

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Adsorpsi

Adsorpsi adalah serangkaian proses akumulasi suatu zat (adsorbat) pada permukaan zat lain (adsorben). Proses ini bisa terjadi pada beberapa fase seperti cair-cair, gas-cair, gas-padatan, atau cair-padatan (Cecen & Ozgur, 2011). Adsorpsi adalah fenomena permukaan sehingga kapasitas adsorpsi dari suatu adsorben merupakan fungsi luas permukaan spesifik (Sawyer dkk, 1994). Proses adsorpsi terjadi jika gaya tarik menarik antara zat terlarut dengan permukaan penyerap (Oscik, 1982). Jika gaya tarik menarik antara molekul adsorbat dengan sisi aktif permukaan adsorben lebih kuat dari pada gaya tarik antar molekul adsorbat, maka akan terjadi perpindahan massa adsorbat dari fase gerak (fluida pembawa adsorbat) ke permukaan adsorben (Bird, 1993).

Adsorpsi dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yakni (Sawyer dkk, 1994):

1. Adsorpsi fisik

Adsorpsi fisik disebabkan oleh gaya tarik *Van der Waal's* atau gaya tarik yang lemah antar molekul. Molekul yang teradsorpsi bergerak bebas di sekitar permukaan adsorben dan tidak hanya menetap di satu titik. Apabila gaya tarik molekuler antara zat terlarut dengan adsorben itu lebih besar daripada gaya tarik antara zat terlarut dengan pelarut, maka zat terlarut akan teradsorpsi di permukaan adsorben. Adsorpsi fisik ini biasanya dapat berlangsung balik.

2. Adsorpsi kimiawi

Adsorpsi kimiawi merupakan hasil dari gaya yang lebih besar dibandingkan dengan pembentukan senyawa kimia. Secara normal bahan yang teradsorpsi membentuk lapisan di atas permukaan berupa molekul-molekul yang tidak bebas bergerak dari permukaan satu ke permukaan lainnya. Jika

permukaan tertutup oleh lapisan monomolekuler maka kapasitas adsorben telah habis. Selain itu, adsorpsi kimiawi jarang yang bersifat dapat balik.

3. Adsorpsi pertukaran

Adsorpsi pertukaran adalah adsorpsi yang diperankan oleh tarikan listrik antara adsorbat dan permukaan adsorben. Ion dari suatu substansi banyak berperan dalam adsorpsi ini. Ion akan terkonsentrasi di permukaan adsorben sebagai hasil tarikan elektrostatik ke tempat yang bermuatan berlawanan di permukaan. Pada umumnya, ion dengan muatan yang lebih besar seperti ion valensi tinggi akan tertarik lebih kuat menuju tempat yang bermuatan lebih kecil seperti *ion monovalent*. Ion yang berukuran lebih kecil juga mempunyai tarikan yang lebih besar. Pertukaran ion termasuk dalam kelompok ini.

Untuk penjelasan lebih jelas mengenai perbedaan antara adsorpsi fisika dan kimia dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini (Seader & Henley, 1998):

Tabel 2.1 Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia

Karakteristik	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Gaya yang bekerja	Gaya tarik secara fisika sehingga adsorpsi fisika sering disebut adsorpsi <i>Van der Waals</i>	Gaya tarik atau ikatan kimia sehingga adsorpsi kimia sering disebut adsorpsi teraktifasi
Tebal lapisan	Banyak lapisan (<i>multi layer</i>)	Satu lapisan (<i>single layer</i>)
Energi aktifasi	Kurang dari 1 kkal/g-mol	10-60 kkal/g-mol
Temperatur	Terjadi pada temperatur di bawah titik didih adsorbat	Dapat terjadi pada temperatur tinggi

(Lanjutan)

Karakteristik	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Kemampuan adsorpsi	Lebih bergantung pada adsorbat daripada adsorben	Bergantung pada adsorben dan adsorbat
Jumlah zat teradsorp	Sebanding dengan kenaikan tekanan	Sebanding dengan banyaknya inti aktif adsorben yang dapat bereaksi dengan adsorbat
<i>Driving force</i>	Tidak ada transfer elektron, meskipun mungkin terjadi polarisasi pada sorbat	Ada transfer elektron, terbentuk pada ikatan antara sorbat dan permukaan padatan
Kalor adsorpsi	5 – 10 kkal/g-mol gas	10 – 100 kkal/g-mol gas

(Sumber: Seader & Henley, 1998)

Proses adsorpsi dapat berlangsung melalui tiga tahapan, yaitu; makrotranspor, mikrotranspor, dan sorpsi. Makrotranspor meliputi perpindahan adsorbat melalui air menuju *interfase* cair-padat dengan proses pemanasan dan difusi. Mikrotranspor meliputi difusi adsorbat melalui sistem makropori dan submikropori. *Sorpsi* adalah istilah untuk menjelaskan kontak adsorbat terhadap adsorben (Tchobanoglous, 1991).

