

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cemaran Logam Berat di Sungai

Sungai merupakan suatu bentuk ekosistem aquatik yang mempunyai peran penting dalam siklus hidrologi dan berfungsi sebagai daerah tangkapan air (*catchment area*) bagi lingkungan di sekitarnya, sehingga kondisi suatu sungai sangat dipengaruhi oleh karakteristik dari lingkungan di sekitarnya. Sungai juga merupakan tempat yang mudah dan praktis untuk pembuangan limbah, baik padat maupun cair, sebagai hasil dari kegiatan rumah tangga, industri rumah tangga, garmen, peternakan, perbengkelan, dan usaha lainnya. Dengan adanya pembuangan berbagai jenis limbah dan sampah yang mengandung beraneka ragam jenis bahan pencemar ke perairan, baik yang dapat terurai maupun yang tidak dapat terurai akan menyebabkan pencemaran pada sungai tersebut. Salah satu pencemar yang menyebabkan rusaknya tatanan lingkungan hidup yaitu limbah yang mengandung logam berat. Pencemaran logam berat dapat ditemukan dalam badan air dan juga dalam bentuk padatan yang terdapat dalam perairan seperti sedimen (Anonim, 2009).

Logam berat yang terdapat pada perairan, memberikan dampak yang sangat berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme dalam perairan tersebut, maupun efeknya secara tidak langsung akan memberikan dampak buruk terhadap kesehatan manusia. Hal ini sangat berkaitan dengan sifat pada logam berat seperti sulit untuk didegradasi, sehingga akan sangat mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan tersebut dan keberadaan logam berat secara alami akan sangat

sulit untuk terurai, dapat mudah terakumulasi dalam organisme pada perairan termasuk kerrang dan ikan, dan akan sangat memberikan dampak yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia jika mengkonsumsi organisme dalam perairan tersebut (Nontji, 1993). Logam berat yang telah terlarut dalam air akan mengendap menjadi sedimen jika menempel dengan materi organik bebas dalam perairan atau materi organik yang akan melapisi permukaan pada sedimen dan penyerapan secara langsung oleh permukaan partikel pada sedimen perairan tersebut.

Unsur-unsur yang terdapat pada logam berat akan masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan dan minuman serta pernafasan dan pada kulit melalui pori-pori. Peningkatan kandungan logam berat dalam perairan akan sebanding dengan peningkatan logam berat dalam tubuh organisme perairan seperti ikan dan biota lainnya, sehingga pencemaran sungai oleh logam berat akan memberikan dampak buruk pada biota yang hidup di dalamnya akan tercemar dan berbahaya jika digunakan sebagai bahan makanan oleh manusia (Hutagalung, 1991).



Gambar 2.1 Pencemaran logam berat pada sungai

Logam berat merupakan zat yang beracun serta umumnya bersifat karsinogenik. Oleh karena itu, pengolahan dan penghilangan logam berat dari

perairan sangatlah diperlukan. Kontaminasi logam berat pada ekosistem perairan secara intensif berhubungan dengan pelepasan logam berat oleh limbah domestik, industri, dan aktivitas manusia lainnya. Logam berat biasanya ditemukan sangat sedikit dalam perairan. Secara alamiah, kandungan logam berat dalam perairan sebesar 1 µg/l. Saat terjadi erosi secara alamiah. Konsentrasi logam berat tersebut akan dapat meningkat. Beberapa macam logam berat biasanya lebih dominan dari pada jenis logam lainnya dan asal sumber air akan sangat mempengaruhi konsentrasi logam berat seperti air tanah dan air sungai yang telah tercemar limbah industri akan memiliki konsentrasi logam berat yang besar.

Air limbah yang berasal dari industri merupakan salah satu sumber pencemaran logam berat seperti Pb. Timbal (Pb) termasuk dalam kelompok logam yang beracun dan berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup. Limbah Timbal (Pb) dapat masuk ke badan perairan secara alamiah yakni dengan pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Penggunaan Pb dalam skala yang besar dapat mengakibatkan polusi baik di daratan maupun perairan. Ion Pb (II) yang masuk ke dalam perairan sebagai dampak dari aktifitas manusia dapat membentuk air buangan atau limbah dan selanjutnya akan mengalami pengendapan yang dikenal dengan istilah sedimen. Sedimen merupakan lapisan bawah yang melapisi sungai, danau, teluk, muara dan lautan. Biasanya, kandungan logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan kandungan logam berat yang masuk ke dalam perairan yang akan mengalami pengendapan pada sedimen. Tingginya kandungan timbal dalam sedimen akan menyebabkan biota air tercemar seperti ikan, udang dan kerang, dimana biota tersebut hidup di dasar sungai dan apabila dikonsumsi dapat berbahaya bagi kesehatan (H.G Schlegel, 1984).

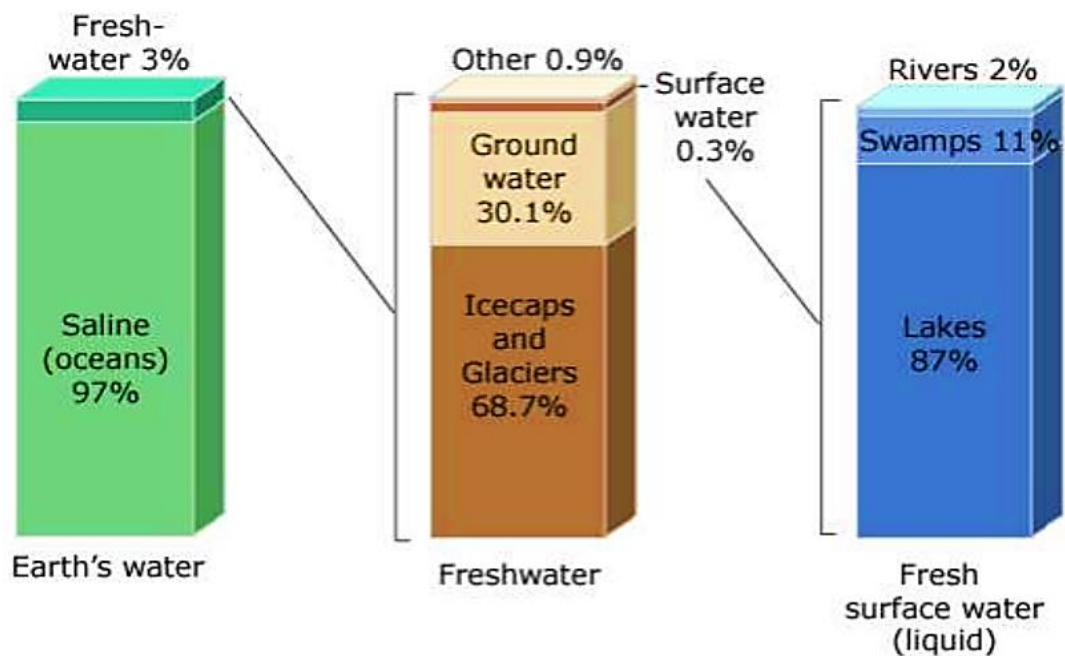
Senyawa Pb yang terdapat pada sungai yang tercemar dapat ditemukan dalam bentuk ion-ion divalen atau ion-ion tetravalen (Pb^{2+} , Pb^{4+}). Pada ion Pb divalen (Pb^{2+}) dapat digolongkan sebagai kelompok ion logam kelas antara. Sedangkan ion Pb tetravalen (Pb^{4+}) dapat digolongkan kedalam kelompok ion logam kelas B. Pada pengelompokan ion logam ini telah dibuat oleh Richardson. Bila didasarkan pada pengelompokan ion-ion logam Richardson itu, ion Pb tetravalent mempunyai kandungan daya racun yang sangat tinggi bila dibandingkan dengan ion Pb divalen. Namun dalam beberapa penelitian menunjukkan bahwa ion Pb divalen lebih berbahaya dibandingkan dengan ion Pb tetravalen (Palar, 1994).



Gambar 2.2 Ikan yang Terpapar Limbah Logam Berat pada Sungai

Organisme yang tercemar oleh logam berat Pb dengan kandungan konsentrasi yang rendah biasanya tidak berdampak pada kematian, namun akan berdampak pada pengaruh sublethal, yaitu pengaruh yang terjadi pada organisme tanpa mengakibatkan kematian pada organisme yang tercemar logam berat tersebut.

Pengaruh pada sublethal ini dapat dibedakan atas tiga macam, yaitu menghambat seperti pertumbuhan dan perkembangan pada organisme tersebut serta sistem reproduksi, sehingga akan menyebabkan terjadinya perubahan morfologi dan merubah tingkah laku pada organisme tersebut. Logam berat yang mencemari perairan sungai akan mengalami proses secara alamiah yaitu pengendapan, adsorpsi dan absorpsi oleh organisme yang ada pada perairan sungai (Bryan, 1976).



