

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

2.1.1 Air Sumur

Air sumur atau air tanah merupakan salah satu sumber air yang banyak digunakan oleh masyarakat. Air sumur biasanya dimanfaatkan oleh masyarakat untuk kegiatan mandi, mencuci piring dan pakaian atau kegiatan lainnya. Namun, sebagian air sumur tidak layak untuk digunakan karena memiliki kandungan polutan berbahaya seperti logam berat. Polutan pada air sumur disebabkan dari aktivitas kehidupan masyarakat yang menghasilkan limbah (Putra & Mairizki, 2020).

Logam berat yang terdapat pada air sumur diantaranya yaitu Fe dan Mn. Kandungan Fe dan Mn dapat menyebabkan kekeruhan, korosi, kesadahan, serta meninggalkan noda kekuningan pada permukaan benda (Hendrasarie & Prihantini, 2020). Selain itu, air yang memiliki kandungan logam Fe dan Mn menyebabkan air memiliki bau logam, memiliki rasa yang amis, dan berwarna kuning kecoklatan (Harimu *et al.*, 2020).

Air sumur atau air tanah yang terdapat di wilayah Indonesia sebagian besar tidak memenuhi standar mutu air yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017. Standar mutu air untuk keperluan hygiene sanitasi menetapkan kadar besi (Fe) maksimum sebesar 1 mg/L dan kadar mangan (Mn) maksimum sebesar 0,5 mg/L. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan air sumur terlebih dahulu sebelum digunakan (Hendrasarie & Prihantini, 2020).

2.1.2 Besi Terlarut (Fe)

Besi dapat ditemui pada semua lapisan geologis yang ada di bumi. Fe dalam tanah dan batuan ditemukan dalam bentuk ferioksida (Fe_2O_3) serta ferihidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Ferobikarbonat ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$), ferohidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), ferosulfat

(FeSO₄) dan besi organik kompleks adalah bentuk Fe yang ditemukan ketika berada di dalam air (Febrina & Astrid, 2014).

Konsentrasi Fe yang terdapat pada air tanah jauh lebih tinggi daripada konsentrasi Fe yang terdapat pada air permukaan. Kandungan Fe pada air sumur atau air tanah biasanya bersifat terlarut dan berbentuk ferro (Fe²⁺). Adanya kandungan Fe pada air dapat mengendap sehingga menyebabkan air berwarna kuning kecoklatan, memiliki bau logam, dan memiliki rasa yang amis amis. Selain itu, kadar Fe yang tinggi dapat menyebabkan iritasi pada mata dan kulit (Harimu *et al.*, 2020).

2.1.3 Mangan Terlarut (Mn)

Mangan (Mn) merupakan elemen logam yang terdapat pada air sumur dengan sedikit atau tanpa oksigen. Mn di alam dapat ditemui dalam berbagai bentuk senyawa dengan berbagai valensi. Konsentrasi mangan pada air sumur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan air memiliki rasa dan memiliki warna kuning kecoklatan (Febrina & Astrid, 2014).

Endapan warna kuning kecoklatan yang ada pada air sumur dengan kandungan Mn terjadi karena Mn²⁺ berakasi dengan NH₄⁺-N. Logam dalam air juga berfungsi sebagai substrat bakteri sehingga menjadi tercemar. Adanya Mn pada air bersih juga menyebabkan tersumbatnya pipa akibat oksidasi Mn²⁺ menjadi endapan MnO₂ (Du *et al.*, 2017).

2.1.4 Standar Mutu Air

Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi meliputi parameter fisik, biologi, dan kimia yang dapat berupa parameter wajib dan parameter tambahan. Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi tersebut digunakan untuk pemeliharaan kebersihan perorangan seperti mandi dan sikat gigi, serta untuk keperluan cuci bahan pangan, peralatan makan, dan pakaian. Berikut ini merupakan tabel parameter fisik, biologi, dan kimia berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum

Tabel 2.1 Parameter Fisik dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No	Parameter wajib	Unit	Standar Baku Mutu
1	Kekeruhan	NTU	25
2	Warna	TCU	50
3	Zat padat terlarut	Mg/L	1000
4	Suhu	⁰ C	suhu udara \pm 3
5	Rasa	-	tidak berasa
6	Bau	-	tidak berbau

(Sumber: Permenkes Nomor 32 Tahun 2017)

Tabel 2.2 Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No	Parameter wajib	Unit	Standar Baku Mutu
1	Total Coliform	CFU/100mL	50
2	E.Coli	CFU/100mL	0

(Sumber: Permenkes Nomor 32 Tahun 2017)

Tabel 2.3 Parameter Kimia Wajib dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No	Parameter wajib	Unit	Standar Baku Mutu
1	pH	mg/L	6,5-8,5
2	Besi	mg/L	1
3	Fluorida	mg/L	1,5
4	Kesadahan (CaCO ₃)	mg/L	500
5	Mangan	mg/L	0,5
6	Nitrat, sebagai N	mg/L	10

No	Parameter wajib	Unit	Standar Baku Mutu
7	Nitrit, sebagai N	mg/L	1
8	Deterjen	mg/L	0,1
9	Bau	mg/L	0,05
10	Pestisida total	mg/L	0,1

(Sumber: Permenkes Nomor 32 Tahun 2017)

2.1.5 Kulit Udang

Industri pengolahan makanan beku berbahan dasar udang biasanya hanya menggunakan dagingnya sehingga kulit dan bagian kepala udang tidak digunakan. Sehingga menyebabkan limbah kulit udang menumpuk. Limbah kulit udang dapat terurai secara alami namun proses degradasi limbah berlangsung relatif lambat. Hal ini menyebabkan jumlah limbah udang terus terakumulasi dari waktu ke waktu sehingga menjadi masalah lingkungan. Limbah kulit udang yang menumpuk dapat menyebabkan bau, merusak keindahan, serta menimbulkan munculnya serangga patogen seperti lalat sehingga lingkungan menjadi tidak higienis (Tarafdar & Biswas, 2013).

Salah satu cara untuk menanggulangi masalah limbah kulit udang adalah dengan mendaur ulang limbah kulit udang sehingga layak digunakan untuk aplikasi lain secara komersial. Limbah yang berasal dari kulit udang biasanya berkisar antara 35-50% dari berat tubuh udang, terdiri dari kepala, kulit, kaki, serta ekor. Kulit udang terdiri dari kitin, protein, kalsium karbonat, dan lain-lain. Limbah kulit udang yang mengandung kitin setelah melalui beberapa tahapan dapat menghasilkan kitosan (Sofia & Haris, 2010).