Faktor- faktor yang mempengaruhi adsorpsi antara lain:

1. Waktu kontak dan pengadukan

Waktu kontak yang cukup diperlukan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi. Jika fase cair yang berisi adsorben dalam keadaan diam, maka difusi adsorbat melalui permukaan adsorben akan lambat. Maka diperlukan pengadukan untuk mempercepat adsorpsi.

2. Luas permukaan adsorben

Luas permukaan sangat berpengaruh terutama untuk tersedianya tempat adsorpsi. Semakin besar luas permukaan adsorben maka semakin besar pula adsorpsi yang dilakukan. Besarnya ukuran dan pori-pori adsorben

mempengaruhi luas permukaannya. Semakin kecil ukuran adsorben maka luas permukaan akan semakin besar. Semakin besar pori-pori adsorben maka semakin besar pula luas permukaan adsorben. Pori-pori dapat diperbesar dengan aktivasi.

3. Jenis adsorben

Ada dua jenis adsorben yakni adsorben alam dan buatan. Adsorben buatan biasanya lebih sering digunakan daripada adsorben alam karena ukuran pori-pori adsorben buatan dapat dikontrol sehingga daya adsorbsinya lebih baik.

4. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul adsorbat menentukan batas kemampuannya melewati ukuran pori adsorben. Kecepatan adsorpsi menurun seiring dengan kenaikan ukuran partikel.

5. Temperatur

Pada adsorpsi biasanya terjadi secara eksotermis. Kecepatan adsorpsi akan naik pada temperatur yang lebih rendah dan akan turun pada temperatur lebih tinggi. Namun, pada adsorpsi kimia biasanya membutuhkan panas.

6. Konsentrasi adsorbat

Adsorpsi akan meningkat dengan kenaikan konsentrasi adsorbat. Adsorpsi akan tetap jika terjadi kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat yang diserap dengan konsentrasi adsorben yang tersisa dalam larutan.

(Rohmawati & Anto, 2008)

Dalam proses adsorpsi dikenal dengan adanya istilah isoterm adsorpsi yang menggambarkan hubungan antara zat yang teradsorpsi oleh adsorben dengan tekanan atau konsentrasi pada kesetimbangan dan temperatur tetap (Barrow, 1998). Ada beberapa tipe isoterm adsorpsi yang dikembangkan untuk mendeskripsikan interaksi antara adsorben dan adsorbat antara lain:

1. Isoterm Adsorpsi *Freundlich*

Isoterm *freundlich* menggambarkan adsorpsi jenis fisika dimana adsorpsi terjadi pada beberapa lapis dan ikatannya tidak kuat. Isoterm *freundlich* juga mengasumsikan bahwa tempat adsorpsi bersifat heterogen. Cara konvensional untuk menyatakan isoterm *freundlich* diberikan persamaan sebagai berikut, (Sawyer dkk, 1994):

$$Q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: Q_e = jumlah adsorbat pada permukaan (mg/ g)

C_e = konsentrasi *equilibrium* (mg/l)

K_f dan n = konstanta

Konstanta *freundlich* menunjukkan ikatan antara adsorbat dengan adsorben dan diperoleh dengan cara eksperimen. Untuk mendapatkan konstanta K_f dan $1/n$, maka perlu dilakukan linerisasi terhadap persamaan sebagai berikut:

$$\ln(Q_e) = \ln K_f + 1/n \ln C_e \dots\dots\dots (2.2)$$

Dari data percobaan laboratorium yang diperoleh diplot dengan $\ln(Q_e)$ sebagai sumbu y dan $\ln C$ sebagai sumbu x. Grafik yang diperoleh adalah garis linear dengan *slope* = $1/n$ dan *intercept* = $\ln K_f$ (Sawyer dkk, 1994).

2. Isoterm *Langmuir*

Isoterm *langmuir* mendefinisikan bahwa kapasitas adsorben maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat pada permukaan adsorben. Ada empat asumsi dalam isoterm jenis ini, yaitu (Ruthven, 1984):

- a. Molekul diadsorpsi oleh *site* (tempat terjadinya reaksi di permukaan adsorben) yang tetap.
- b. Setiap *site* dapat “memegang” satu molekul adsorbat.
- c. Semua *site* mempunyai energi yang sama.
- d. Tidak ada interaksi antara molekul yang teradsorpsi dengan *site* sekitarnya.

Dalam bentuk yang umum, persamaan isoterm *langmuir* adalah sebagai berikut (Siswoyo, 2014):

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q_e} c_e + \frac{1}{K_L \cdot q_m} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana: C_e = konsentrasi *equilibrium* (mg/ l)

Q_e = adsorbat yang terserap pada saat *equilibrium* (mg/g)

K_L = konstanta Langmuir (l/mg)

Q_m = kapasitas adsorpsi

Pada grafik isotherm langmuir dengan $1/Q_e$ sebagai sumbu y dan $1/C_e$ sebagai sumbu x akan diperoleh persamaan garis ($y = bx+a$) yang akan menentukan nilai Q_m dan K_L , dimana Q_m adalah $1/a$ sedangkan K_L adalah nilai b.