Gambar 2.3 Distribusi Air di Dunia

Logam berat Pb termasuk polutan di perairan yang sangat berbahaya, tidak hanya bagi biota yang terdapat pada perairan, tetapi akan berdampak pula bagi manusia yang telah mengkonsumsinya (Rompas, 2010). Beberapa faktor yang menyebabkan logam tersebut dikelompokkan ke dalam zat pencemar adalah:

1. Logam tidak dapat terurai melalui biodegradasi seperti pencemar organik.
2. Logam akan dapat terakumulasi dalam lingkungan terutama dalam sedimen sungai, karena dapat terikat dengan senyawa organik dan anorganik, melalui

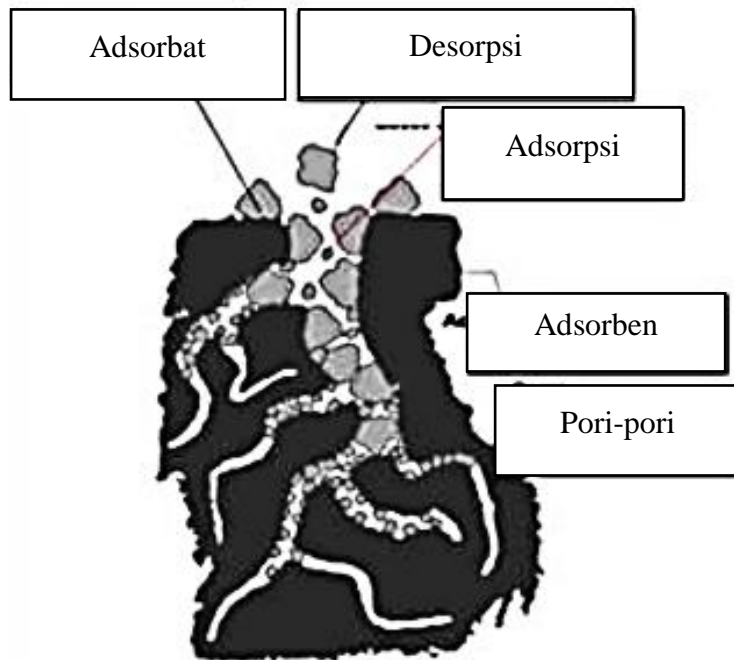
proses adsorpsi dan pembentukan senyawa kompleks. Karena logam berat Pb akan dapat terakumulasi dalam sedimen, maka kadar logam berat Pb yang berada dalam sedimen akan lebih besar dari logam dalam air.

2.2 Adsorpsi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANI}$ sebagai Penyerap Ion Pb (II)

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menanggulangi pencemaran akibat logam berat adalah adsorpsi. Adsorpsi merupakan salah satu metode yang paling populer dan efektif untuk menanggulangi pencemaran logam berat, karena proses adsorpsi menawarkan fleksibilitas dalam desain dan operasinya. Adsorpsi adalah sebuah proses fisika atau proses kimia, dan adsorpsi sebagai proses pengikatan antar ion-ion yang bebas oleh adsorben berupa air di dalam media (Kusnaedi, 2010). Metode adsorpsi bergantung pada kemampuan permukaan adsorben untuk menarik molekul-molekul gas, uap atau cairan. Walaupun adsorpsi biasanya dikaitkan dengan perpindahan dari suatu gas atau cairan ke suatu permukaan padatan, perpindahan dari suatu gas ke suatu permukaan cairan juga terjadi. Dalam proses pengolahan limbah yang bersifat cair, adsorpsi adalah proses yang berfungsi untuk menyerap zat yang telah terlarut dalam jumlah yang cukup banyak maupun satu zat terlarut. Ion dipertahankan pada permukaan yang padat dalam mekanisme adsorpsi. Adsorpsi merupakan salah satu cara yang efektif digunakan untuk menyerap kandungan berbahaya seperti logam berat yang terdapat

pada limbah cair dan sering dilakukan dalam proses penanganan limbah cair industri (Haura, 2017).

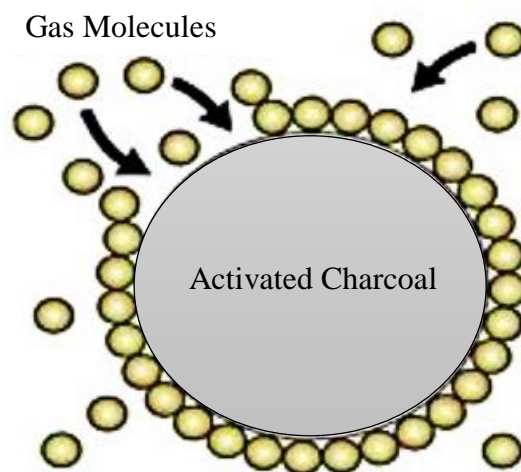
Gambar 2.4 Adsorpsi dan desorpsi ke dalam pori-pori adsorben (Lestari, 2010)



Pada proses adsorpsi terdapat dua zat yang saling berinteraksi, biasa disebut dengan adsorben dan adsorbat. Partikel yang terkumpul dan diserap oleh permukaan dinamakan adsorbat, sedangkan tempat terjadinya adsorpsi disebut adsorben. Adsorben merupakan zat yang bersifat mampu mengikat pada permukaannya dan sifat ini dimiliki oleh padatan yang memiliki pori-pori (Atkins, 1999). Dengan melalui fenomena adsorpsi, terdapat gaya tarik-menarik antara substansi yang terserap dengan penyerapnya. Pada sebuah proses adsorpsi, molekul adsorbat akan bergerak melalui *bulk* fasa gas yang akan menuju permukaan padatan dan berdifusi pada permukaan yang berpori dari padatan adsorben. Proses adsorpsi hanya akan terjadi pada permukaan adsorben dan tidak masuk ke dalam fasa

bulk/ruah. Tempat terjadinya proses adsorpsi yaitu pada bagian mikropori, sedangkan pada bagian makropori akan menjadi tempat transfer adsorbat dari permukaan luar ke permukaan mikropori. Pada peristiwa adsorpsi ini disebabkan oleh gaya tarik menarik antar molekul pada dipermukaan adsorben. Tidak hanya itu, proses adsorpsi juga dapat terjadi pada permukaan antara dua fasa, seperti cair-cair, gas-cair, gas-padat dan cair-padat.

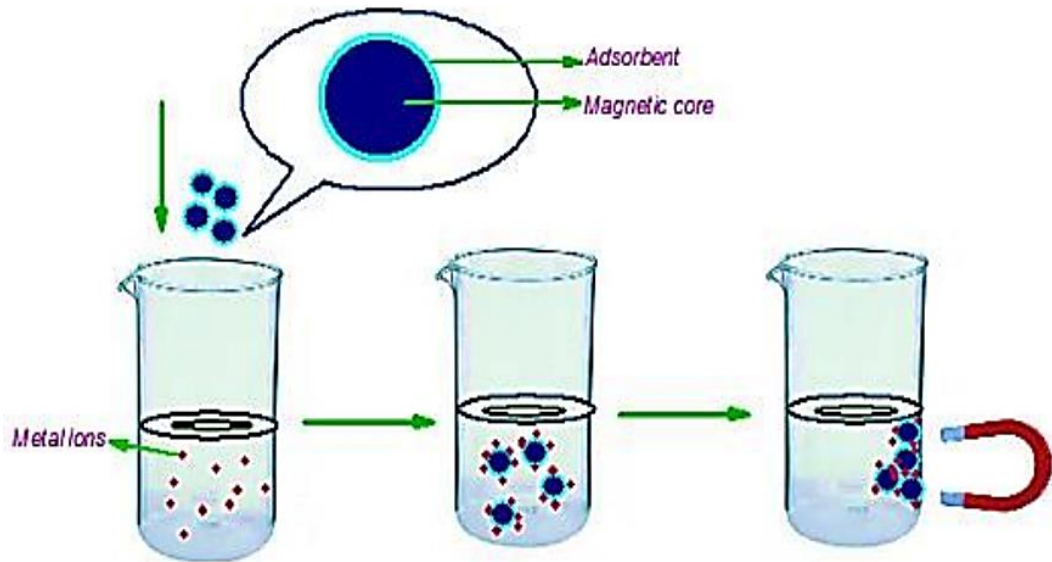
Terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi oleh adsorben antara lain mempunyai luas permukaan yang besar, bersifat aktif dan murni, berpori, serta tidak akan bereaksi dengan adsorbatnya (Othmer, 1984). Dalam proses adsorpsi senyawa akan terlarut oleh adsorben berlangsung terus menerus dan berhenti pada saat sistem adsorpsi telah mencapai kesetimbangan, yaitu saat konsentrasi pada adsorbat yang tinggal dalam larutan dengan konsentrasi adsorbat yang diadsorpsi oleh adsorben telah mencapai kesetimbangan.



Gambar 2.5 Adsorpsi *Activated Charcoal* dan *Gas Molecules* (Raouf, 2017)

Berdasarkan kekuatan interaksi yang dilakukan oleh adsorbat dan adsorben, adsorpsi dikategorikan dalam dua macam, yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Pada adsorpsi fisik, akan terjadi sebuah gaya *Van der Waals*. Adsorpsi fisika

bersifat reversible, berlangsung secara cepat dengan penyerapan kalor yang kecil, interaksi yang terjadi dianggap hanya menghasilkan gaya *Van Der Walls* dan terjadi pada semua proses adsorpsi serta berlangsung pada temperatur yang cukup rendah. Pada adsorpsi ini, gaya tarik-menarik antara molekul fluida dengan molekul pada permukaan padatan (intermolekular) lebih kecil dibandingkan dengan gaya tarik-menarik antar molekul fluida tersebut, sehingga gaya tarik-menarik antara adsorbat dengan permukaan adsorben relatif lemah. Pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak akan terikat kuat dengan permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke permukaan yang lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisika memiliki kegunaan dalam hal penentuan luas permukaan dan ukuran pori-pori (Murti, 2008). Sedangkan untuk adsorpsi kimia terjadi karena adanya ikatan kimia yang terbentuk antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Ikatan kimia dapat berupa ikatan kovalen atau ion. Ikatan yang terbentuk sangat kuat sehingga spesies aslinya tidak dapat ditemukan. Karena kuatnya ikatan kimia yang terbentuk, maka adsorbat tidak akan mudah teradsorpsi. Waktu penyerapan lebih lama dari adsorpsi fisika dan sulit diregenerasi. Reaksi berlangsung satu arah dari kiri ke kanan. Adsorpsi kimia ini diawali dengan adsorpsi fisika dimana adsorbat akan mendekat ke permukaan adsorben melalui gaya *Van der Walls* atau ikatan hidrogen kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia. Pada adsorpsi kimia, adsorbat melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia yang biasanya merupakan ikatan kovalen (Prabowo, 2009).