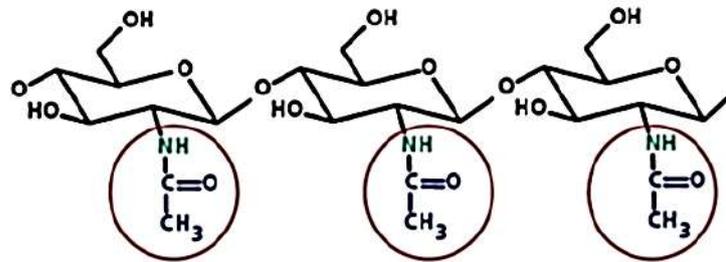
Kandungan protein pada kulit udang berkisar antara 25-40%, kalsium karbonat berkisar antara 45-50%, serta kitin berkisar antara 15-20%. Kandungan kulit udang berbeda tergantung jenis udang dan tempat hidupnya (Puspawati & Simpen, 2010). Sehingga limbah kulit udang dapat menghasilkan kitin melalui proses demineralisasi dan deproteinasi yang dapat digunakan untuk berbagai bidang. Selain itu kitin dapat dimanfaatkan menjadi kitosan melalui proses

deasetilasi. Kitin yang berasal dari kulit udang dapat menghasilkan kitosan sekitar 80% (W. Rahmawati *et al.*, 2012).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Kitin

Kitin tersusun atas monomer β -1,4-N-asetil-glukosamin, kitin merupakan polisakarida (Ifnawati, 2013). Kitin merupakan senyawa yang tidak beracun, bersifat *biodegradable*, dan stabil dalam reaksi kimia (Rokhati, 2012). Struktur kitin sebagai berikut:

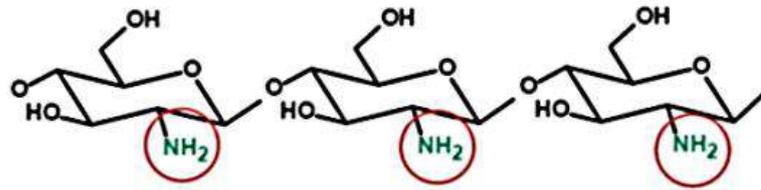


Gambar 2.1 Struktur Kitin (Babakhani & Sartaj, 2020)

Kitin memiliki sifat hidrofobik yang tidak dapat larut di dalam air. Untuk dapat melarutkan kitin dilakukan dengan proses degradasi menggunakan asam yang pekat (Rokhati, 2012). Contoh asam pekat yang dapat digunakan untuk melarutkan kitin diantaranya, yaitu asam sulfat, asam nitrit, asam format anhidrat, dan asam fosfat yang akan mendegradasi monomer dan memutus gugus asetil (Einbu, 2007). Pada umumnya, kitin dapat diperoleh dari golongan crustasea, nematoda, arthropoda, mollusca, dan beberapa serangga. Kitin dari crustasea seperti kulit udang, cangkang kepiting, dan kulit lobster (Gohel *et al.*, 2004).

2.2.2 Kitosan

Kitosan merupakan turunan polimer kitin yang dihasilkan dari proses deasetilasi menggunakan suhu tinggi sehingga terbentuk rantai polimer glukosamin (β -1, 4-2 amino-2-deoksi-D-glukosa), rumus molekulnya yaitu $[C_6H_{11}NO_4]_n$ (Harianingsih, 2010). Struktur kitosan sebagai berikut:



Gambar 2.2 Struktur Kitosan (Babakhani & Sartaj, 2020)

Kitosan berwarna putih dan berbentuk padatan amorf dengan struktur kristal (Rokhati, 2012). Kitosan memerlukan pH asam untuk dapat dilarutkan, seperti dengan menggunakan asam asetat dan asam format encer. Kitin memiliki 2 gugus hidroksil sedangkan kitosan memiliki 1 gugus amino dan 2 gugus hidroksil (Tanjung, 2016). Gugus hidroksil pada kitosan membuat kitosan memiliki kereaktifan kimia tinggi (Jayakumar *et al.*, 2007). Oleh karena itu, kitosan dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang (Meicahayanti *et al.*, 2018)

2.2.3 Pembuatan Kitosan

a. Proses Demineralisasi

Proses demineralisasi memiliki tujuan untuk menghilangkan kandungan garam-garam anorganik dan kandungan mineral dari suatu bahan. Proses demineralisasi pada umumnya menggunakan larutan asam seperti HCl, H₂SO₄, dan (H₂SO₄)₃. Proses demineralisasi dengan menggunakan konsentrasi asam serendah mungkin dan disertai pengadukan akan berlangsung secara sempurna (Tanjung, 2016).

b. Proses Deproteinasi

Proses deproteinasi memiliki tujuan untuk menghilangkan protein dari suatu bahan agar dapat digunakan dan tidak mengalami pembusukan. Adanya kandungan protein pada suatu bahan dapat mempercepat pertumbuhan bakteri. Proses deproteinasi menggunakan larutan yang bersifat basa, umumnya menggunakan larutan NaOH. Larutan basa digunakan agar protein yang terkandung dapat dihancurkan (Tanjung, 2016).

Pembuatan kitosan tanpa menggunakan proses deproteinasi memiliki karakteristik kelarutan, kadar air, derajat deasetilasi, kemampuan mengikat lemak,

serta kapasitas penyerapan warna yang lebih rendah jika dibandingkan dengan menggunakan kitosan yang diproses melalui deproteinasi (No *et al.*, 2000).

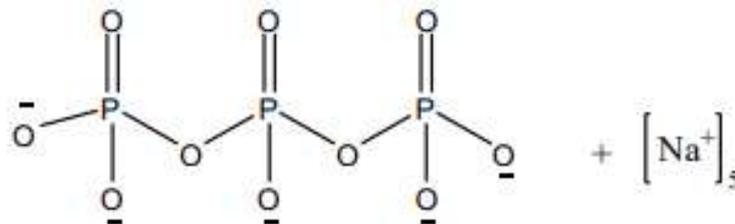
c. Proses Deasetilasi

Proses deasetilasi kitin merupakan proses yang digunakan untuk mengubah gugus asetil (-COCH₃) menjadi gugus amina (-NH₂). Proses deasetilasi dilakukan dengan melarutkan kitin ke dalam larutan NaOH. Ketika mencampur kitin dengan larutan NaOH, terjadi adisi OH⁻ pada amida NHCOCH₃ terjadi eliminasi gugus CH₃COO⁻, kemudian terbentuk gugus NH₂, inilah senyawa kitosan (Tanjung, 2016).

