# I. TINJAUAN PUSTAKA

## A. Definisi Air Payau

Menurut Soedjono (2002), air payau terjadi karena intrusi air asin ke air tawar, hal ini dikarenakan adanya degradasi lingkungan. Pencemaran air tawar juga dapat terjadi karena fenomena air pasang naik. Saat air laut meluap, masuk ke median sungai, kemudian terjadi pendangkalan di sekitar sungai sehingga air asin ini masuk ke dalam air tanah dangkal dan menjadi payau. Air dikategorikan sebagai air payau bila konsentrasinya 0,05 sampai 3% atau menjadi *saline* bila konsentrasinya 3 sampai 5%. Lebih dari 5% disebut *brine* (Anonim, 2007). Menurut Soedjono (2002), berdasarkan kandungan kloridanya, maka air dibedakan atas air :

a. Air tawar (< 1.000 mg/L)
b. Air payau (*brackish* = 1.000 – 35.000 mg/L)
c. Air asin (*saline* = ≤ 35.000 mg/L)
d. *Brine* (berkadar garam tinggi : Laut Mati)

Tabel 2.1. Ion pembentuk garam yang umum ditemukan dalam air laut (Caecilia, 2008).

| Kation/ Anion | Konsentrasi (ppm) | Persen relatif (%) |
|---|---|---|
| Klorida, $Cl^-$ | 18,980 | 56,7 |
| Natrium, $Na^+$ | 10,556 | 31,5 |
| Sulfat, $SO_4^{2-}$ | 2,649 | 7,9 |
| Magnesium, $Mg^{2+}$ | 1,272 | 3,8 |
| Kalsium, $Ca^{2+}$ | 0,400 | $1 \times 10^{-3}$ |
| Kalium, $K^+$ | 0,380 | $1 \times 10^{-3}$ |
| Bromida, $Br^-$ | 0,065 | $2 \times 10^{-4}$ |
| Srontium, $Sr^{2+}$ | 0,013 | $3 \times 10^{-5}$ |

| | | |
|---|---|---|
| Fluorida, $F^-$ | 0,001 | $3 \times 10^{-6}$ |

Selain memiliki kadar garam yang tinggi, air payau juga mengandung bahan organik alami yang pada umumnya disebut *Natural Organic Matter* (NOM) dalam kadar yang tinggi. NOM diindentikkan dengan senyawa humat yang merupakan golongan senyawa organik alami yang paling banyak terdapat di lingkungan, baik tanah maupun air. Istilah senyawa humat tidak mengacu pada golongan senyawa organik murni tetapi mengacu pada campuran senyawa organik dengan karakteristik yang beragam. Keragaman karakteristik tersebut timbul sebagai akibat peranan berbagai faktor yang terlibat dalam proses pembentukkannya di alam, meliputi senyawa asalnya (prekursor) yang dapat berupa sisa tanaman maupun hewan, reaksi pembentukan yang melibatkan reaksi kimia atau biologis, dan kondisi lingkungan proses pembentukan berlangsung (Simon *et al*., 1994; Bruchet and Rybacki, 1994). Dari berbagai penelitian telah diketahui bahwa senyawa humat memiliki komponen yang berperan dalam penyebaran logam berat dan polutan organik dalam tanah dan air sehingga perlu dilakukan karakteisasi dengan spektrofotometri UV-Vis pada sampel air payau.

## B. Karakteisasi *Natural Organic Matter* (NOM) dengan Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis merupakan teknik spektroskopi yang paling sederhana sehingga teknik ini digunakan cukup luas dalam penelitian senyawa humat. Meskipun sangat bervariasi, senyawa humat diketahui mempunyai suatu kesamaan yakni, terbentuk dari unsur utama yang sama meliputi C, H, O, N dan S (Peuravuori *et al*., 1997; Maurice *et al*., 2002), mengandung gugus fungsi hidroksi, metoksi dan gugus karboksil sebagai gugus fungsi utama yang terikat pada gugus aromatis maupun alifatis (Newcombe *et al*., 1997). Penggunaan

spektrofotometri UV-Vis juga didukung kesederhanaan prosedur, penggunaan sampel secara langsung, volume sampel yang sangat kecil (Novak, *et al*., 1992). Metode ini sangat praktis untuk menganalisis jumlah sampel yang banyak secara cepat, sehingga sering dimanfaatkan untuk studi perbandingan senyawa humat dari berbagai sumber yang berbeda (Kukkonen, 1992; Petterson *et al*., 1994).