Gambar 2.6 Representasi pemisahan ion logam teradsorpsi dari media berair menggunakan nanokomposite magnetik (Kalia et al., 2014)

Menurut Langmuir, molekul adsorbat ditahan pada permukaan adsorben oleh gaya valensi yang tipenya sama dengan yang terjadi antara atom-atom dalam molekul. Adsorpsi kimia biasanya digunakan untuk penentuan daerah pusat aktif dan kinetika reaksi permukaan (Murti, 2008). Menurut Botahala (2019) beberapa faktor yang akan mempengaruhi suatu proses adsorpsi, diantaranya:

1. Ukuran Partikel Adsorben

Hal yang sangat penting agar proses adsorpsi dapat terjadi dan berjalan dengan baik yaitu ukuran partikel. Semakin kecil ukuran partikel maka akan memberikan tingkat adsorpsi yang lebih tinggi. Apabila adsorben memiliki ukuran yang semakin kecil maka proses adsorpsi akan berlangsung semakin cepat (Suziyana dkk, 2017). Efisiensi penyisihan kandungan Fe yang terendah adalah pada ukuran 100 mesh dan efisiensi yang tertinggi adalah pada ukuran 200 mesh. Hal ini disebabkan luas permukaan kontak adsorben dengan logam semakin besar karena semakin

kecil ukuran diameter adsorben. Selain itu, luas permukaan juga sangat berbanding lurus dengan banyaknya pori yang dimiliki dalam per satuan partikel adsorben.

2. Waktu Kontak

Waktu yang digunakan untuk mencapai sebuah keadaan yang akan setimbang pada proses serapan adsorbat oleh adsorben disebut dengan waktu kontak. Waktu kontak dalam proses adsorpsi berlangsung beberapa menit hingga beberapa jam. Waktu kontak antara adsorben dan adsorbat memiliki batas waktu optimum yang akan meningkatkan daya serap dari adsorben, semakin lama waktu kontak maka proses adsorpsi zat warna metilen biru akan semakin efektif (Simanjuntak, 2017). Kapasitas adsorpsi sangat dipengaruhi oleh waktu kontak antara adsorben dan adsorbat, semakin lama waktu kontak maka kapasitas adsorpsi juga akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan semakin lama waktu kontak maka semakin banyak partikel-partikel yang akan bertumbukan dan akan berinteraksi dengan larutan sampelnya sehingga adsorpsi akan semakin membaik.

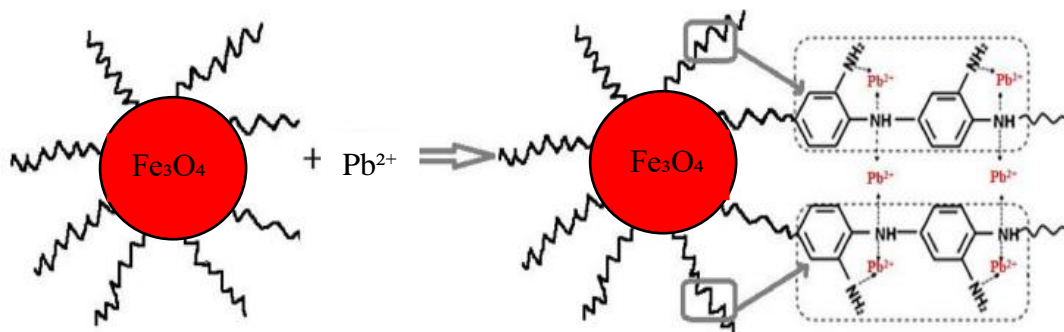
3. Massa Adsorben

Massa adsorben berpengaruh terhadap efektivitas adsorpsi. Semakin banyak adsorben yang digunakan, maka semakin tinggi efisiensi penurunan kadar adsorbat (Suziyana dkk, 2017). Luas permukaan adsorben lebih banyak tersedia sehingga terjadi peningkatan bidang akan lebih aktif pada adsorben, hal ini dikarenakan dengan meningkatnya massa adsorben. Dengan meningkatnya jumlah adsorben, laju adsorpsi ion Pb meningkat. Hal ini dapat disebabkan oleh peningkatan akseptor ion Pb. Namun

peningkatan adsorben lebih lanjut dapat memiliki efek yang negative yaitu karena akumulasi partikel adsorben yang secara bersamaan. Penggunaan jumlah adsorben yang optimal sangatlah disarankan sebagai jumlah nanokomposit yang optimal dalam situasi tertentu.

4. Kecepatan Pengadukan

Kecepatan putaran dalam sebuah pengadukan merupakan salah satu faktor yang akan mempengaruhi sebuah proses adsorpsi. Proses adsorpsi kurang optimal dikarenakan pengadukan yang berlangsung terlalu lambat, maka proses adsorpsi akan berlangsung lambat pula, namun jika pengadukan terlalu cepat maka kemungkinan adsorben akan cepat rusak (Syauqiah dkk., 2011). Semakin cepat kecepatan sebuah putaran maka proses adsorpsi zat warna metilen biru dengan adsorben karbon aktif semakin efektif. Hal ini disebabkan semakin besar pengadukan maka lapisan film semakin tipis sehingga kecepatan adsorpsi secara keseluruhan akan menjadi lebih cepat (Simanjuntak, 2017).



Gambar 2.7 Mekanisme Interaksi Ion Pb pada Adsorben (Sadeghi, 2018)

Pada gambar 2.1 menyajikan mekanisme adsorpsi Pb^{2+} pada permukaan Fe_3O_4 merupakan hasil hibridisasi antara pasangan atom nitrogen non-ikatan dari

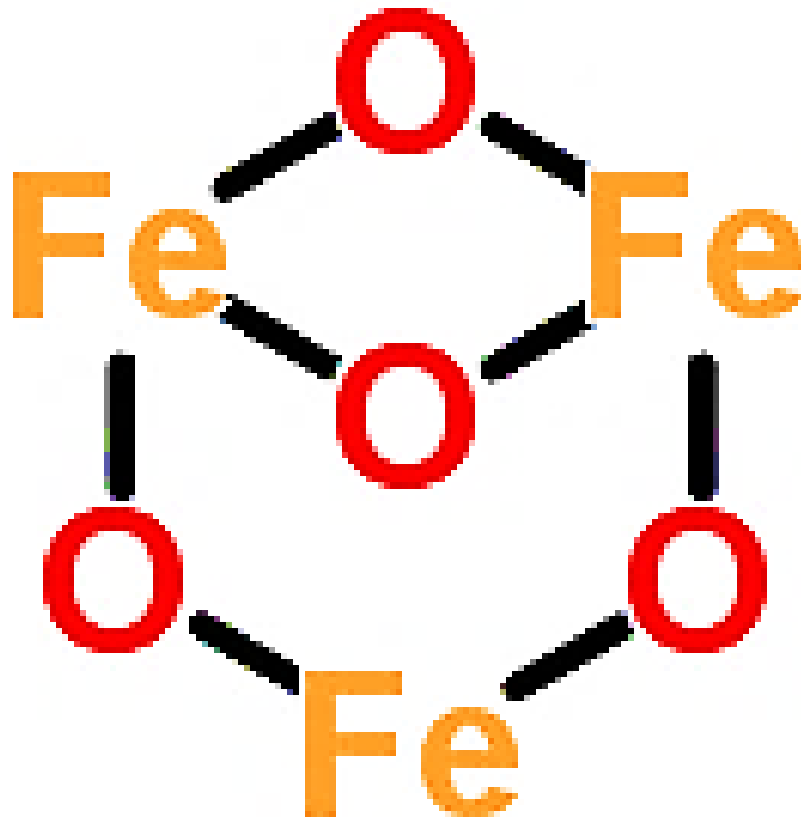
polianilin dan orbital kosong Pb^{2+} . Adsorpsi Fe_3O_4 sebagai sintesis nanokomposit yang efektif dalam menghilangkan logam berat dalam larutan karena luas permukaannya yang tinggi, fungsionalisasi yang mudah, stabilitas kimia dan fisik, struktur yang dapat dirancang dan bersifat supermagnetik. Dengan adanya sifat tersebut Fe_3O_4 menawarkan keuntungan potensial untuk mengatasi pencemaran Ion Pb (II). Namun Fe_3O_4 rentan terhadap kondisi asam, oksidasi udara dan agregasi dalam sistem perairan, maka ditambahkan PANI sebagai strategi yang efektif untuk mencegah partikel berkumpul dan teroksidasi. Dengan ditambahkan PANI diharapkan dapat mensintesis partikel nanokomposit dimana nanopartikel Fe_3O_4 dapat diselimuti oleh PANI dengan sempurna.