2.2.4 Natrium Tripolifosfat

Tripolifosfat (TPP) merupakan polianion tidak beracun yang dapat berinteraksi dengan kitosan melalui gaya elektrostatik. Tripolifosfat berada dalam bentuk natrium tripolifosfat yang dalam air akan membentuk ion-ionnya (Sureshkumar *et al.*, 2010). Dalam keadaan asam, polianion tripolifosfat yang terbentuk akan berikatan dengan gugus amina dari kitosan sehingga menambah gugus OH. Penambahan gugus OH berfungsi sebagai basa lewis yang dapat meningkatkan kemampuan pengikatan ion logam berat pada proses adsorpsi menggunakan kitosan (Ahmad *et al.*, 2020).

Beberapa agen pengikat silang lainnya yaitu glutaraldehid, epiklorodehid, etilen glikol diglisidil eter dianggap dapat bersifat racun. Oleh karena itu penggunaan tripolifosfat sebagai pengikat silang kitosan adalah alternatif yang cocok digunakan. (Sureshkumar *et al.*, 2010).



Gambar 2.3 Natrium Tripolifosfat (Ahmad *et al.*, 2020)

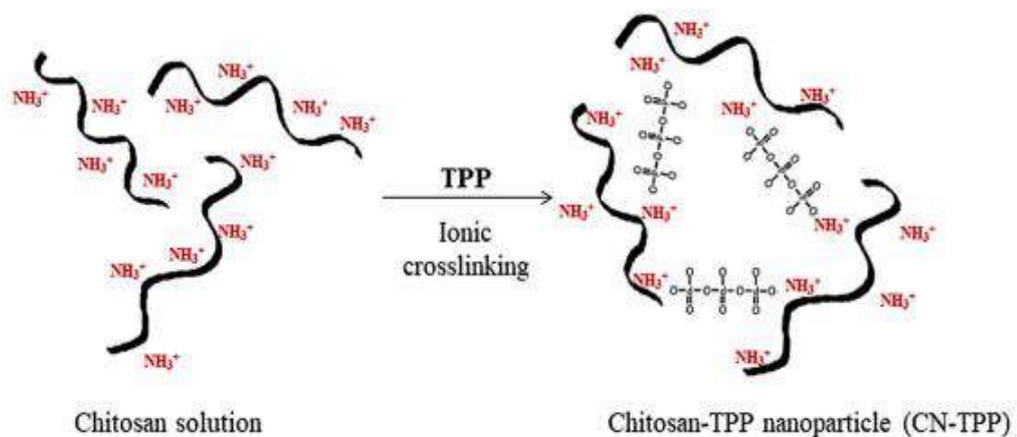
2.2.5 Cross-linking Kitosan

Kitosan adalah bahan polimer yang fleksibel. Salah satu kelemahan dari kitosan adalah kekuatan struktur mekanik dan stabilitas yang rendah. Dalam

keadaan murni, kitosan dapat larut dalam larutan yang bersifat asam, oleh karena itu penggunaan kitosan kurang efektif dalam mengolah larutan dengan pH rendah (Upadhyay *et al.*, 2021).

Sebuah solusi untuk mengurangi kelemahan kitosan yaitu dengan melakukan modifikasi. Salah satunya dengan meningkatkan kekuatan kitosan menggunakan proses ikatan silang (*Cross-linking*) (Upadhyay *et al.*, 2021). *Cross-linking* atau pengikatan silang merupakan modifikasi yang umum digunakan untuk meningkatkan struktur mekanik dan mengurangi kelarutan dari suatu bahan (Mao *et al.*, 2015).

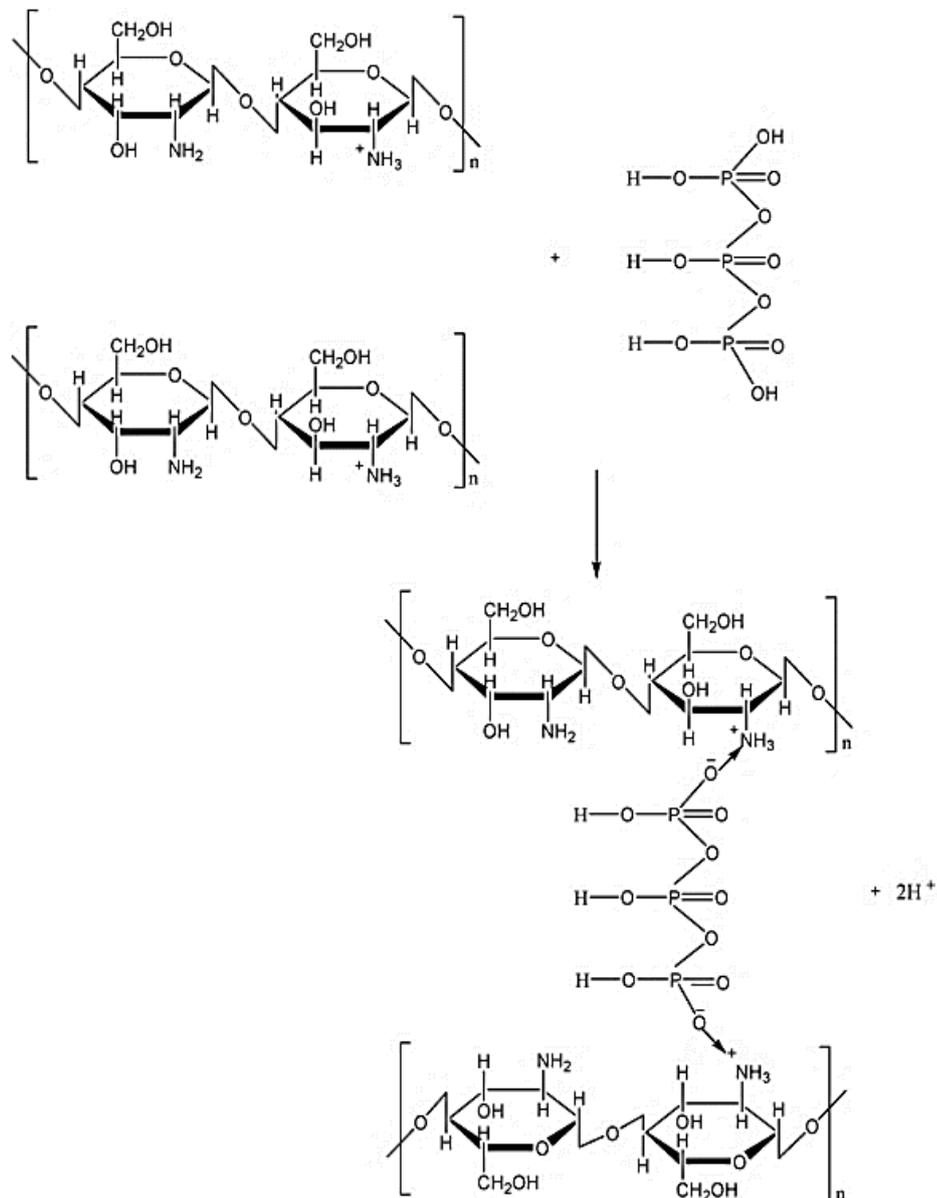
Agen pengikat silang pada rantai kitosan dibedakan menjadi dua yaitu ikatan silang kovalen dan ikatan silang ionik. Agen pengikat silang kovalen yang banyak digunakan yaitu glutaraldehid, glioksal, dan epiklorohidrin. Sedangkan pengikat silang ionik yang banyak digunakan yaitu natrium sitrat dan natrium tripolifosfat. Sifat ikatan silang pada kitosan sangat dipengaruhi oleh agen pengikat silang yang digunakan, dosis, serta kondisi proses pengikatan silang (Józwiak & Filipkowska, 2020).