Salah satu kekurangan spektroskopi UV-Vis dalam penggunaannya untuk menganalisis senyawa humat adalah bentuk spektrumnya yang tidak menunjukkan adanya maksimal dan minimal, yang lazim ditemukan pada spektrum UV-Vis senyawa organik murni, sehingga teknik ini tidak menghasilkan informasi tentang gugus fungsi spesifik dalam sampel yang berperan menghasilkan spektrum seperti yang diperoleh dengan sampel murni (Hautala *et al.*,2000). Meskipun demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum, adsorbansi sampel mengalami penurunan dengan penurunan konsentrasi senyawa humat, yang menunjukkan bahwa spektrum UV-Vis menunjukkan adanya korelasi antara konsentrasi kompenen senyawa humat dengan absorbansinya.

Dari rentang panjang gelombang dalam daerah UV-Vis, absorbansi pada panjang gelombang 254 nm merupakan data yang sangat luas dimanfaatkan untuk membandingkan karakteristik senyawa humat dari berbagai sumber (Korshin *et al.*, 1997; Hejzlar *et al*., 1994; Muller and Frimmel, 2002). Dalam aplikasinya, absorbansi pada panjang gelombang tertentu dinyatakan sebagai absorptivitas atau absorbansi ultraviolet spesifik (SUVA), yang merupakan nisbah absorbansi pada panjang gelombang tertentu dengan konsentrasi bahan organik terlarut yang terkandung dalam sampel (*dissolved organic carbon*, DOC). Berdasarkan definisi ini, SUVA dapat dimanfaatkan untuk membandingkan distribusi DOC dalam sampel dari sumber yang berbeda (Siddiqui *et al.*,2000). Karena karakteristik penyerapan sinar UV-Vis oleh senyawa organik sangat ditentukan oleh jenis dan jumlah komponen yang ada dalam sampel,

hubungan antara SUVA dengan berbagai karakteristik struktural senyawa humat dapat diperoleh dari hasil analisis dengan metode spektroskopi ini. Sebagai contoh, sejumlah studi telah menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai $SUVA_{254}$ yang dimiliki oleh senyawa humat, semakin tinggi senyawa fenolik dan semakin kecil nisbah H/C yang dimiliki oleh sampel (Hejzlar *et al.*, 1994). Nilai $SUVA_{254}$ yang semakin besar juga telah ditemukan menunjukkan semakin tingginya sifat aromatis (Novak *et al.*, 1992) dan semakin kecilnya bobot molekul nominal yang dimiliki oleh komponen senyawa humat (Lin *et al.*, 1999). Selain $SUVA_{254}$, nilai SUVA pada panjang gelombang lainnya juga telah dimanfaatkan dengan tujuan yang sama, antara lain $SUVA_{272}$ (Traina *et al.*, 1990) dan $SUVA_{285}$ (Chin *et al*., 1994).

Dari berbagai nisbah yang dapat diturunkan, nisbah absorbansi pada panjang gelombang 254 nm dengan absorbansi pada panjang gelombang 365 nm ($E_2/E_3$) dan nisbah absorbansi pada panjang gelombang 465 nm dengan absorbansi pada 656 nm ($E_4/E_6$) merupakan nisbah absorbansi yang paling penting karena nilai keduanya diketahui berbanding terbalik dengan bobot molekul nominal senyawa humat, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai petunjuk keragaman bobot molekul yang dimiliki oleh komponen dalam sampel senyawa humat yang diperoleh dari berbagai sumber fraksi yang diturunkan dari suatu sampel senyawa humat (Peuravuori *et al*., 1997; Thomsen *et al.*, 2002).