2.3 Kemampuan Fe_3O_4 dalam Menyerap Ion Pb (II)

Magnetit merupakan sebuah oksida besi yang memiliki rumus kimia Fe_3O_4 atau sering ditulis dalam bentuk $(FeO.Fe_2O_3)$. Material Fe_3O_4 terbentuk secara alamiah dan berbentuk secara teratur menjadi sebuah kristal. Magnetit mengadopsi bangun spinel terbalik, yaitu setengah jumlah ion Fe^{3+} menempati rongga tetrahedron dan setengah yang lain menempati rongga oktahedron dan semua ion Fe^{2+} menempati rongga oktahedron dari suatu tatanan kubus rapat muka (fcc) ion O^{2-} (Sugiyarto, 2003). Magnetit merupakan suatu mineral yang paling banyak memiliki sifat magnet dari pada semua mineral alam yang ada di bumi ini. Magnetit berwarna hitam dan abu-abu sedikit coklat jika direfleksikan pada sinar matahari. Bentuk perawakan magnetik berupa oktahedral, granular halus sampai besar dan memiliki berat jenis 5500 sampai 6500 kg/m^3 (Khairil, 2019).

Tabel 2.1 Sifat Fisik dan Magnetik Senyawa Oksida Besi

Sifat	Oksida Besi		
	Hematit	Magnetit	Magemit
Rumus molekul	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Fe_3O_4	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
Densitas (g/cm^3)	5,25	5,18	4,87
Titik leleh ($^\circ\text{C}$)	1350	1583-1597	-
Ph	6,5	5,5	5
Sifat kemagnetan	Ferromagnetik lemah atau Antiferromagnetic	Ferromagnetik	Ferrimagnetik
Struktur kristal	Rombohedral, heksagonal	Kubus	Kubus atau tetrahedral
Tipe struktur	Corundum	Spinel terbalik	Spinel cacat
Gugus ruang	R3c (Heksagonal)	Fd3m	P43 32 (kubus) P41212 (tetragonal)
Parameter kisi (nm)	$a = 0,5034,$ $c = 1,375$ (Heksagonal), $agb = 0,5427,$ $a = 55,3^\circ$ (rombohedral)	$a = 0,8396$	$a = 0,83474$ (kubus), $a = 0,8347,$ $c = 2,501$ (tetragonal)



Gambar 2.8 Struktur Fe₃O₄

Magnetit dikenal juga sebagai *magnetic iron ore*, *black iron oxide*, *loadstone*, *ferrous ferrit*, atau *hercules stone* yang menunjukkan sifat kemagnetan paling kuat di antara oksida-oksida logam transisi. Material dalam ukuran nanometer mempunyai luas permukaan yang sangat besar, sehingga mempunyai kemampuan adsorpsi yang sangat besar. Daya adsorpsi yang cukup besar terhadap logam berat ini mampu dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat pada limbah industri. Proses adsorpsi dengan nanopartikel magnetit sebagai adsorben dimungkinkan karena atom-atom oksigen di permukaan magnetit berpotensi akan mampu mengikat ion-ion logam berat, sehingga dapat menurunkan kadar logam berat dalam air atau pun limbah cair.

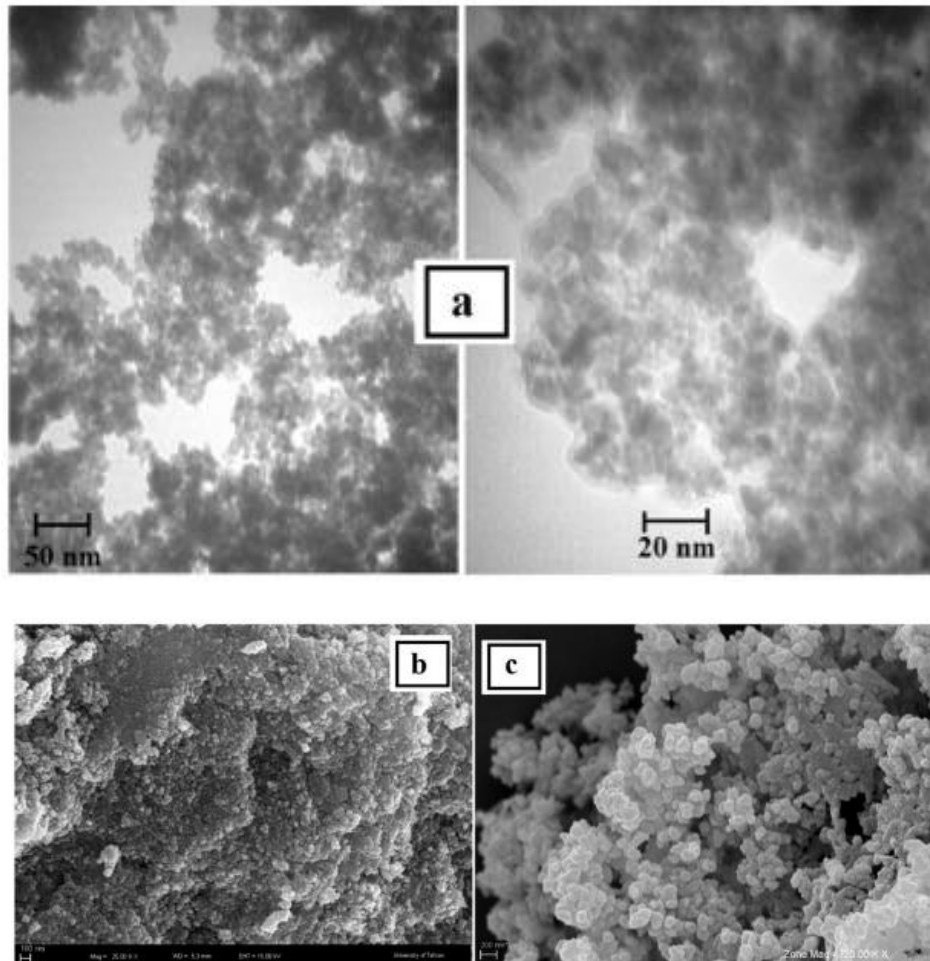


Gambar 2.9 Nanopartikel Fe_3O_4

Nanopartikel magnetik, oksida besi magnetit (Fe_3O_4) merupakan material yang menarik dan memiliki aplikasi yang sangat luas. Pada ukuran *bulk*-nya, *bulk* didefinisikan magnetit dalam ukuran besar (Permana, 2017). Material ini merupakan kelompok bahan ferrimagnetik, dan memiliki sifat-sifat yang lebih baik seperti magnetisasi saturasi yang tinggi (90 emu/gram), *biological compatibility*, dan *environmental stability*. Selain itu, pada ukuran dibawah 20nm dengan morfologi partikel berbentuk bulat, material ini dapat diaplikasikan dengan lebih baik karena kemampuannya untuk mempengaruhi nilai relaksasi proton pada air. Material ferrimagnetik seperti Fe_3O_4 mempunyai beberapa sifat seperti rapuh, keras, tahan panas, dan tahanan jenis listrik yang tinggi. Material ferrimagnetik dapat berubah menjadi paramagnetic pada *temperatur currie* karena material ini termagnetisasi secara spontan pada *temperature currie* (Chrismant, 1988).

Pada proses adsorpsi, Fe_3O_4 berperan sebagai adsorben untuk menyerap zat pencemar yang terkandung dalam suatu limbah. Kelebihan dari Fe_3O_4 dalam menyerap logam berat timbal (Pb) karena memiliki sifat magnet, stabilitas kimia yang tinggi, kemudahan dalam sintesis dan memiliki kemampuan daur ulang yang

baik. Berdasarkan dari sifat kimianya Fe_3O_4 cenderung mengelompok, membentuk sebuah aglomerat, kecuali jika Fe_3O_4 permukaannya dilapis dengan material non-magnetik seperti PANI.



Gambar 2.10 TEM Fe_3O_4 (a), SEM Fe_3O_4 (b), komposit Fe_3O_4 berlapis PANI (c)

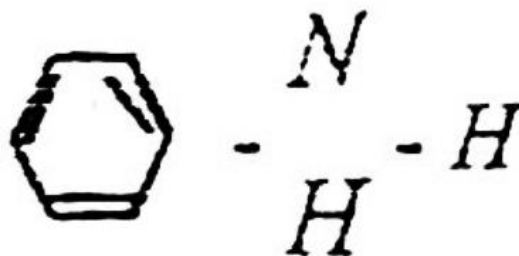
(Sadeghi, 2018).

Pada pengujian TEM dan SEM dapat digunakan untuk menentukan ukuran rongga nanopartikel. Namun tidak seperti nanopartikel Fe_3O_4 , PANI tidak dapat dibedakan dengan TEM. Berdasarkan gambar pengujian TEM dari nanokomposit di gambar (a), dapat dilihat bahwa nanopartikel Fe_3O_4 berukuran kurang dari 50 nm yang dapat mengkonfirmasi efisiensi nanopartikel. Semakin kecil ukuran

nanopartikel Fe₃O₄ maka akan memberikan tingkat adsorpsi yang lebih tinggi. Pada gambar (b) nanopartikel berbentuk seperti bola, nanopartikel Fe₃O₄ bersifat masif dan cenderung akan mengendap saat berada di dalam larutan. Hasil SEM menegaskan pengendapan nanopartikel Fe₃O₄ yang terisolasi (b), namun formasi dari nanopartikel Fe₃O₄ dan PANI dapat mencegah pengendapan nanokomposit yang dihasilkan (c).