Gambar 2.4 Deprotonasi gugus amino kitosan dan ikatan silang ionik antara kitosan dengan tripolifosfat (Ribeiro *et al.*, 2020)

Proses deasetilasi kitosan dalam basa kuat dan panas untuk mengubah gugus asetil menjadi gugus amina mengakibatkan kitosan bermuatan positif sehingga larut dalam asam. Dalam larutan asam struktur molekul kitosan memiliki gugus amina kationik ($-\text{NH}_3^+$). Penambahan natrium tripolifosfat ke dalam larutan kitosan yang

bersifat asam menyebabkan gugus amina positif kitosan berikatan dengan gugus fosfat negatif dari natrium tripolifosfat (Ribeiro *et al.*, 2020). Skema ikatan silang kitosan dengan natrium tripolifosfat dapat direpresentasikan pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Skema ikatan silang kitosan dengan natrium tripolifosfat (Sureshkumar *et al.*, 2010)

2.2.6 Mekanisme Adsorpsi Ion Logam oleh Kitosan Tripolifosfat

Kitosan memiliki kemampuan untuk menyerap ion logam karena memiliki nitrogen yang tinggi pada gugus amina ($-\text{NH}_2$). Gugus ($-\text{NH}_2$) akan bertindak

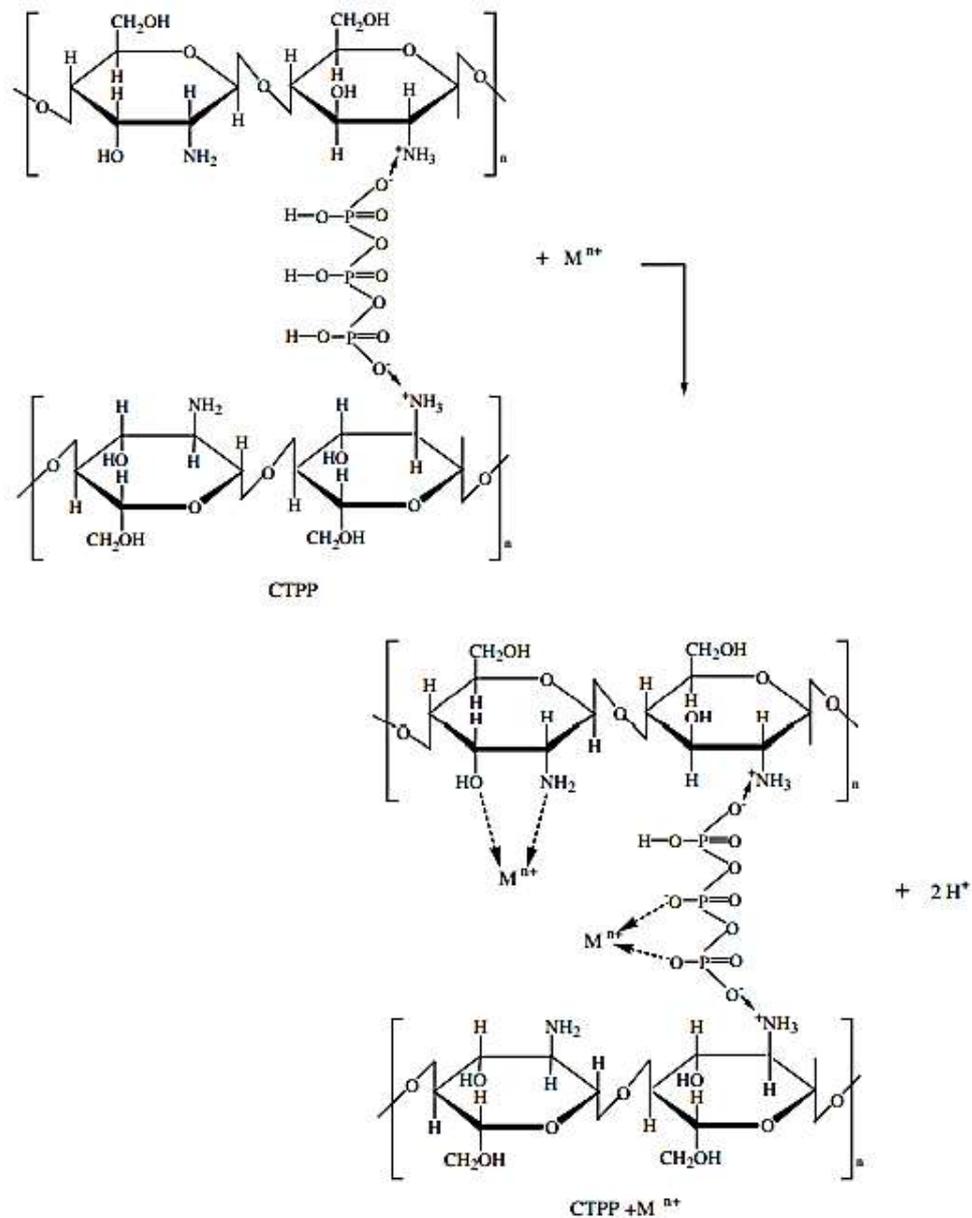
sebagai ligan yang mampu berinteraksi dengan kation logam. Karena jumlah gugus (-NH₂) kitosan lebih banyak daripada kitin, maka laju adsorpsi kitosan lebih tinggi dari kitin. Salah satu kelemahan dari kitosan adalah kekuatan struktur mekanik dan stabilitas yang rendah. Sebuah solusi untuk mengurangi kelemahan yaitu dengan melakukan modifikasi. Salah satunya dengan meningkatkan kekuatan kitosan menggunakan proses ikatan silang (*Cross-linking*) (Upadhyay *et al.*, 2021). Penambahan natrium tripolifosfat ke dalam larutan kitosan yang bersifat asam menyebabkan gugus amina positif kitosan berikatan dengan gugus fosfat negatif dari natrium tripolifosfat (Ribeiro *et al.*, 2020).