2.2 Adsorben

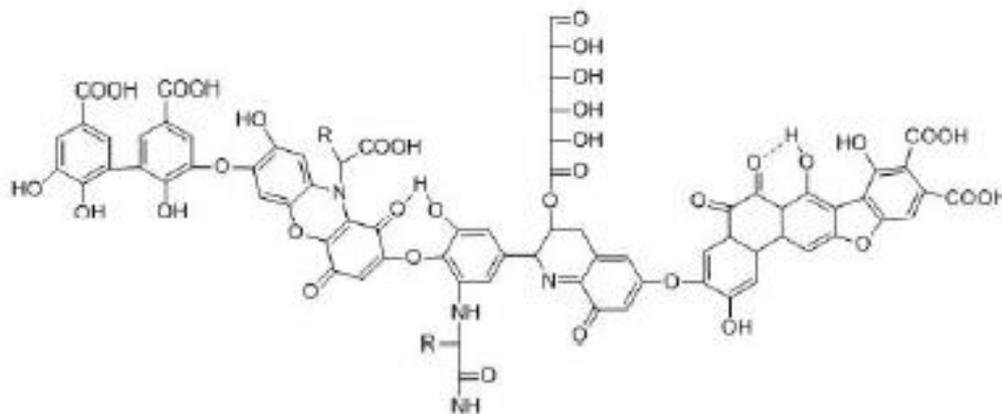
Adsorben merupakan materi yang mampu menyerap materi lain pada permukaannya dan biasanya bersifat tidak mudah menguap (*non-volatile*). Adsorben berbasis tanah biasanya mengandung mineral lempung, partikel organik, ion Fe dan Aluminium hidroksida (Chanarache dkk, 2006). Adsorben dengan kemampuan baik yakni dapat mempertahankan senyawa yang terperangkap selama proses adsorpsi dan dapat melepaskan senyawa dengan cepat saat proses desorpsi berlangsung (Bakirdere, 2013).

2.3 Lumpur Hasil Pengolahan Air

Lumpur hasil pengolahan air merupakan produk buangan yang terbentuk akibat alur proses pengolahan air minum. Di lapangan lumpur ini hanya dibuang dengan cara *landfill* (Zhao dkk, 2011). Material utama yang terkandung dalam lumpur adalah asam humat, butiran amorph dari besi dan alumunium hidroksida. Selain itu, lumur hasil pengolahan air juga mengandung sedimen dan sisa agen koagulan yang digunakan dalam proses pengolahan air minum (Markis & O'Connor, 2007). Lumpur hasil pengolahan air ini memiliki luas permukaan yang cukup besar dan sangat reaktif sehingga sangat berpotensi untuk diaplikasikan sebagai adsorben (Ippolito dkk, 2011).

Menurut (Santoso, 2006) asam humat adalah salah satu dari subtansi humat yang jika permukaannya diselubungi oleh subtansi humat maka dapat meningkatkan kemampuan adsorben untuk menyerap logam berat seperti ion

tembaga dan cadmium dalam air. Dalam senyawa asam humat memiliki kandungan gugus fungsi seperti karboksi, alkohol/fenol hidroksil yang berperan penting dalam proses adsorpsi (Liu & Gonzales, 2000). Struktur molekul dari asam humat dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut (Stevenson, 1982):



Gambar 2.1 Struktur Molekul Asam Humat

(Sumber: Stevenson, 1982)

2.4 Sodium Alginate Gel

Alginate adalah kopolimer bercabang dari β -1, 4 asam manuronat (M) dan α -L asam guluronat (G). *Alginate* terletak di dinding sel dan dalam matriks ganggang, penyemenan sel bersama-sama dan memberikan sifat mekanik tertentu untuk ganggang. Dalam keadaan aslinya, *alginate* ditemukan sebagai garam campuran terlarut dari semua kation yang ditemukan dalam air laut seperti natrium, magnesium, dan kalsium (Masuelli & Christian, 2014).

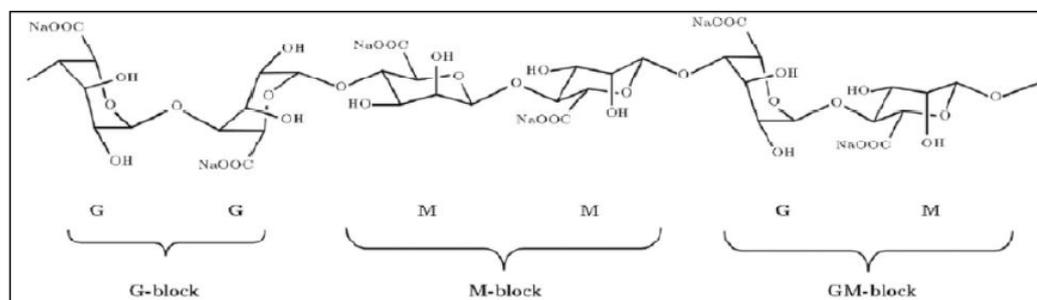
Alginate dapat diubah kedalam bentuk hidrogel dengan melalui hubungan silang (*cross linking*) dengan ion kalsium divalen seperti dalam model “*egg box*” dimana setiap ion logam divalen mengikat dua gugus karboksil yang berdampingan dengan molekul *alginate*. Beberapa kelebihan dari *alginate* gel yaitu memiliki sifat biodegradasi, hidrofilik, mengandung gugus karboksil, dan berasal dari alam.