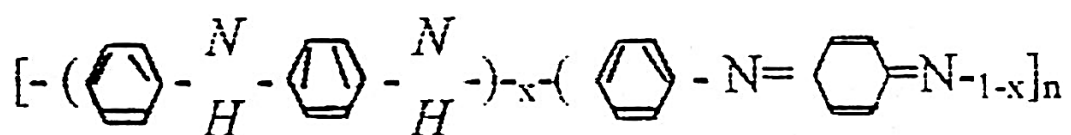
2.4 Polianilin (PANI)

Polianilin merupakan polimer terkonjugasi yang memiliki tingkat kestabilan yang tinggi dan bersifat reversible dalam proses *doping-dedoping* dan polianilin memiliki optoelektrik yang dapat dikontrol yaitu dengan mengubah derajat oksidasi pada rantai utama dan dengan melakukan protonasi pada rantai amina. Polianilin adalah salah satu jenis polimer konduktif yang dihasilkan dari proses polimerisasi monomer anilin (C₆H₅NH₂) dengan suasana yang asam. Anilin adalah salah satu senyawa yang termasuk kedalam kelompok amina, anilin merupakan senyawa turunan dari benzena yang salah satu atom H diganti dengan gugus -NH₂.



Gambar 2.11 Struktur Geometri Anilin (Sri, 1998).



Adapun struktur geometri polianilin secara umum adalah:



Gugus tereduksi

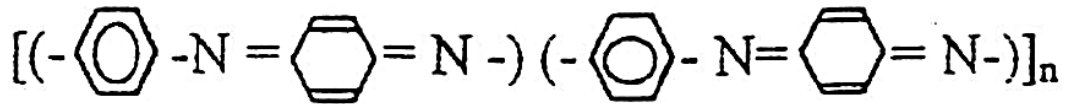
Gugus teroksidasi

Gambar 2.12 Struktur Geometri Polianilin (Sri, 1998).

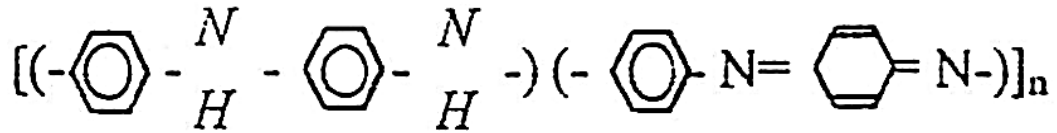
Gugus tereduksi terdiri dari dua molekul yang terbentuk cincin benzoid () dan dua gugus amin, sedang pada gugus teroksidasi salah satu cincin benzoid berubah menjadi cincin quinoid () dan gugus amin menjadi imin.

Nilai x ($0 \leq x \leq 1$) dapat menentukan tingkat oksidasi polianilin. Nilai $x = 0$, menunjukkan tingkat teroksidasi penuh yang menghasilkan polianilin berbentuk basa pernigranilin (PNB) dimana rantai polimer hanya terdiri dari gugus teroksidasi. Nilai $x = 0,5$ menunjukkan tingkat setengah teroksidasi yang menghasilkan polianilin berbentuk basa emeraldin (EB). Sementara nilai $x = 1$ menunjukkan tingkat pereduksi penuh yang menghasilkan polianilin berbentuk basa leukoemeraldin (LEB).

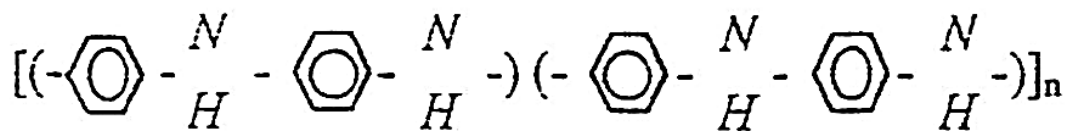
Polianilin dibuat dengan mengoksidasi anilin menggunakan ammonium persulfate melalui media larutan asam dan akan menghasilkan berupa endapan. Metode dasar dari sintesis polianilin yaitu dengan pencampuran dalam larutan antara lain asam, anilin dan oksidator. Hasil yang akan didapatkan berupa emeraldin terprotonasi (garam emeraldin) (Putrianti, 2009). Dalam reaksi oksidasinya, polianilin dapat disintesis dalam beberapa bentuk yaitu bentuk leukoemeraldina (tereduksi penuh), bentuk emeraldine (setengah teroksidasi), dan pernigranilina (teroksidasi penuh) (Rahayu, 2015). Bentuk tingkatan oksidasi polianilin dapat dilihat pada gambar 2.6.



Pernigranilin



Emeraldin



Leukoemeraldin

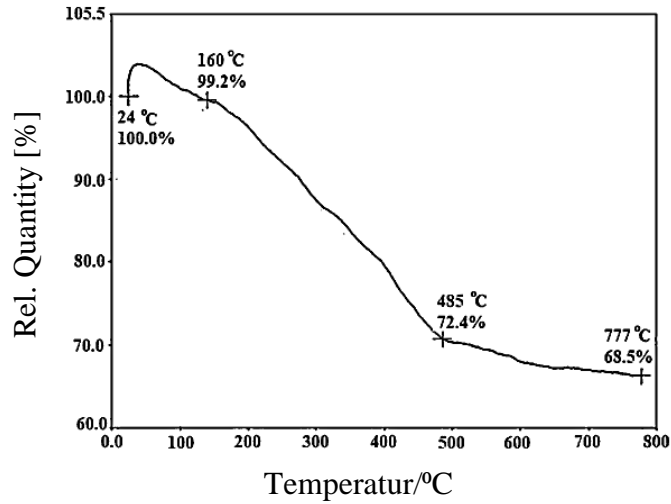
Gambar 2.13 Bentuk-Bentuk Dasar Polianilin (Agustiani, 2013).

Polianilin disintesis dengan cara polimerisasi oksidasi kimia dan polimerisasi elektrokimia. Polianilin disintesis dengan cara oksidasi kimia dengan mereaksikan anilin dengan ammonium peroksidisulfat (APS) pada suasana asam dan diperoleh endapan. Dasar dari sintesis polianilin adalah pencampuran dalam larutan aqua, antara asam, anilin dan oksidator. Hasil yang akan didapatkan emeraldin terprotonasi atau garam emeraldin (J. Stejskal, 2005).

Sifat dari polianilin yang akan mempengaruhi terdiri dari morfologi, massa berat, konduktivitas listrik dan kinerja elektrokimianya secara signifikan, tergantung dengan kondisi sintesis yang akan dipilih yaitu pH dari media polimerisasi, konsentrasi reaktan, suhu yang digunakan dan waktu pada saat polimerisasi, kondisi pengadukan, ukuran dan jenis dopan, dan lainnya (Al-Zohbi, 2021).

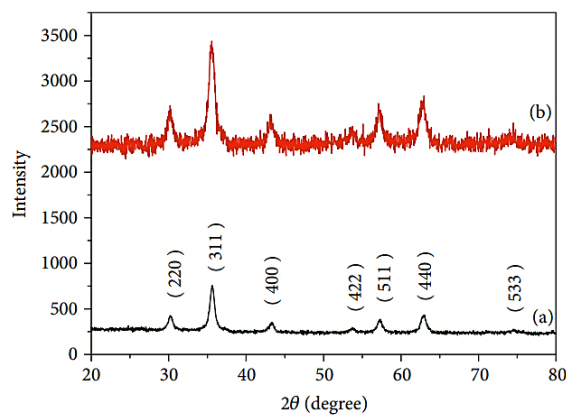
Polimerisasi anilin biasanya diiringi dengan meningkatnya temperatur pada reaksi yang berlanjut dengan penurunan kembali temperatur reaksi. Dalam proses polimerisasi anilin melibatkan beberapa tahap yaitu inisiasi, propagasi dan terminasi, polimerisasi anilin didahului oleh oksidasi anilin menjadi kation pada potensial mendekati 0,9 V yang akan langsung dibarengi dengan formasi dimer p-aminodifenilamin (PADPA) (Gospodivona, 1998). Pada tahap ini disebut sebagai tahap inisiasi polimerisasi anilin. PADPA adalah *growing site* pada reaksi polimerisasi selanjutnya. Kemudian PADPA teroksidasi menjadi N-fenil-1,4-benzokuinondiimin (PBQ). Propagasi rantai polimer berlangsung dengan adanya penambahan dari monomer pada ujung rantai melalui proses redoks antara rantai yang teroksidasi penuh dan sedang tumbuh sebagai oksidator sedangkan anilin sebagai reduktor proses tersebut bersifat eksotermik.

Sifat Polianilin (PANI) diantaranya seperti mudah untuk disintesis, kestabilan yang tinggi terhadap lingkungan, mudah diubah konduktivitasnya dengan cara doping dan tahan akan korosi. Sehingga PANI dapat digunakan sebagai kandidat yang ideal sebagai penyerap zat warna dan polutan yang berasal dari ekosistem yang ada di lingkungan sekitar. Jenis polimer polianilin dapat memberikan kinerja adsorpsi yang luar biasa dengan biaya yang cukup rendah, ketersediaan yang tinggi dan beragam gugus fungsi aktif yang dapat dipersiapkan sebagai pengembangan platform penyerapan yang cukup kompleks (Karthik dan Meenakshi, 2015). Polianilin juga dapat digunakan dalam berbagai platform seperti halnya jika dikombinasikan dengan nanopartikel akan meningkatkan stabilitas bahan nano.



Gambar 2.14 Kurva analisis TGA PANI/ Fe_3O_4 (Sadeghi, 2018).

Polianilin juga memiliki stabilitas termal yang sangat tinggi. Seperti pada gambar 2.4 polianilin tidak terdegradasi pada suhu diatas 500°C hingga pada suhu 800°C dan tidak ada penurunan berat yang signifikan hal ini dapat menunjukkan stabilitas termal polianilin yang sangat tinggi sehingga telah mengungguli dari jenis polimer lainnya. Dengan penambahan nanopartikel Fe_3O_4 akan mengarah pada stabilitas termal polianilin yang lebih stabil dengan meningkatnya sifat fisik dan kimia pada rantai polimer.