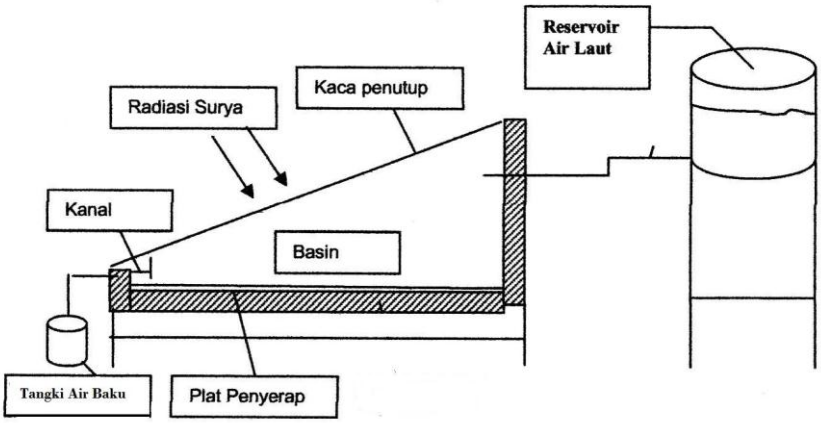
## C. Metode Desalinasi

Metode desalinasi merupakan salah satu proses pemurnian air untuk mendapatkan air dengan kemurnian tinggi atau untuk memperoleh air bersih dari air yang memiliki kadar garam tinggi seperti air laut. Teknologi proses desalinasi yang telah banyak dikenal diantaranya; proses destilasi surya, filtrasi membran, osmosis balik atau *Reverse Osmosis* (RO), proses pertukaran ion, elektrodialisis (ED), elektrokoagulasi, dan adsorpsi.

## 1. Proses Destilasi Surya

Proses destilasi surya merupakan proses pemisahan komponen yang mudah menguap dari suatu campuran cair dengan cara menguapkannya dan menampung kondensat yang dihasilkan. Penerapan metode desalinasi mengunakan metode destilasi didasarkan pada perbedaan titik didih antara air dan garam yang sangat besar. Pada hakekatnya desalinasi dapat dilakukan dengan metode destilasi sederhana. Namun, metode ini tidak efektif untuk skala besar, terutama karena jumlah kebutuhan energi yang sangat tinggi.

Dewasa ini metode destilasi yang masih terus dikembangkan yakni destilasi surya dengan mengandalkan energi matahari (Lempoy dkk., 2003). Salah satu contoh destilasi surya yang telah dikembangkan yakni tipe basin (Astawa, 2008) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1.




Gambar 2.1. Skema destilasi energi surya (Astawa, 2008)

Prinsip destilasi surya tipe basin yakni radiasi surya menembus kaca penutup dan mengenai permukaan dari plat penyerap, maka plat penyerap akan panas dan energi panas dari plat penyerap akan memanasi air laut yang ada di dalam kolam (basin). Air akan menguap dan berkumpul di bawah permukaan kaca penutup. Hal tersebut menyebabkan suhu udara di