Kehadiran gugus karboksil dalam struktur *alginate* dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi berbagai ion logam dibandingkan dengan polivinil alkohol dan 2-hidroksietilmetakrilat (Nayak & Lahiri, 2006). Karakteristik beserta struktur kimia *alginate* dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Gambar 2.2 (Kamaruddin dkk, 2014):

Tabel 2.2 Karakteristik *Alginate*

<i>Specification</i>	<i>Content</i>
<i>Assay</i>	91-106%
<i>Moisture</i>	Max 15%
<i>Mattter insoluble in water</i>	Max 1%
<i>Loss of ignition, loi at 1100 °C</i>	Max 25%
<i>Molecular weight</i>	85000
<i>Viscosity, max at 2 g/L (used spindle no.4). mpas</i>	65

(Sumber: Kamaruddin dkk, 2014)



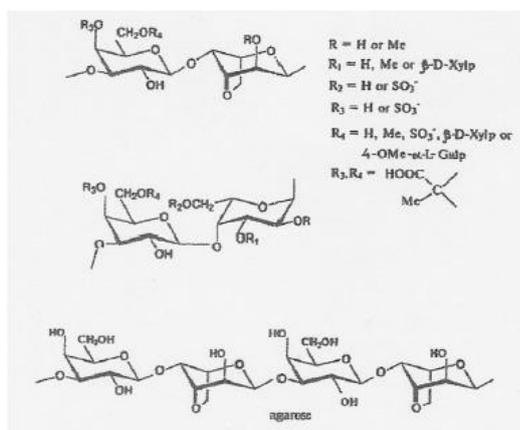
Gambar 2.2 Struktur Kimia *Alginate*

(Sumber: Kamaruddin dkk, 2014)

2.5 Agar

Agar dikenal sebagai zat terlarut dalam air, merupakan agent pembentuk gel terbuat dari ekstrak polisakarida pada *agarophyte* yang termasuk kelompok *Rhodophyte*. Agar biasanya terdiri dari pengulangan unit *agarobiose* antara 3-linked β-D-galactopyranosyl (G) dan 4-link 3,6-anhydro-α-L-galactopyranosyl (LA) unit. Keteraturan ikatan disakarida ini dapat ditandai atau digolongkan

menjadi beberapa jenis berdasarkan substitusi gugus hidroksil dengan hemiesters sulfat dan metil eter dalam berbagai kombinasi serta sedikit dengan piruvat siklik ketal sebagai 4,6-O – [(R) - 1- karboksilmetilen] asetal dan terkadang dengan monosakarida tambahan (Usov, 1998). Ikatan kimia khas pada agar ditunjukkan pada Gambar 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2.3 Ikatan Kimia Agar

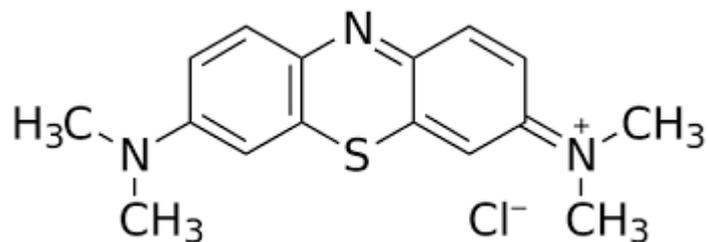
(Sumber: Craige, 1990)

Selain itu pola kelompok substitusi tergantung pada spesies, faktor lingkungan, dan fisiologis serta prosedur yang digunakan dalam ekstraksi dan mengisolasi agar (Craige, 1990).

2.6 Zat Warna Methylene Blue

Methylene Blue (Methylthionine Chloride) termasuk senyawa kimia aromatik heterosiklik dengan rumus molekul ($C_{16}H_{18}N_3SCl, 3H_2O$) dan nama kimia [3, 7-bis (Dimethylamino)-phenaza-thionium chloride Tetramethylthionine chloride] (Wiklund L, 2007; Faber P, 2005). *Methylene Blue (MB)* merupakan pewarna kationik *thiazine* yang berwarna biru pada kondisi teroksidasi (Winklund dkk, 2007).