Interaksi ion logam dengan kitosan tripolifosfat didominasi oleh adsorpsi dan pertukaran ion. Proses protonasi gugus amina pada kitosan-tripolifosfat meningkatkan kapasitas adsorpsi. Tripolifosfat berada dalam bentuk natrium tripolifosfat yang ketika ditambahkan ke dalam air akan membentuk ion-ionnya (Sureshkumar *et al.*, 2010).

Dalam larutan asam struktur molekul kitosan memiliki gugus amina kationik (-NH₃⁺). Dalam keadaan asam, polianion tripolifosfat yang terbentuk akan berikatan dengan gugus amina dari kitosan sehingga meningkatkan jumlah gugus OH. Peningkatan jumlah gugus OH pada kitosan berfungsi sebagai basa lewis yang dapat meningkatkan kemampuan pengikatan ion logam berat pada proses adsorpsi menggunakan kitosan (Ahmad *et al.*, 2020)

Adanya ikat silang antara muatan positif dari kitosan dengan muatan negatif dari tripolifosfat, menyebabkan semakin banyak terbentuknya gugus aktif dalam kitosan-tripolifosfat yang meningkatkan kapasitas adsorpsi ion logam. Ion logam akan terprotonasi pada gugus amina kitosan yang sebelumnya telah berikatan dengan natrium tripolifosfat (Mao *et al.*, 2015).

Skema proses mekanisme adsorpsi ion logam menggunakan kitosan *crosslinking* natrium tripolifosfat dapat direpresentasikan pada gambar 2.7. Ion logam akan berikatan dengan gugus (-NH₂) dan gugus OH akan bertindak sebagai ligan yang mampu berinteraksi dengan kation logam.



Gambar 2.6 Mekanisme pengikatan adsorpsi ion logam menggunakan Kitosan-Tripolifosfat (Sureshkumar *et al.*, 2010)

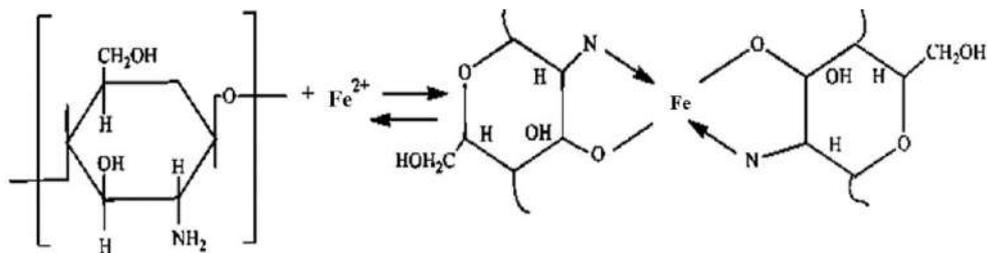
2.2.7 Adsorpsi Fe dan Mn dengan Kitosan

Kemampuan adsorpsi logam besi (Fe) dan mangan (Mn) oleh kitosan dapat terjadi dikarenakan adanya gugus aktif pada kitosan yaitu gugus amina (NH_2) dan gugus hidroksil (OH). Reaksi yang terjadi pada gugus amino (NH_2) kitosan terhadap ion logam Fe adalah sebagai berikut:





Reaksi pengikatan pada gambar dibawah ini menyatakan bahwa pada proses penyisihan logam Fe oleh adsorben kitosan mengalami pembentukan senyawa kompleks atau pengkhelatan, dimana reaksi tersebut yang berperan sebagai ligan adalah kitosan yaitu amina (NH_2) dan yang berperan sebagai ion pusatnya adalah logam Fe.

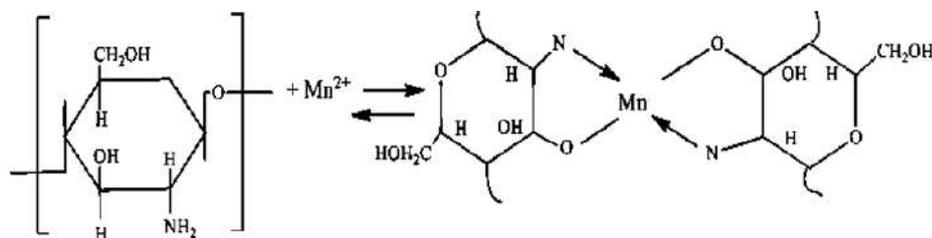


Gambar 2.7 Reaksi Pengikatan Kitosan dengan Ion Logam Fe (Elystia *et al.*, 2022)

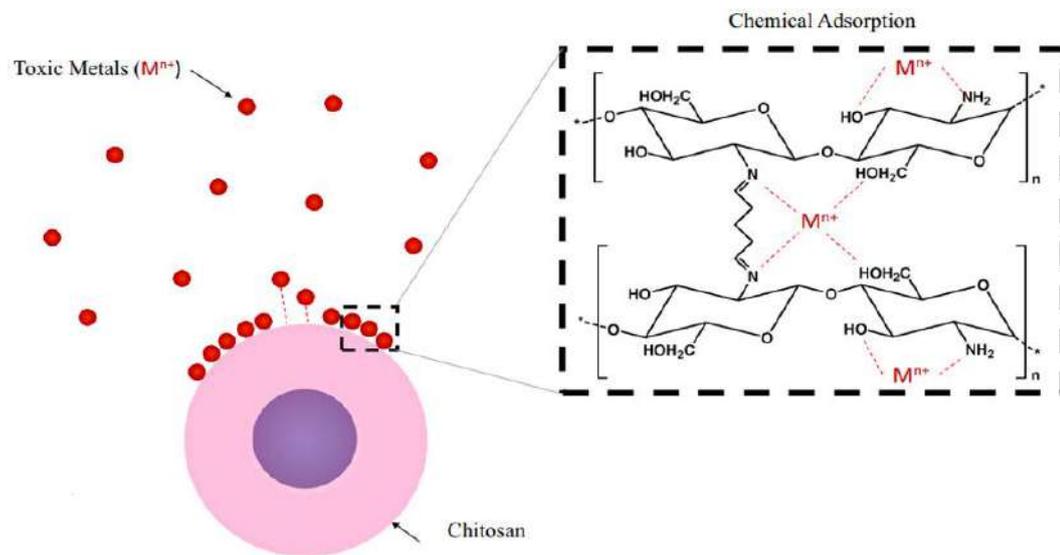
Reaksi yang terjadi pada gugus amino (NH_2) kitosan terhadap ion logam Mn adalah sebagai berikut:



Reaksi pengikatan pada gambar dibawah ini menyatakan bahwa pada proses penyisihan logam Mn oleh adsorben kitosan mengalami pembentukan senyawa kompleks atau pengkhelatan, dimana reaksi tersebut yang berperan sebagai ligan adalah kitosan yaitu amina (NH_2) dan yang berperan sebagai ion pusatnya adalah logam Mn.