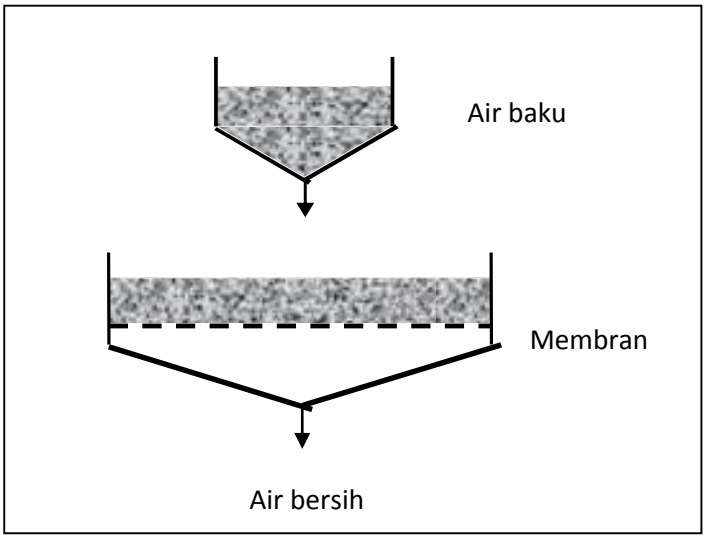
dalam basin lebih tinggi dari pada suhu lingkungan, maka akan terjadi kondensasi yaitu uap berubah menjadi cair dan melekat pada kaca penutup bagian dalam. Air bersih akan mengalir mengikuti kemiringan kaca penutup dan masuk ke dalam kanal, terus mengalir ke tempat penampungan air bersih, sedangkan garam akan tinggal di atas plat penyerap karena adanya perbedaan massa jenis (Astawa, 2008).

## 2. Filtrasi Membran

Membran merupakan media pemisah yang bersifat selektif permeabel dengan menahan komponen tertentu dan melewatkan komponen lainnya. Proses pemisahan dengan menggunakan membran pada pemisahan fasa cair-cair umumnya didasarkan atas ukuran partikel dan beda muatan dengan gaya dorong (*driving force*) berupa beda tekanan, medan listrik, dan beda konsentrasi. Perbedaan ini didasarkan pada tekanan operasi yang digunakan dan ukuran pori membran. Semakin kecil ukuran pori membran maka tekanan operasi yang digunakan akan semakin tinggi (Misran, 2002). Selain dibedakan berdasarkan gaya dorong, membran juga dapat dibedakan berdasarkan tipe material pembuatan membran, mempunyai lapisan yang sangat tipis antara 0,20-0,25 µm dengan ketipisan ukuran pori antara 100 µm.

Berdasarkan ukuran pori membran yang digunakan metode filtrasi membran dibedakan menjadi tiga yakni mikrofiltrasi, ultrafiltrasi dan nanofiltrasi (Widjaja dkk., 2008). Dari ketiga metode tersebut, metode yang paling tepat untuk desalinasi air laut adalah nanofiltrasi, karena ukuran porinya yang sesuai untuk menahan molekul-molekul garam sehingga terpisah dari molekul air. Membran yang paling sering digunakan adalah *flat sheets, fine hollow fibers,* dan *tubular form* (Metcalf and Eddy, 2004 ). Metode filtrasi membran memiliki beberapa keunggulan dibandingkan teknologi pemisahan lainnya, seperti pemakaian energi yang rendah, sederhana dan ramah lingkungan. Permasalahan dalam penerapannya yakni

harga membran yang relatif mahal dan terjadinya *fouling* (tertutupnya pori membran) sehingga mengakibatkan efektifitasnya menurun seiring waktu (Angga, 1996). Secara sederhana, proses filtrasi dapat dilakukan dengan melewatkan air baku melalui lapisan membran, seperti ditunjukan dalam Gambar 2.2.