Reaksi stoikiometri dapat dilihat pada Gambar 2.4 dengan persamaan reaksinya sebagai berikut (Fajarwati dkk, 2016):



Gambar 2.4 Rumus Struktur *Methylene Blue*

(Sumber: Fajarwati dkk, 2016)

2.7 Uji Karakteristik Adsorben

Uji karakteristik adsorben dilakukan guna mengetahui struktur, ukuran pori, dan kandungan unsur kimia. Uji karakteristik adsorben antara lain SEM, BET, FTIR, ICP-AES dan *Element Analysis*.

2.7.1 *Element Analysis*

Element Analysis atau analisis unsur adalah metode utama untuk memperoleh informasi tentang susunan kimia karbon suatu zat (Bandosz, 2009). Teknik ini tidak memberikan rincian tentang *functional groups* tapi memberikan informasi tentang komponen *heteroatom* dan dapat memberikan prakiraan informasi struktur kimia ukuran molekul (Duran-Valle, 2006) dan struktur pori (Pastor-Villegas dkk, 1998). Ada dua jenis analisis unsur yaitu organik dan anorganik. Analisa unsur organik dilakukan dengan pembakaran analisis dan umumnya unsur yang terdeteksi adalah karbon, hydrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen. Analisa unsur anorganik menghasilkan informasi tentang bahan anorganik (kandungan abu dalam karbon, didukung proses katalis) dan dapat dilakukan dengan berbagai teknik seperti X-ray, elektron, atau spektroskopi massa.

2.7.2 FTIR (*Fourier Transform InfraRed*)

Secara garis besar FTIR digunakan sebagai teknik kualitatif untuk analisis struktur kimia diaktifkan karbon dan terkadang digunakan sebagai teknik kuantitatif (Bandosz, 2009). Terdapat dua masalah berhubungan dengan teknik ini yakni daya tembus dan luas puncak dari karbon karena umumnya berasal dari gabungan *functional groups* yang saling berinteraksi dengan tipe sama. Teknik ini dilakukan secara intensif pada bahan karbon saat *Fourier Transform* (FT) diakses (López & Márquez, 2003).

Dengan kata lain, pengukuran FTIR bertujuan untuk mengetahui kandungan gugus fungsi dalam suatu senyawa dengan menggunakan daya tembus sinar inframerah terhadap ikatan gugus fungsi tersebut. Dimana hasil pembacaannya berupa grafik persentase (%) daya serapan suatu gugus fungsi pada panjang gelombang tertentu. Penemuan adanya gugus fungsi tersebut diidentifikasi dari puncak-puncak spesifik pada grafik tersebut yang kemudian direpresentasikan sesuai dengan klasifikasi jenis gugus sesuai dengan pada panjang gelombang. Berikut daftar representasi gugus fungsi yang terdapat dalam pita panjang gelombang inframerah tertera pada Tabel 2.3 (Struart, 2004).

Tabel 2.3 Daftar Representansi Gugus Fungsi Pada Panjang Gelombang Inframerah

Panjang Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi
	<i>Alkanes</i>
2960	<i>Methyl symmetric C-H stretching</i>
2930	<i>Methylene asymmetric C-H stretching</i>
2870	<i>Methyl asymmetric C-H stretching</i>
2850	<i>Methylene symmetric C-H stretching</i>
1470	<i>Methyl asymmetrical C-H bending</i>
1465	<i>Methylene scissoring</i>
1380	<i>Methyl symmetrical C-H bending</i>
1305	<i>Methylene wagging</i>
1300	<i>Methylene twisting</i>
720	<i>Methylene rocking</i>

(Lanjutan)	
Panjang Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi
	<i>Alkenes</i>
3100-3000	=C-H stretching
1680-1600	=C-C stretching
1400	=C-H in-plane bending
1000-600	=C-H out-of-plane bending
	<i>Alkynes</i>
3300-3250	=C-H stretching
2260-2100	C=C stretching
700-600	=C-H bending
	<i>Alcohol and phenols</i>
3600	Alcohol O-H stretching
3550-3500	Phenol O-H stretching
1300-1000	C-O stretching
	<i>Ethers</i>
1100	C-O-C stretching
	<i>Aldehydes and ketones</i>
2900-2700	Aldehyde C-H stretching
1740-1720	Aliphatic aldehyde C=O stretching
1720-1680	Aromatic aldehyde C=O stretching
1700-1680	Aromatic ketone C=O stretching
	<i>Esters</i>
1750-1730	Aliphatic C=O stretching
1730-1705	Aliphatic C=O stretching
1310-1250	Aromatic C-O stretching
1300-1100	Aliphatic C-O stretching
	<i>Carboxylic acids</i>
3300-2500	O-H stretching
1700	C=O stretching
1430	C-O-H in-plane bending
1240	C-O stretching
930	C-O-H out-of-plane bending
	<i>Anhydrides</i>
1840-1800	C=O stretching
1780-1740	C=O stretching
1300-1100	C-O stretching

(Lanjutan)