Gambar 2.15 Analisis XRD (a) Fe_3O_4 murni dan (b) nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANI}$

(Di Zhang, 2019)

Pola XRD dari nanokomposit Fe₃O₄/PANI, terlihat bahwa puncak difraksi baru muncul pada 20°-30° karena periodisitas dari PANI menunjukkan bahwa PANI telah berhasil diintegrasikan dengan Fe₃O₄. Setelah integrasi dengan PANI puncak karakterisasi Fe₃O₄ tetap ada dan hanya luas intensitas puncak yang berubah, peningkatan luas intensitas dalam O-H puncak vibrasi peak teramati pada Fe₃O₄/PANI, yang menunjukkan bahwa adsorpsi PANI ke permukaan Fe₃O₄ terjadi melalui ikatan hidrogen antara gugus N-H pada PANI dan OH yang terikat, menghasilkan pelapisan nanopartikel Fe₃O₄ oleh PANI. Nanopartikel Fe₃O₄/PANI masih bertipe spinel terbalik, hasil pelapisan PANI tidak mengubah struktur kristal nanopartikel Fe₃O₄ (Di Zhang, 2019).

1.5 Karakterisasi

Terdapat beberapa alat karakterisasi yang digunakan, berikut merupakan penjelasan dari beberapa alat tersebut.

1.5.1 AAS (*Atomic Absorbtion Spectroscopi*)

Atomic Absorbtion Spectroscopi (AAS) merupakan alat instrument yang digunakan sebagai metode analisis unsur logam secara kuantitatif berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom-atom pada logam dalam keadaan bebas. Prinsip utama dari *Atomic Absorbtion Spectroscopi* (AAS) adalah bila cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom-atom bebas maka sebagian cahaya akan diserap dan intensitas penyerap berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas dalam sel tersebut. Senyawa dalam sel akan diuapkan oleh sumber cahaya dan diuraikan menjadi uap-uap atom bebas dalam proses

atomisasi yaitu pemecahan cairan menjadi semburan halus. Proses atomisasi dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan nyala (*flame*), tungku grafit (*graphite furnace*) dan dengan penguapan (*vapour generation*). Uap-uap atom bebas tersebut akan diserap oleh lampu katoda dan sebagiannya lagi akan transmisikan. Kemudian detector akan mengukur absorbansi dari uap-uap atom bebas yang telah ditransmisikan (Yulianto, 2011).

Prinsip kerja AAS berdasarkan penguapan larutan pada sampel, setelah logam yang terkandung di dalamnya akan diubah menjadi atom bebas dalam AAS dengan alat penyemprot atau atomizer. Larutan unsur pertama disedot ke dalam nebulizer yang berfungsi untuk mengubah larutan aerosol, yang merupakan berbentuk butiran cair yang sangat halus sehingga tersebar di udara. Kemudian larutan tersebut diubah ke dalam bentuk kabut atau tetesan yang sangat halus dalam fase gas atau aerosol di dalam spray chamber, fungsinya untuk membuat campuran homogen dari gas oksidan dan bahan bakar aerosol. Kemudian dengan penambahan gas, campuran homogen terjadi tepat sebelum dimasukkan ke dalam pembakar. Atom menyerap radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan dari lampu katoda (*Hollow Cathode Lamp*) yang mengandung unsur yang akan ditentukan. Jumlah penyerapan radiasi kemudian diukur pada Panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis logamnya (Darmono, 1995). Panjang gelombang yang dihasilkan oleh sumber radiasi sama dengan panjang gelombang yang akan diserap oleh atom-atom dalam nyala api. Absorbansi mengikuti hukum Lambert-Beer, yaitu absorbansi berbanding lurus dengan panjang nyala api yang melaluinya cahaya dan

konsentrasi uap atom berada dalam nyala api. Adapun komponen dasar suatu alat spektrofotometri serapan atom adalah :

a. Sumber sinar (lampu katoda berongga)

Berguna untuk memancarkan sinar dengan panjang gelombang yang tepat sama dengan panjang gelombang logam yang dianalisis.

b. Nyala api (*flame*)

Berguna untuk mengubah unsur logam yang di analisis menjadi atom-atom netral yang masih berada dalam tingkat encer dasar. Proses ini disebut pengatoman atau atomisasi.

c. Monokromator

Berguna untuk meneruskan panjang gelombang emisi dari lampu katoda berongga yang diadsorpsi paling kuat oleh atom di dalam nyala api (panjang gelombang maksimum) dan menahan garis-garis emisi lain dari lampu katoda berongga yang tidak digunakan dalam analisis.

d. Detektor

Berguna untuk mengamati atau mendeteksi datangnya berkas sinar dari sistem monokromator dan mengubah energi sinar yang masuk menjadi energi listrik yang sebanding.

e. Amplifier

Berguna untuk menggerakkan system elektronik digital atau menggerakkan pada rekorder.

f. Spray Chamber (ruang penyemprot/pengabut)

Berguna untuk membuat campuran yang homogen dari gas oksigen dan sampel yang mengandung larutan contohnya yaitu sebelum campuran ini menjadi burnernya.

g. Nebulizer (ruang pengabut)

Berguna untuk mengubah larutan yang diisap melalui pipa kapiler menjadi aerosol (kabut atau butiran cairan halus).

1.5.2 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menentukan komposisi suatu sampel baik dengan kuantitatif maupun kualitatif yang didasarkan pada interaksi antara materi atau sampel dengan cahaya. Peralatan yang digunakan dalam spektrofotometri disebut dengan spektrofotometer. Spektrofotometer adalah alat untuk mengukur transmittan atau absorbans suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometer merupakan gabungan dari alat optic dan elektronika serta sifat-sifat kimia dan fisiknya. Dimana detektor dapat mengukur intensitas cahaya yang dipancarkan secara tidak langsung cahaya pada Panjang gelombang tertentu tergantung pada senyawa atau warna yang terbentuk (Riyanto, 2011).



Gambar 2.16 Spektrofotometer UV-Vis

Pada Spektrofotometer UV-Vis, sinar dari sumber cahaya akan dibagi menjadi dua berkas oleh cermin yang berputar pada bagian dalam spektrofotometer. Berkas pertama akan melewati kuvet berisi blanko, sementara berkas kedua akan melewati kuvet berisi sampel. Blanko dan sampel akan diperiksa secara bersamaan. Adanya blanko, berguna untuk menstabilkan absorpsi akibat perubahan voltase dari sumber cahaya (Riyanto, 2011). Spektrofotometri UV-Vis mengacu pada hukum Lambert-Beer. Apabila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut akan diserap, sebagian dipantulkan dan sebagian lagi akan dipancarkan.

Berdasarkan hukum Lambert-Beer, rumus yang digunakan untuk menghitung banyaknya cahaya yang hamburkan:

$$T = \frac{I_t}{I_o} \text{ atau } \%T = \frac{I_t}{I_o} \times 100\% \quad (2.1)$$

dan absorbansi dinyatakan dengan rumus:

$$A = -\log T = -\log \frac{I_t}{I_o} \quad (2.2)$$

dimana I_o merupakan intensitas cahaya datang dan I_t adalah intensitas cahaya setelah melewati sampel. Rumus yang diturunkan dari Hukum Beer dapat ditulis sebagai:

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c = a \cdot b \cdot c \quad (2.3)$$

dimana:

A = absorbansi

b = tebal larutan (tebal kuvet diperhitungkan umumnya 1 cm)

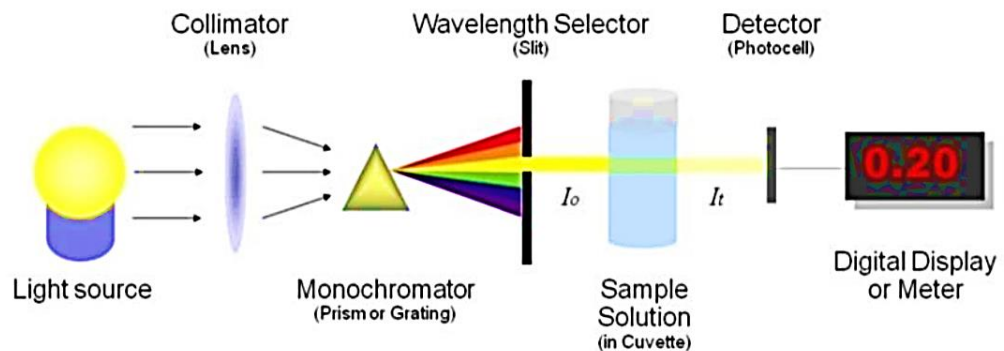
c = konsentrasi larutan yang diukur

ϵ = tetapan absorptivitas molar (jika konsentrasi larutan yang diukur dalam molar)

a = tetapan absorptivitas (jika konsentrasi larutan yang diukur dalam ppm).

Faktor-faktor yang sering menyebabkan kesalahan dalam menggunakan spektrofotometer dalam mengukur konsentrasi suatu analit:

- a) Adanya serapan oleh pelarut. Hal ini dapat diatasi dengan penggunaan blangko, yaitu larutan yang berisi selain komponen yang akan dianalisis termasuk zat pembentuk warna.
- b) Serapan oleh kuvet. Kuvet yang ada biasanya dari bahan gelas atau kuarsa, namun kuvet dari kuarsa memiliki kualitas yang lebih baik.
- c) Kesalahan fotometrik normal pada pengukuran dengan absorbansi sangat rendah atau sangat tinggi, hal ini dapat diatur dengan pengaturan konsentrasi, sesuai dengan kisaran sensitivitas dari alat yang digunakan (melalui pengenceran atau pemekatan)(Riyanto, 2011).