Gambar 2.8 Reaksi Pengikatan Kitosan dengan Ion Logam Mn (Penambahan, 2019)



Gambar 2.9 Mekanisme Adsorpsi Ion Logam pada Kitosan (Brião *et al.*, 2020)

Metode adsorpsi umumnya berdasarkan atas interaksi logam dengan gugus fungsional yang ada pada permukaan adsorben melalui pembentukan kompleks, dan biasanya terjadi pada permukaan padatan yang kaya akan gugus fungsional. Permukaan dengan gugus fungsional kimia mengakibatkan pengaruh efisiensi adsorptif kitosan yang bertujuan untuk menghilangkan logam beracun yang berbeda-beda (Brião *et al.*, 2020)

2.2.8 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses penyerapan atau penarikan molekul gas atau cairan yang terjadi pada permukaan adsorben (Yun *et al.*, 2001). Adsorbat merupakan materi yang teradsorpsi, sedangkan adsorben merupakan materi pengadsorpsi. Proses adsorpsi terjadi karena adanya gaya tarik-menarik antara adsorben dengan adsorbat. Gaya tarik-menarik tersebut yaitu gaya fisika yang menghasilkan adsorpsi fisika (*physisorption*), serta gaya kimia yang menghasilkan adsorpsi kimia (*chemisorption*). Adsorpsi fisika disebabkan akibat adanya gaya Van der Waals. (Wulandari & Utami, 2017).

Gaya Van der Waals yang terjadi pada adsorpsi fisika bersifat bolak-balik (*reversible*). Permukaan adsorben akan menyerap zat terlarut (*solute*) apabila gaya tarik-menarik solute dan solvent lebih kecil daripada gaya tarik-menarik solute

dengan adsorben. Karbon aktif merupakan contoh proses adsorpsi secara fisik. Sedangkan adsorpsi kimia disebabkan dengan melibatkan pembentukan ikatan kimia. Adsorpsi kimia menghasilkan ikatan yang terjadi antara adsorben dan adsorbat karena terjadi penggunaan elektron secara bersamaan (Alam, 2017).

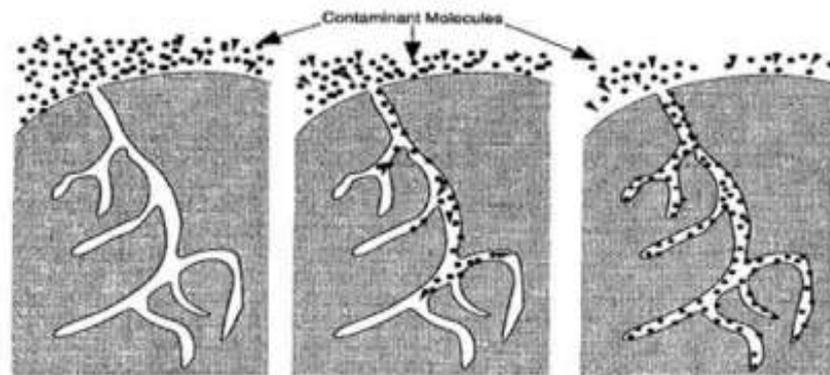
Berikut merupakan perbedaan adsorpsi secara fisika dan adsorpsi secara kimia (Alam, 2017):

Tabel 2.4 Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia

Parameter	Adsorpsi Kimia	Adsorpsi Fisika
Gaya	Ikatan kimia	Van der Walls
Entalpi	40-200 kJ/mol	<40 kJ/mol
Struktur	Monolayer	Multilayer
Laju reaksi	Lambat	Cepat
Energi aktivasi	Tinggi	Rendah
Adsorpsi dan Desorpsi	Tidak dapat berbalik	Dapat berbalik

(Sumber: Alam, 2017)

Mekanisme proses adsorpsi adsorbat pada permukaan adsorben dapat digambarkan sebagai berikut (Abdelrasool, 1992):



Gambar 2.10 Mekanisme Adsorpsi pada Permukaan Adsorben

(Reynold dan Richard, 1996)

1. Bulk Transport

Pada fase ini terjadi perpindahan zat terlarut (adsorbat) menuju ke sekeliling permukaan partikel adsorben. Kemudian terjadi proses difusi zat terlarut (adsorbat) sehingga terbentuk lapisan film pada permukaan partikel adsorben

2. *IntraparticleTransport*

Pada fase ini terjadi perpindahan adsorbat dengan cara difusi menuju ke dalam permukaan pori partikel adsorben

3. Adsorpsi zat pada permukaan adsorben

Adsorpsi secara cepat yang terjadi pada zat terlarut dengan sisi aktif.

2.2.9 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Secara umum terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi diantaranya sebagai berikut (Tuas, 2018) :

1. Luas Permukaan

Proses adsorpsi dipengaruhi dengan luas permukaan suatu adsorben. Luas permukaan adsorben sebanding dengan kemampuan adsorpsi yang meningkat. Luas permukaan dari adsorben dapat ditentukan melalui ukuran diameter dan jumlah adsorben.

2. Jenis Adsorbat

Jenis adsorbat mempengaruhi peningkatan polarisabilitas dari suatu adsorbat. Adsorbat dengan polarisabilitas tinggi (polar) biasanya memiliki kemampuan tarik-menarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak membentuk dipol (nonpolar).

3. Konsentrasi Adsorbat

Semakin tinggi konsentrasi adsorben di dalam larutan, maka semakin besar pula jumlah zat yang terakumulasi pada permukaan adsorben. Hal ini dapat mengakibatkan adsorben mudah jenuh

4. Suhu

Peningkatan suhu dapat menurunkan kapasitas adsorpsi dari suatu adsorben. Pemanasan pada adsorben dengan menggunakan suhu yang terlalu tinggi dapat merusak adsorben sehingga menurunkan daya serapnya.

5. Derajat Keasaman (pH)

Kelarutan ion logam dapat dipengaruhi dari pH larutan. Nilai pH optimum proses adsorpsi pada umumnya berbeda-beda. pH optimum adsorpsi dapat diketahui melalui penelitian laboratorium.