Panjang Gelombang (cm⁻¹)	Gugus Fungsi
	<i>Amines</i>
3335	<i>N-H stretching (double for primary amines; singlet for secondary amines)</i>
2780	<i>N-CH₂ stretching</i>
1615	<i>NH₂ scissoring, N-H bending</i>
1360-1250	<i>Aromatic C-N stretching</i>
1220-1020	<i>Aliphatic C-N stretching</i>
850-750	<i>NH₂ wagging and twisting</i>
715	<i>N-H wagging</i>
	<i>Amides</i>
3360-3340	<i>Primary amide NH₂ asymmetric stretching</i>
3300-3250	<i>Secondary amide N-H stretching</i>
3190-3170	<i>Primary amide NH₂ symmetric stretching</i>
3100-3060	<i>Secondary amide amide II overtone</i>
1680-1660	<i>Primary amide C=O stretching</i>
1680-1640	<i>Secondary amide C=O stretching</i>
1650-1620	<i>Primary amide NH₂ bending</i>
1560-1530	<i>Secondary amide N-H bending, C-N stretching</i>
750-650	<i>Secondary amide N-H wagging</i>
2260-2240	<i>Aliphatic nitrile C≡N stretching</i>
2240-2220	<i>Aromatic nitrile C≡N stretching</i>
2180-2110	<i>Aliphatic isonitrile -N≡C stretching</i>
2160-2120	<i>Azide N≡N stretching</i>
2130-2100	<i>Aromatic isonitrile -N≡C stretching</i>
1690-1620	<i>Oxime C=N-OH stretching</i>
1680-1650	<i>Nitrile N=O stretching</i>
1660-1620	<i>Nitrate NO₂ asymmetric stretching</i>
1615-1565	<i>Pyride C=N stretching, C=C stretching</i>
1560-1530	<i>Aliphatic nitro compound NO₂ asymmetric stretching</i>
1540-1500	<i>Aromatic nitro compound NO₂ asymmetric stretching</i>
1450-1400	<i>Azo compound N=N stretching</i>
1390-1370	<i>Aliphatic nitro compound NO₂ symmetric stretching</i>
1300-1270	<i>Nitrate NO₂ symmetric stretching</i>
965-930	<i>Oxime N-O stretching</i>

(Lanjutan)	
Panjang Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi
870-840	<i>Nitrate N-O stretching</i>
710-690	<i>Nitrate NO₂ bending</i>
	<i>Halogens</i>
1300-1000	<i>C-F stretching</i>
800-400	<i>C-X stretching (X=F, Cl, Br or I)</i>
	<i>Silicons</i>
3300-3200	<i>B-O-H stretching</i>
2650-2350	<i>B-H stretching</i>
1465-1330	<i>B-N stretching</i>
1380-1310	<i>B-O stretching</i>
1205-1140	<i>B-H bending</i>
980-920	<i>B-H wagging</i>
3700- 3200	<i>Si-OH stretching</i>
2250-2100	<i>Si-H stretching</i>
1280-1250	<i>Si-CH₃ symmetric bending</i>
1430, 1110	<i>Si- C₆H₅ stretching</i>
1130-1000	<i>Si-O-Si asymmetric stretching</i>
1110-1050	<i>Si-O-C stretching</i>
	<i>Phosphorus acids</i>
2425-2325	<i>Phosphorus acid and ester P-H stretching</i>
2320-2270	<i>Phosphine P-H stretching</i>
1090-1080	<i>Phosphine PH₂ bending</i>
990-910	<i>Phosphine P-H wagging</i>
2700-2100	<i>Phosphorous acid and ester O-H stretching</i>
1040-930	<i>Phosphorous ester P-OH stretching</i>
1050-950	<i>Aliphatic asymmetric P-O-C stretching</i>
830-750	<i>Aliphatic symmetric P-O-C stretching</i>
1250-1160	<i>Aromatic P-O stretching</i>
1050-870	<i>Aromatic P-O stretching</i>
1450-1430	<i>Aromatic P-C stretching</i>
1260-1240	<i>Aliphatic P=O stretching</i>
1350-1300	<i>Aromatic P=O stretching</i>
1050-700	<i>P-F stretching</i>
850-500	<i>P=S stretching</i>
600-300	<i>P-Cl stretching</i>

(Lanjutan)

Panjang Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi
500-200	<i>P-Br stretching</i>
500-200	<i>P-S stretching</i>
	<i>Sulfurs</i>
700-600	<i>C-S stretching</i>
550-450	<i>S-S stretching</i>
2500	<i>S-H stretching</i>
1390-1290	<i>SO₂ asymmetric stretching</i>
1190-1120	<i>SO₂ symmetric stretching</i>
1060-1020	<i>S=O stretching</i>

(Sumber: Stuart, 2004)

2.7.3 SEM (*Scanning Electron Microscopes*)

Scanning Electron Microscopes adalah salah satu teknik untuk mengetahui karakteristik dari suatu zat dengan metode X-ray. Pada teknik ini informasi yang didapat berupa gambar seperti peta mengenai komposisi unsur permukaan zat. Teknik ini biasa digunakan untuk mempelajari kandungan dan kemampuan dispersi logam berat pada permukaan karbon (Duran, 2012).