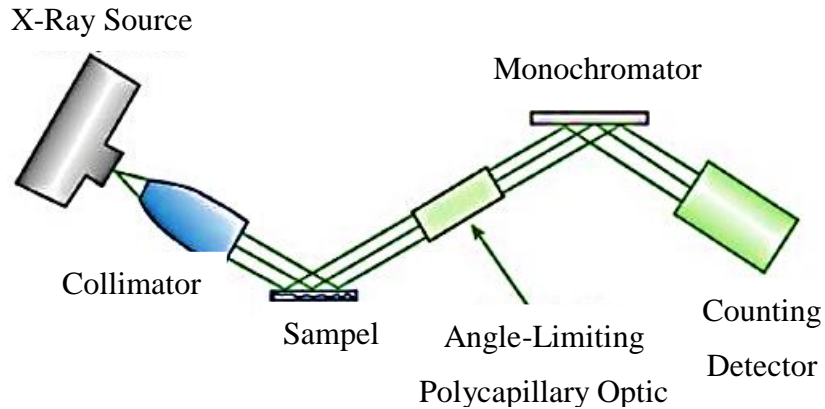
Gambar 2.17 Skema UV-Vis

Sebagai sumber cahaya biasanya digunakan lampu hydrogen atau deuterium untuk pengukuran uv dan lampu tungsten untuk pengukuran pada cahaya tampak. Panjang gelombang dari sumber cahaya akan dibagi oleh

pemisah panjang gelombang (*wavelength separator*) seperti prisma atau monokromator. Spektrum didapatkan dengan cara scanning oleh wavelength separator sedangkan pengukuran kuantitatif bisa dibuat dari spektrum atau pada panjang gelombang tertentu. Skema diatas ini adalah skema alat spektrofotometer UV-Vis yang memiliki sumber cahaya tunggal, dimana sinyal pelarut dihilangkan terlebih dahulu dengan mengukur pelarut tanpa sampel, setelah itu larutan sample dapat diukur. (Dachriyanus, 2004)

1.5.3 XRD (*X-Ray Diffraction*)

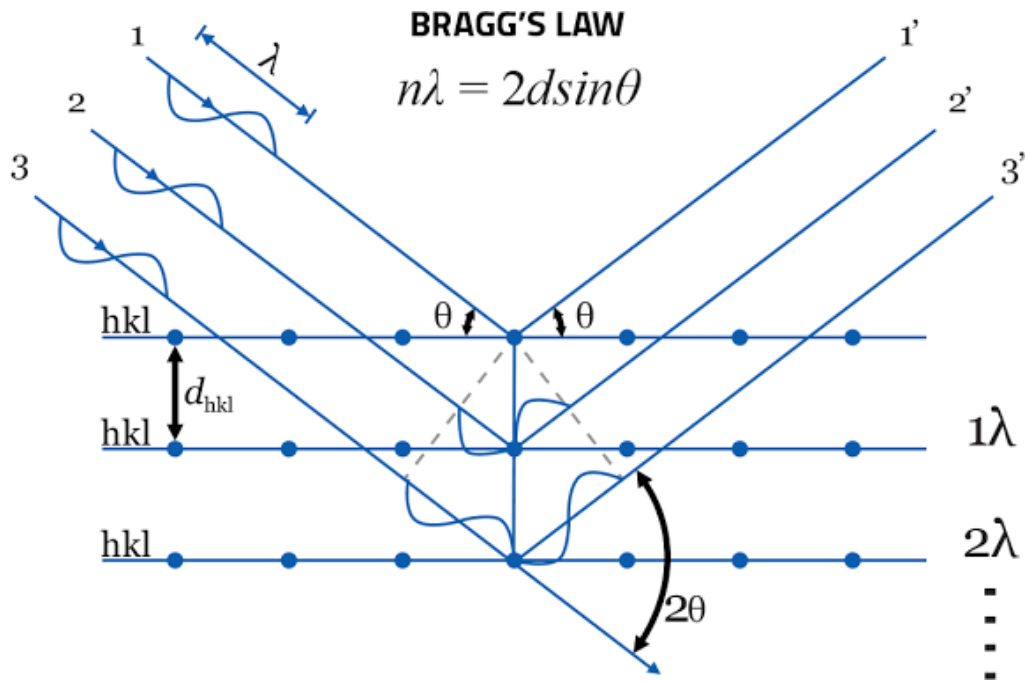
XRD atau *X-Ray Diffraction* merupakan salah satu teknologi yang terkait dengan fisika kuantum tentang hamburan. *X-Ray diffraction* (XRD) merupakan metode yang sangat penting dalam bidang karakterisasi material. Metode karakterisasi XRD dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal, analisis reaksi kimia dan sintesis material, analisis kemurnian suatu spesi, baik pada material kristal maupun nonkristal (amorf). Kondisi jenis sample bisa berbentuk padatan berupa lembaran, maupun serbuk yang sudah dihaluskan (Setiabudi, 2012). Prinsip karakterisasi XRD adalah memanfaatkan sinar x yang ditembakkan pada sampel membuat hamburan dari elektron yang mengenai permukaan kristal suatu material yang membentuk suatu pola difraksi material.



Gambar 2.18 Skema instrumen XRD (Agus, 2012)

Difraksi sinar-X merupakan peristiwa fisika ketika sinar-X yang jatuh mengenai kristal bahan tertentu dihamburkan oleh kristal tersebut. Sinar-X yang dihamburkan oleh kristal ada yang saling menguatkan dan ada yang saling melemahkan. Difraksi terjadi ketika gelombang elektromagnetik mengenai bahan dengan struktur yang periodik. Jarak yang berulang dalam struktur periodik sekitar panjang gelombang elektromagnetik yang berinteraksi. Sinar-X mempunyai gelombang yang berdekatan dengan jarak atom didalam kristal. Jika sinar datang mengenai bidang yang tersusun secara paralel dan berjarak d satu sama lain maka terdapat kemungkinan sinar datang akan dipantulkan kembali oleh bidang dan saling berinterferensi secara konstruktif menghasilkan penguatan terhadap sinar pantul menyebabkan terjadinya difraksi. Interferensi

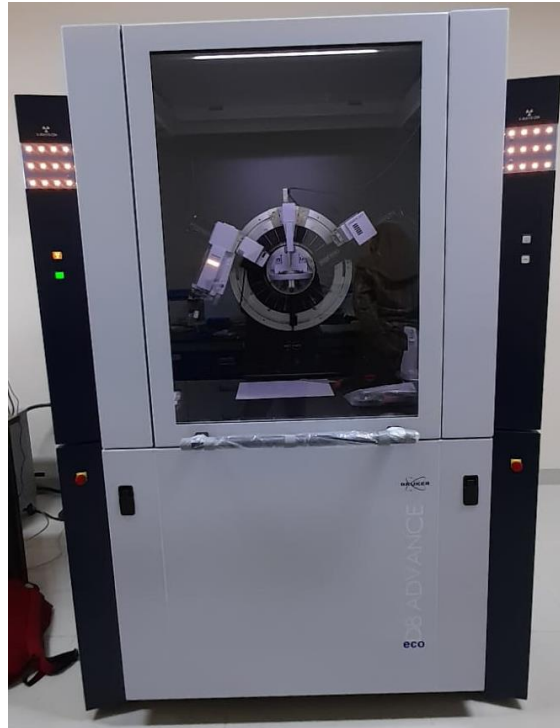
pada sinar pantul memiliki fasa yang sama yang dapat ditemukan pada pantulan sinar x tertentu.



Gambar 2.19 Pola Difraksi pada XRD

(<https://www.veqter.co.uk/residual-stress-measurement/x-ray-diffraction>)

Sinar datang (1,2,3...) dengan panjang gelombang λ mengenai rangkaian atom yang membentuk pola teratur pada bidang hkl dengan jarak antar bidang d_{hkl} akan menghasilkan sinar pantul (1',2',3'...) dengan intensitas yang diukur sebagai fungsi sudut pantul terhadap sudut datang (2θ). Interferensi konstruktif hanya dapat terjadi jika Hukum Bragg dipenuhi (Christyaningsih, 2020).