6. Waktu Kontak

Kapasitas adsorpsi maksimum dapat ditentukan melalui waktu kontak sehingga didapatkan waktu kesetimbangan. Adsorbat yang teradsorpsi akan semakin banyak sejalan dengan semakin lamanya waktu kontak.

7. Kecepatan Pengadukan

Kecepatan pengadukan dapat mempengaruhi kecepatan waktu kontak dari adsorben dan adsorbat. Pengadukan yang berlangsung dengan rendah menyebabkan proses adsorpsi berjalan lambat, namun pengadukan dengan kecepatan tinggi akan menyebabkan kerusakan struktur dari adsorben sehingga adsorpsi tidak dapat berjalan dengan optimal

2.2.10 Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi dapat menggunakan beberapa metode diantaranya adsorpsi dengan sistem batch dan sistem kontinyu. Adsorpsi secara batch merupakan proses pencampuran antara adsorben dengan adsorbat secara agitasi pada skala laboratorium. Adsorben dicampurkan dengan larutan dan dilakukan pengamatan pada waktu yang ditentukan (Putri *et al.*, 2019).

Sedangkan adsorpsi menggunakan sistem kolom memiliki prinsip seperti sistem filtrasi. Pada proses adsorpsi dengan menggunakan kolom, adsorben dikontakkan dengan larutan kemudian dilakukan pengamatan sampai kondisi adsorben jenuh. Adsorpsi secara kontinyu dapat dipengaruhi oleh ukuran kolom. Sistem adsorpsi kolom kontinyu lebih menguntungkan dibandingkan dengan sistem sistem adsorpsi batch karena memiliki kapasitas yang besar sehingga dapat diterapkan dalam proses pengolahan air (Putri *et al.*, 2019).

2.2.11 Pemodelan Thomas

Metode ini dikembangkan oleh Thomas (1984) dengan menggunakan persamaan kinetik yang merupakan pengembangan dari persamaan yang diperkenalkan oleh Bohart-Adam (1920). Persamaan Thomas merupakan penurunan dari rumus Adam dan Bohart. Berikut adalah rumus Thomas untuk kolom adsorpsi:

$$\ln \left[\frac{C_0}{C_t} - 1 \right] = \frac{K_{th} q_0 x}{Q} - K_{th} C_0 t$$

Keterangan:

C_o = Konsentrasi influent (mg/L)

C_t = Konsentrasi efluent (mg/L)

K_{Th} = Konstanta kecepatan adsorpsi (L/mg/menit)

X = Massa adsorben (gr)

q_o = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

Q = Laju alir air (L/menit)

t = Waktu sampling (menit)

2.2.12 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Gambar karakterisasi SEM digunakan untuk menjelaskan pori-pori dan ukuran partikel untuk studi adsorpsi. Oleh karena itu, analisis dengan menggunakan SEM penting untuk karakterisasi adsorpsi (Buvaneswari & Singanan, 2020). *Scanning Electron Microscope (SEM)* merupakan mikroskop elektron yang menggambarkan spesimen dalam scan pola raster dengan cara memindai specimen menggunakan sinar elektron. Resolusi yang dimiliki oleh elektron lebih tinggi daripada cahaya. Elektron dapat mencapai resolusi hingga 0,1-0,2 nm, sedangkan cahaya hanya mampu mencapai 200 nm. Prinsip kerja SEM adalah sebagai berikut (Wijayanto & Bayuseno, 2014):

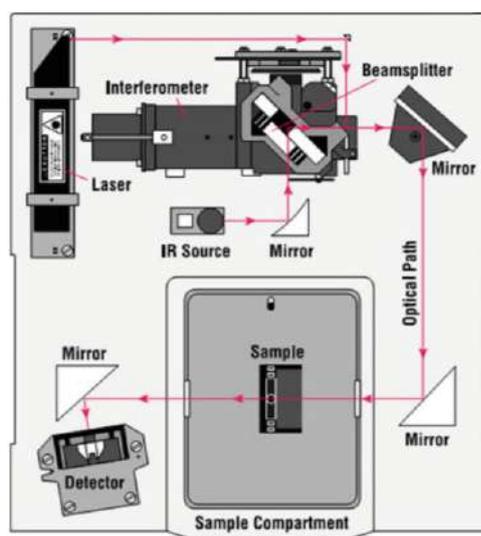
1. Pistol elektron menghasilkan seberkas elektron dan dipercepat melalui anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron ke arah sampel
3. Sinar elektron terfokus memindai seluruh sampel dengan dikendalikan oleh kumparan pemindai
4. Ketika sebuah elektron menumbuk sampel, sampel memancarkan elektron baru, elektron ini kemudian diterima oleh detektor kemudian dikirimkan ke monitor (CRT)

2.2.13 *Fourier Transform Infra-Red (FT-IR)*

Spektrofotometer FT-IR merupakan teknik pengukuran yang bertujuan agar terjadi pengumpulan dari suatu spektrum inframerah. Prinsip kerja dari spektrofotometer FT-IR yaitu mengetahui gugus fungsi dari suatu senyawa dengan absorbansi inframerah yang dilakukan pada senyawa tersebut. Setiap senyawa

memiliki pola absorbansi yang berbeda-beda sehingga setiap senyawa dapat dibedakan dan dilakukan kuantifikasi (Maryam *et al.*, 2019).

Kelebihan yang dimiliki oleh spektrofotometer FT-IR adalah teknik analisis yang cepat dan non destruktif, sensitif, preparasi sampel cukup sederhana, penggunaan reagen kimia sedikit, dan membutuhkan pelarut sedikit (A. Rahmawati *et al.*, 2015).



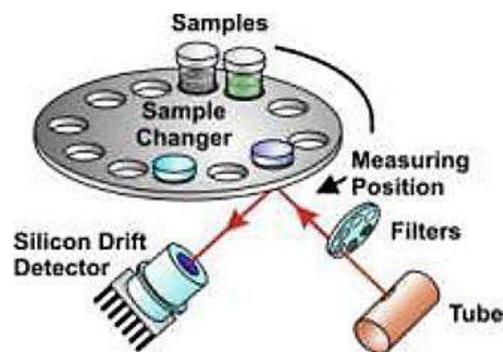
Gambar 2.11 Prinsip Kerja Spektrofotometer FT-IR (Nirmal Ghosh *et al.*, 2017)

Spektrofotometer FT-IR menghasilkan spektrum yang dapat mewakili penyerapan dan transmisi dari suatu molekul. Hal ini membuat spektrofotometer FT-IR berguna untuk berbagai jenis analisis (Nirmal Ghosh *et al.*, 2017). FT-IR menggunakan sistem optic laser yang memiliki fungsi untuk memancarkan radiasi yang dapat terinterferensi dengan IR supaya sinar radiasi dapat diterima detektor. Molekul yang disinari IR kemudian menyerap radiasi IR sehingga terjadi kenaikan amplitudo getaran atom yang berikatan. Molekul mengalami eksitasi dengan menyerap sejumlah energi sehingga menuju tingkat energi vibrasi yang tinggi. Kemudian molekul melepaskan energi dan Kembali ke keadaan dasar, energi yang dilepas ini kemudian melewati detektor dan muncul sebagai spektra IR (Supratman, 2010).