2.7.4 BET (*Brunauer-Emmett-Teller*)

Metode BET banyak digunakan untuk prosedur penentuan permukaan area dan pori dari bahan padatan serbuk. Dalam penentuannya menggunakan persamaan BET. Prinsip metode ini adalah menghitung jumlah gas yang terserap pada permukaan bahan yang akan dikarakterisasi. Gas yang digunakan pada metode ini biasanya adalah nitrogen, argon, dan helium (Greg & Sing, 1982).

Dalam metode ini digunakan persamaan (2.4) sebagai berikut:

$$\frac{1}{W\left(\frac{P}{P_0}\right)-1} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C-1}{W_m C} \left(\frac{P}{P_0}\right) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana W adalah berat dari gas yang teradsorpsi pada tekanan relatif, dan W_m adalah berat adsorbat yang membentuk lapisan tunggal yang menutup permukaan adsorben. Nilai C dalam persamaan konstan dan sangat tergantung pada besarnya

energi teradsorpsi pada lapisan pertama yang terserap dan secara konsisten nilai C mengindikasikan gaya tarik menarik akibat interaksi adsorben dan adsorbat (Wang, 2010).

2.7.5 ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometry*)

Induktif ditambah plasma spektrometri emisi atom (ICP - AES) adalah jenis spektroskopi emisi yang digunakan untuk mengidentifikasi kandungan logam berat pada sampel yang diuji. Prinsip metode ini adalah mengionisasi atom yang ada pada sampel dengan menggunakan *flare*, kemudian atom yang terionisasi akan memancarkan cahaya pada panjang gelombang tertentu. Panjang gelombang tersebut dianalisa menggunakan korelasi konsentrasi intensitas seperti pada hukum *Lambert-Beer* (Melville dkk, 2014)

2.8 Metode Spektrofotometri

Pengujian kemampuan adsorpsi larutan zat warna menggunakan metode spektrofotometri yang mengacu pada SNI 6989.80:2011 mengenai cara uji warna secara spektrofotometri. Prinsip metode ini larutan dengan kandungan MB akan ditentukan secara spektrofotometri dengan panjang gelombang 655 nm. Pengukuran nilai warna sebenarnya (*true color*) berdasarkan hukum *Beers*. Dimana hasil dari pengujian akan dibandingkan dengan kurva kendali (*control chart*) untuk analisis presisi.

2.9 Metode Batch

Batch reaktor merupakan reaktor yang tidak memiliki aliran *inlet* maupun *outlet*. Secara esensial, *batch reactor* hanya berupa tangki dimana terjadi reaksi di dalamnya. Setelah proses dalam *batch* reaktor selesai dilakukan, reaktor dikosongkan dan dapat digunakan untuk proses berikutnya. Pada metode ini, tidak ada aliran masuk maupun keluar sehingga $m_{in} = 0$ dan $m_{out} = 0$ (Mihelcic, 1999). Persentase (%) *removal* MB dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ MB removal} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana: C_o = Konsentrasi awal larutan MB (mg/l)

C_t = Konsentrasi akhir larutan MB (mg/l)

Sedangkan untuk menghitung kapasitas adsorpsi saat *equilibrium* dihitung dari perhitungan berikut:

$$C_e = C_o - C_t \dots\dots\dots (2.6)$$

$$q_e = \frac{C_e \times V}{W} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana: q_e = kapasitas adsorpsi *equilibrium* (mg/g)

C_o = Konsentrasi awal larutan MB (mg/l)

C_t = Konsentrasi akhir larutan MB (mg/l)

C_e = konsentrasi MB saat *equilibrium* (mg/l)

V = volume larutan MB (L)

W = berat adsorben (g)

Sebagai studi pustaka berikut adalah penelitian yang pernah dilakukan terkait dengan adsorpsi zat warna MB dan penggunaan lumpur hasil pengolahan air PDAM untuk adsorben sebagaimana tertera pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Penelitian Adsorpsi Zat Warna MB Yang Pernah Dilakukan

Jenis Adsorben	Ringkasan	Referensi
Enkapsulasi <i>alginate</i> pada karbon <i>nanotube multi-walled</i>	- Aktivasi: kimia (asam nitrit dan asam sulfit). - Waktu pengadukan: 24 – 120 jam. - pH 5,8 – 7.	Fang-Chang Tsai et al, 2013

(Lanjutan)