Gambar 2.20 Alat Karakterisasi *X-Ray Diffraction*

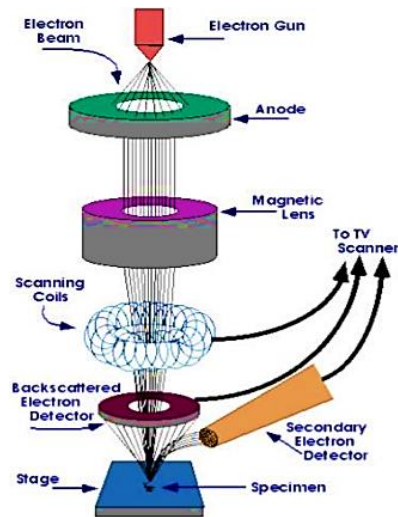
Prinsip kerja dari *X-Ray Diffraction* adalah Sinar -X yang dihasilkan pada tabung sinar X ditembakkan ke spesimen melewati rangkaian celah logam dengan nomor atom tinggi, seperti molibdenum atau tantalum. Celah logam ini digunakan sebagai penyejajar berkas sinar-X. Setelah terdifraksi oleh spesimen, berkas ini akan melewati rangkaian celah yang lain. Celah anti-hambur mengurangi radiasi latar dan meningkatkan rasio puncak dengan latar dengan cara memastikan bahwa detektor hanya dapat menerima sinar-X hanya dari area spesimen. Berkas yang telah melewati celah penerima akan menjadi konvergen. Konvergensi berkas menentukan lebar berkas yang sampai ke detektor. Peningkatan lebar celah akan meningkatkan intensitas refleksi maksimum pada pola difraksi namun, sebaliknya, akan menurunkan resolusi. Puncak difraksi atau refleksi pada pola difraksi sesuai dengan sinar-X yang

didifraksikan dari bidang kristal tertentu. Setiap puncak memiliki intensitas atau ketinggian yang berbeda, dimana intensitas ini sebanding dengan jumlah foton sinar-X atau energi tertentu yang terhitung oleh detektor pada setiap sudut 2θ . Posisi puncak difraksi tergantung pada struktur kristal, khususnya bentuk dan ukuran sel satuan, pada material spesimen. Posisi ini dapat pula dipengaruhi oleh panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Jumlah puncak difraksi suatu material akan bertambah seiring dengan menurunnya tingkat simetri struktur kristal material tersebut. (Christyaningsih, 2020).

Analisis rietveld merupakan metode pencocokan antara pola difraksi teoritis (data standar) dari kristalografi yang valid terhadap pola difraksi terukur (data eksperimen) sampai terdapat kesesuaian antara kedua kurva secara keseluruhan. Kesesuaian kedua pola diusahakan dengan metode kuadrat terkecil (least square) yang dilakukan berulang (iterasi) sehingga terdapat kecocokan antara kedua kurva. Perubahan pola difraksi teoritis untuk dapat mendekati pola difraksi terukur melalui metode penghalusan (refinement).

1.5.4 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning electron microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang digunakan untuk mengetahui morfologi atau struktur mikro permukaan dari material melalui pemindaian menggunakan berkas elektron yang difokuskan. SEM memiliki perbesaran 10-3000.000 kali, *depth of field* 4-0,4 mm, dan resolusi sebesar 1-10 nm.



Gambar 2.20 Mekanisme SEM (Agus, 2012)

Cara kerja SEM adalah dengan menembakkan elektron dari elektron gun lalu melewati condensing lenses dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh backscattered electron detector dan secondary electron detector yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk gambar pada display. Ada beberapa sinyal yang penting yang dihasilkan oleh SEM. Dari pantulan inelastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal backscattered electron. (Wijayanto, 2014). Instrumen SEM dilengkapi oleh EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) merupakan detektor dispersi energi yang digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel yang dilakukan analisis melalui sinar X yang diemisikan akibat tumbukan elektron pada atom-atom sampel. Prinsip EDS bergantung kepada interaksi antara eksitasi sinar x terhadap elektron dari kulit terluar (Kannan, 2018).

1.5.5 Spektrofotometer Inframerah (FTIR)

Spektroskopi inframerah (FTIR) salah satu metode yang biasa digunakan untuk mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah dengan rentang panjang gelombang 0.75 - 1.000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000 - 10 cm^{-1} . Prinsip kerja spektrofotometer inframerah sama dengan spektrofotometer yang lainnya yakni interaksi energi dengan suatu materi yang diujinya. Spektroskopi inframerah berfokus pada radiasi elektromagnetik pada rentang frekuensi 400 - 4000 cm^{-1} , dimana cm^{-1} yang disebut sebagai *wavenumber* (1/wavelength), yang merupakan sebuah ukuran unit untuk frekuensi.

Setiap molekul memiliki harga energi tertentu. Bila suatu senyawa menyerap energi dari sinar IR maka tingkatan energi di dalam molekul itu akan tereksitasi ke tingkatan energi yang lebih tinggi. Sesuai dengan energi yang diserap maka yang akan terjadi pada molekul itu adalah perubahan energi vibrasi yang diikuti dengan perubahan energi rotasi. Interaksi ini terjadi dengan syarat adanya perubahan momen dipol sebagai akibat dari vibrasi. Radiasi medan listrik berubah-ubah akan berinteraksi secara langsung dengan molekul dan akan menyebabkan perubahan amplitudo di salah satu gerakan molekul. Selain itu energi yang dihasilkan oleh sinar IR harus sesuai dengan energi yang dibutuhkan oleh atom untuk bervibrasi. Senyawa seperti O_2 dan N_2 tidak memiliki perubahan dipol dalam vibrasinya sehingga tidak dapat mengadsorpsi sinar IR (Earnshaw A, 1997).

Hasil dari FTIR adalah sebuah grafik frekuensi gelombang yang menunjukkan sebuah gugus fungsi tertentu, seperti berikut.

Tabel 2.2 Bilangan Gelombang Gugus Fungsi

Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah Frekuensi (cm ⁻¹)
C-H	Alkana	2850-2970
		1340-1470
C-H	Alkena	3010-3095
		675-995
C-H	Alkana	3300
O-H	Cincin Aromatik	3010-3100
		690-900
N-H	Fenol, monomer, alkohol, alkohol ikatan hydrogen	3590-3650
		3200-600
	Monomer asam karboksilat, ikatan hydrogen asam karboksilat	3500-650
		2500-2700
C=C	Amina, amida	3300-3500
C=C	Alkena	1610-1680
C=C	Cincin aromatic	1500-1600
C-N	Alkuina	2100-2260
C=N	Amina amida	1180-1360
C-O	Nitril	2210-2280
C=O	Alcohol, Eter, Asam	1690-1760
	karboksilat, Ester	
NO ₂	Senyawa nitro	1500-1570

Spektrofotometer inframerah berfungsi untuk mengidentifikasi gugus fungsional, mengidentifikasi sebuah senyawa, menentukan struktur pada molekul, mengetahui kemurnian dan mempelajari reaksi yang sedang berjalan. Setiap molekul memiliki harga energi tertentu. Bila suatu senyawa menyerap energi dari sinar IR maka tingkatan energi di dalam molekul itu akan tereksitasi keingkatan energi yang lebih tinggi. Sesuai dengan energi yang diserap maka yang akan terjadi pada molekul itu adalah perubahan energi vibrasi yang diikuti dengan perubahan energi rotasi. Interaksi ini terjadi dengan syarat adanya perubahan momen dipol sebagai akibat dari vibrasi. Radiasi medan listrik berubah-ubah akan berinteraksi dengan molekul dan akan menyebabkan perubahan amplitudo salah satu gerakan molekul. Selain itu energi yang dihasilkan oleh sinar IR harus sesuai dengan energi yang dibutuhkan oleh atom untuk bervibrasi. Senyawa seperti O₂ dan N₂ tidak memiliki perubahan dipol dalam vibrasinya sehingga tidak dapat mengadsorpsi sinar inframerah (Earnshaw A, 1997).

Karbon aktif memiliki gugus fungsi seperti O-H alkohol, C-H alifatik, C=O ester, C=C alifatik, C=C aromatik, C-O alkohol dan C-H aromatik (Jankowska, 1991). Apabila karbon aktif diimbangkan dengan logam Fe dan Ti, akan terjadi perbedaan serapan dan intensitas, daerah serapan logam terdapat pada serapan daerah fingerprint 424-454 cm⁻¹. Daya serap karbon aktif dan luas permukaan karbon aktif ditingkatkan dengan gugus fungsi tersebut. Semakin banyak gugus fungsi pada analisis FTIR maka intensitas % (persen) transmisi akan semakin menurun, penurunan tersebut menandakan bahwa proses modifikasi mengakibatkan bertambahnya gugus fungsi (Hessler, 1951).

1.5.6 *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*

Vibrating Sample Magnetometer (VSM) merupakan perangkat alat yang digunakan untuk mengetahui dan mempelajari sifat magnetik suatu bahan . sifat magnetik pada bahan terjadi akibat dari perubahan suhu, dan sifat-sifat magnetik sebagai fungsi sudut pengukuran atau kondisi anisotropik bahan (Unand, 2019). Dimana, sifat magnet suatu bahan seperti nilai magnetisasi saturasi (M_s), magnetisasi remanen (M_r) dan medan koersivitas. Magnetisasi saturasi merupakan besarnya magnetisasi setelah seluruh momen dipol magnet spin memiliki arah arah yang sama.

Salah satu keistimewaan VSM adalah merupakan vibrator elektrodinamik yang dikontrol menggunakan arus balik. Sampel dimagnetisasi dengan medan magnet homogen. Jika sampel bersifat magnetik, maka medan magnet akan memagnetisasi sampel dengan meluruskan domain magnet. Momen dipol magnet sampel akan menciptakan medan magnet di sekitar sampel, yang biasa disebut *magnetic stray field*. Ketika sampel bergetar, *magnetic stray field* dapat ditangkap oleh *coil*. Medan magnet tersebar tersebut akan menginduksi medan listrik dalam *coil* yang sebanding dengan momen magnetik sampel. Semakin besar momen magnetik, maka akan menginduksi arus yang semakin besar. Dengan mengukur arus sebagai fungsi medan magnet luar, suhu maupun orientasi sampel, berbagai sifat magnetik bahan dapat dipelajari. Karakterisasi sifat magnetik dengan VSM, data yang diperoleh dari karakterisasi sifat magnet berupa kurva histeresis dengan sumbu x merupakan medan magnet yang menginduksi sampel dalam satuan Tesla atau Oersted dan sumbu y merupakan magnetisasi sampel dalam satuan emu/gram.