2.2.13 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan analisis yang dilakukan berdasarkan karakteristik sinar-X yang dihasilkan oleh efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi akibat pancaran berkas energi tinggi (sinar gamma dan sinar X) yang mengenai elektron dalam atom sampel. Jika energi berkas sinar tersebut lebih tinggi dibandingkan energi ikat elektron atom bahan pada orbital K, L, maupun M, maka elektron atom bahan akan keluar dari orbital tersebut. Kekosongan elektron pada orbital tersebut kemudian akan terisi oleh elektron pada orbit terluar yang diikuti terlepasnya energi yang berupa sinar-X (Munasir *et al.*, 2012).

Prinsip spektrometri XRF yaitu menggunakan sinar-X yang dihasilkan dari bahan kemudian dideteksi oleh detektor untuk menganalisis kandungan yang terdapat dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan adalah gabungan dari spektrum berenergi tertentu (*discreet*) dan spektrum sinambung. Spektrum *discreet* yang dihasilkan akan bergantung dari perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan (Sari *et al.*, 2018).



Gambar 2.12 Prinsip *X-Ray Fluorescence* (Munasir *et al.*, 2012)

2.3 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut ini:

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tahun Penelitian	Isi Penelitian	Jenis Sumber
1	Yanhao Zhang, Yuchen Wang, Zhibin Zhang, Wanli Cui, Xiangyang Zhang, dan Shengrui Wang	<i>Removing Copper and Cadmium from water and sediment by magnetic microspheres - MnFe₂O₄/chitosan prepared by waste shrimp shells</i>	2020	Kulit udang diubah menjadi kitosan melalui dekalsifikasi, deproteinasi, dekolorisasi, dan deasetilasi. Kitosan dimodifikasi dengan ion Fe-Mn dapat meremoval 52% Cu dan 34% Cd (Zhang <i>et al.</i> , 2021)	Jurnal
2	Dámaris Núñez-Gómez, Caroline Rodrigues a, Flávio Rubens Lapolli, María Ángeles Lobo-Recio	<i>Adsorption Of Heavy Metals from Coal Acid Mine Drainage by Shrimp Shell Waste: Isotherm and Continuous-Flow Studies</i>	2018	Kulit udang dicuci dan dikeringkan dalam oven. Adsorpsi dilakukan menggunakan kolom kontinyu, penurunan ion logam Fe 90% dan Mn 88% dengan model isotherm Freundlich	Jurnal

				(Núñez-Gómez <i>et al.</i> , 2019)	
3	Tomasz Józwiak, dan Urszula Filipkowska	<i>Sorption kinetics and isotherm studies of a Reactive Black 5 dye on chitosan hydrogel beads modified with various ionic and covalent cross-linking agents</i>	2019	Penelitian dengan menggunakan 3 Agen pengikat silang ionik dan 3 agen pengikat silang kovalen pada kitosan. Kemampuan degradasi warna oleh pengikat silang ionik Natrium Tripolifosfat yaitu sebesar 76% (Józwiak & Filipkowska, 2020)	Jurnal
4	Ahmad, Khabibi, Rahmad Nuryanto, & Abdul Haris	Adsorpsi Ion Tembaga (II) Dengan Kitosan dari Kulit Udang Putih yang Termodifikasi Tripolifosfat	2020	Kitosan dibuat dari kulit udang melalui 3 tahap demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi. Modifikasi kitosan dengan tripolifosfat 0gram, 2gram, 4gram. Persen adsorpsi Cu pada pH 3-7 diatas 90 %. Kapasitas	Jurnal

				adsorpsi Cu terbesar yaitu sebesar 99,8%. (Ahmad <i>et al.</i> , 2020)	
5	Farshad Hamidi, Mojtaba Azadi Aghdam, Fatemeh Johar, Mohammad Hadi Mehdinejad & Abbas Norouzian Baghani	<i>Ionic gelation synthesis, characterization and adsorption studies of cross-linked chitosan tripolyphosphate (CS-TPP) nanoparticles for removal of As (V) ions from aqueous solution: kinetic and isotherm studies</i>	2021	Ikatan silang kitosan komersial menggunakan Tripolifosfat dan dilakukan percobaan adsorpsi secara batch dengan kecepatan 150 rpm dan variasi waktu 0-150 menit, didapatkan efisiensi penyisihan tertinggi 75% pada pH 6, removal tertinggi 61% untuk konsentrasi awal As 0,5mg/L, removal tertinggi 57% untuk dosis adsorben 0,5 g / L. konsentrasi kesetimbangan arsenik ditentukan dan dicocokkan dengan isotherm	Jurnal

				Langmuir, Freundlich, dan Temkin (Hamidi <i>et al.</i> , 2021)	
6	Khabibi, Suprihatin & Rum Hastuti	Modifikasi Kitosan Melalui Taut Silang dengan Natrium Tripolifosfat Sebagai Adsorben Ion Mn (II)	2021	Kitosan dilakukan redeasetilasi. Kitosan dilarutkan dalam asam asetat 2% dan diteteskan ke dalam larutan natrium tripolifsfat, selanjutnya dikeringkan ke dalam oven suhu 30 ⁰ C. Adsorpsi kitosan- tripolifosfat pada uji ion Mn (II) 9,99 mg/gram dengan kecepatan pengadukan 150 rpm lebih baik dibandingkan adsorpsi dengan kitosan tanpa modifikasi 7,82 mg/gram (Khabibi <i>et al.</i> , 2021)	Jurnal
7	Mohamed E. Mahmoud	<i>Synthesis and implementation of</i>	2015	Adsorpsi menggunakan	Jurnal

	Maram T.H. Abou Kana Ahmed A. Hendy	<i>nano-chitosan and its acetophenone derivative for enhanced removal of metals</i>		kitosan terikat silang natrium tripolifosfat dengan variasi waktu 1 menit; 10 menit;20 menit; 30 menit; 40 menit; 50 menit; 60 menit menunjukkan removal logam Cu (II), Cd (II), Hg (II), Pb (II) tertinggi pada menit ke 60 (Mahmoud <i>et al.</i> , 2015)	
--	--	---	--	---	--