakan air deionisasi dan dikeringkan semalam 1 hari pada suhu 60°C 	150-250	(Alyasi <i>et al.</i> , 2020)