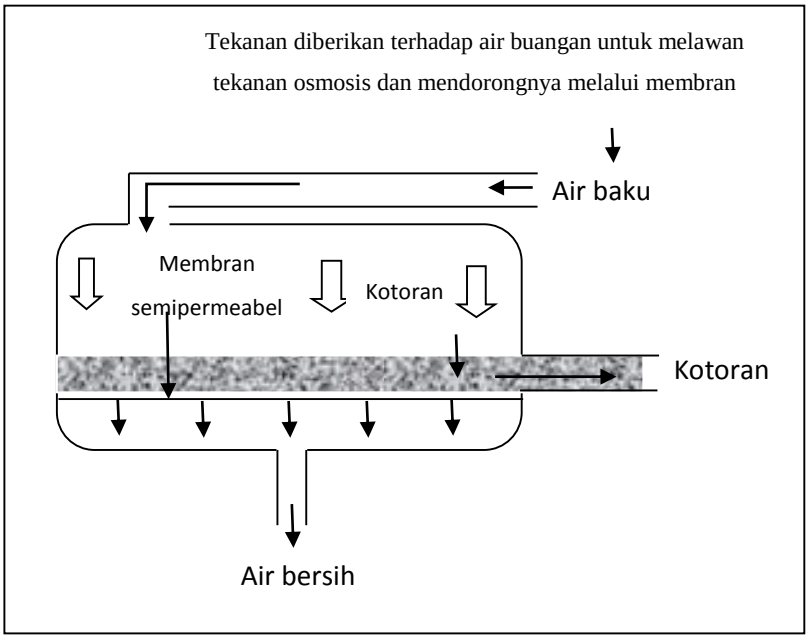

Gambar 2.2. Skema proses filtrasi membran (Angga, 1996)

### 3. Osmosis Balik atau *Reverse Osmosis* (RO)

Osmosis balik merupakan salah satu contoh pengembangan teknologi dari metode filtrasi membran. Menurut Metcalf and Eddy (2004), membran *Reverse Osmosis* tidak membunuh mikroorganisme melainkan hanya membuang dan menghambatnya. Pada desain sistem membran RO terdapat beberapa parameter-parameter kritis yang harus diuji secara cermat, yaitu; kalsium, magnesium, kalium, mangan, natrium besi, sulfat, barium, khlorida, amonia, fosfat, nitrat, stronsium, dan sebagainya. Apabila parameter- parameter tersebut dibiarkan maka akan terjadi penyumbatan (*fouling*) (Hartomo dan Widiatmoko, 1994).

Prinsip kerja filter *Reverse Osmosis* adalah berdasarkan pada peristiwa osmosis yang terjadi di alam. Osmosis adalah peristiwa bergeraknya air dari larutan yang mempunyai konsentrasi

lebih rendah melalui membran semi permeabel ke larutan yang mempunyai konsentrasi lebih tinggi sampai tercapainya keseimbangan. Proses *Reverse Osmosis* merupakan kebalikan dari proses osmosis, yaitu memberikan tekanan balik dengan tekanan osmotik lebih besar pada permukaan cairan yang lebih kental, maka cairan yang akan menembus permukaan membran menjadi cairan yang lebih murni, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 (Heitmann, 1990).




Gambar 2.3. Skema mekanisme osmosis balik (Heitmann, 1990).

Dalam proses filtrasi menggunakan membran *reverse osmosis*, terdapat beberapa faktor yang saling berkaitan sehingga akan mempengaruhi kualitas air hasil filtrasi. Keuntungan dari *Reverse Osmosis* antara lain :

a. Bisa mengurangi jumlah dari pengolahan kimia,

b. Mengurangi kebutuhan laboratorium,

c. Dapat mencapai pada tekanan tinggi,

d. Dapat mengurangi kandungan garam, karbonat, *total hardness*, sulfat, dan nitrat dari air umpan. Zat-zat yang tidak terlarut dalam air juga dipisahkan seperti koloid dan bakteri (Metcalf and Eddy, 2004).

Kerugian dari *reverse osmosis* yaitu sering terjadi penyumbatan *(fouling/clogging)* karena bahan-bahan tertentu pada permukaan membran, seperti membran berkerak karena pengendapan garam terlarut dalam air karena konsentrasi air cukup pekat dan batas kelarutan terlampaui. Kerak dapat berupa kalsium karbonat atau sulfat, silika, dan kalsium klorida (Misran, 2002), dan perawatannya lebih mahal dibandingkan dengan pengolahan secara konvensional (Metcalf and Eddy, 2004).