Jenis Adsorben	Ringkasan	Referensi
<i>Rejected tea</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Volume larutan MB 200 ml - Konsentrasi MB awal 100 mg/l - pH awal 6-7, suhu 30⁰ C, kecepatan pengadukan 130 rpm. - Karakterisasi adsorben; (BET, SEM, FTIR) - Variasi massa (0,05 – 0,5 g), dosis optimum 0,5 g. - Variasi pH 4-8, nilai pH optimum 4. - Variasi konsentrasi (50-500 mg/l), konsentrasi optimum 300 mg/l. - Variasi waktu pengadukan (40 -720 menit), waktu optimum 180 menit. - Model isoterm <i>Langmuir</i>. - Kapasitas adsorpsi (qm) 147 mg/g. 	Nasuha dkk, 2010
Karbon aktif terenkapsulasi alginat	<ul style="list-style-type: none"> - Karbon aktif diaktifasi dengan suhu 600 ⁰C dan direndam dengan NaOH (4 g adsorben + 120 g NaOH dan diencerkan dalam 50 ml aquadest) - Alginat yang digunakan 1% dan CaCl 3% - Initial pH 7 - Variasi konsentrasi 75 dan 1000 mg/L - Variasi massa 1,2,3,4,5,7, dan 10 g - Variasi pH 2-12 - Model isoterm yang cocok adalah isoterm <i>Langmuir</i> 	Hassan, 2013

(Lanjutan)

Jenis Adsorben	Ringkasan	Referensi
Lumpur minyak sawit teraktivasi	<ul style="list-style-type: none"> - Aktivasi, dicuci dengan NaOH 0,1 M (perbandingan 1:1) - Variasi konsentrasi (5, 10, 15, 20, 25, 50, dan 100 mg/l) - Variasi pH (4,7,9,11) - Model isoterm <i>Freundlich</i> - Kapasitas adsorpsi (qm) 66,23 mg/g. 	Gobi, 2011
Nanopartikel <i>zinc oxide</i> yang diperkaya karbon aktif	<ul style="list-style-type: none"> - Volume larutan MB 50 ml - Konsentrasi MB 13 mg/l - pH 7 - Waktu pengadukan 30 menit - Variasi massa adsorben (0,005-0,03 g) - Variasi pH 2-8 	Ghaedi, 2014
Abu terbang (<i>fly ash</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Zat warna teksstil warna biru (Cr, Pb, Cd, Fe, Mg) - Abu terbang (pabrik tekstil PT Jogjatex, Nitikan Yogyakarta) - <i>Fly ash 200 mesh</i> - Aktivasi dgn HCl 1 M selama 48 jam, dinetralkan hingga pH 7, dikeringkan dgn oven 110 °C selama 5 jam. - Variasi massa 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 g. - Volume adsorbat 200 ml - Waktu pengadukan 15, 30, 45, 60, 75 menit. - Variasi suhu 40,50,60,70,80 °C. - Massa optimum 1,5 g - Suhu optimum 60 °C - Persentase penurunan 32,5625%. 	Mufrodi, 2008

(Lanjutan)

Jenis Adsorben	Ringkasan	Referensi
<i>Film of chitosan-carboxymethyl cellulosepolyelectrolyte complex</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Modifikasi chitosan: film PEC. - Aktivasi NaOH 0,2 m selama 12 jam. - Volume adsorbat 30 ml. - Konsentrasi adsorbat 25 ppm. - Waktu pengadukan 30 menit. - Variasi waktu 60, 120, dan 240 menit. - Kapasitas adsorpsi (qm) $8,38 \times 10^{-5}$ mol/g. 	Fajarwati, 2016
Penguraian zat warna <i>remazol navy blue scarlet</i> dengan teknologi AOP	<ul style="list-style-type: none"> - Konsentrasi adsorbat 80 ppm. - Variasi pH 2, 4, 6, 8, 10, 12 - Variasi konsentrasi 60, 80, 100, 120 ppm. - Variasi waktu 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16 menit. - pH optimum 10. - Waktu optimum 16 menit. - Konsentrasi optimum 100 ppm. - Persentase <i>removal</i> 99%. 	Rohmah, 2008
<i>Synthesis of porous TiO₂ with stratch template and it's photoactivity towards photodegradation of methylene blue</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Variasi sintesis pati (0,5%; 2,5%; 5%; 10% dan tanpa pati. - Dilarutkan dalam etanol dan suspensi titanium (IV) <i>tetraisopropoksida</i> (TTIP). - Hidrotermal 100 °C selama 4 jam. - Kalsinasi 450 °C selama 4 jam. - Persentase (%) <i>removal</i> 56,90% - Berat pati optimum 5 %. 	Purwiandono, 2015

2.10 Hipotesis Penelitian

Dari penelitian yang telah ada, dimungkinkan bahwa pemanfaatan lumpur hasil pengolahan air di PDAM Tirta Binangun Yogyakarta dapat digunakan sebagai adsorben guna menyerap zat warna *methylene blue* dan dengan metode enkapsulasi *alginate gel* dan agar akan meningkatkan kemampuan adsorpsi zat warna MB

dalam air dan mengimobilisasi lumpur hasil pengolahan air di PDAM sehingga mempermudah proses filtrasi dalam air.