**4. Proses Pertukaran Ion**

Metode pertukaran ion merupakan suatu metode yang digunakan untuk memisahkan ion-ion yang tidak dikehendaki berada dalam larutan, untuk dipindahkan kedalam media padat yang disebut dengan media penukar ion, dimana media penukar ion ini melepaskan ion lain kedalam larutan. Jika suatu larutan yang mengandung anion atau kation dikontakkan dengan media penukar ion, maka akan terjadi pertukaran anion dengan mekanisme reaksi sebagai berikut:

a. Mekanisme proses pertukaran ion dengan resin penukar ion $H^+$ dan $OH^-$.

Jika dalam larutan terdapat garam NaCl, maka resin kation $H^+$akan mengikat $Na^+$ dengan mekanisme reaksi:

$$R\text{-}H^+ + Na^+ \rightarrow R\text{-}Na + Cl^- \quad (1)$$

Sedangkan resin anion $OH^-$ akan mengikat $Cl^-$ dengan mekanisme reaksi:

$$R\text{-}OH^- + Cl^- \rightarrow R\text{-}Cl + OH^- \quad (2)$$

Resin penukar ion (*ion exchange*) yang merupakan media penukar ion sintetis pertama kali dikembangkan oleh Adam dan Holmes. Penemuan ini membuka jalan pembuatan resin hasil polimerisasi stirena dan divinil benzena. Bentuk resin penukar ion ini bermacam-macam yaitu dapat berupa butiran, *powder*, membran atau *fiber* (Kusumahati, 1998). Resin merupakan senyawa hidrokarbon terpolimerisasi tingkat tinggi yang mengandung ikatan hubung silang *(cross-linking)* serta ion-ion yang dapat dipertukarkan. Berdasarkan gugus fungsionalnya, resin penukar ion terbagi menjadi dua yaitu resin penukar kation dan resin penukar anion (Lestari dan Utomo, 2006). Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Fajar (2007) dengan menggunakan resin penukar ion kation *Dowex- 50 tipe* H dan penukar anion *Dowex -1 tipe* OH, diketahui bahwa resin mampu menukarkan kation dan anion dalam 500 ml air laut dengan setiap 150 gram.

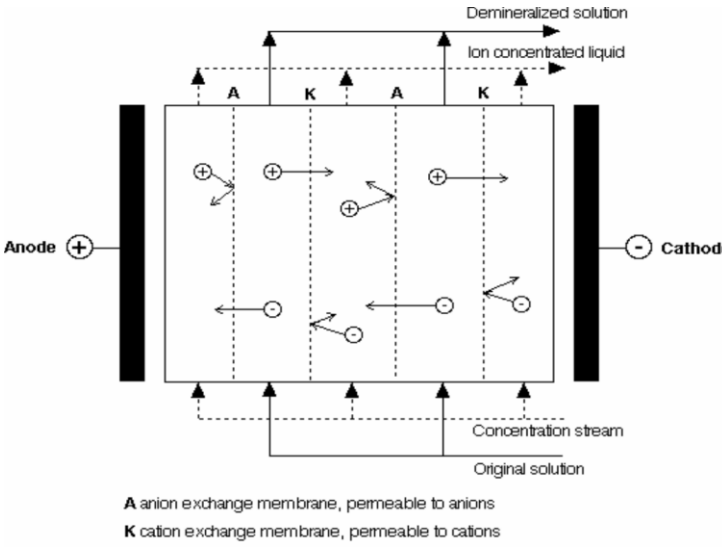
## 5. Elektrodialisis (ED)

Elektrodialisis merupakan suatu proses pemisahan dengan menggunakan membran tukar kation, dimana ion berpindah dari larutan yang satu ke larutan yang lain melalui membran tersebut karena adanya perbedaan tegangan listrik. Proses tersebut berjalan dalam tempat yang dinamakan sel elektrodialisis.

### a. Mekanisme membran elektrodialisis

Elektrodialisis merupakan salah satu proses pemisahan ion-ion dari suatu larutan dengan menggunakan arus listrik melalui membran semipermiabel yang bersifat permeabel terhadap ion tertentu. Proses ini menghasilkan satu bagian yang pekat yang disebut *"Konsentrat"* dan bagian lain yang encer disebut *"Diluat"* (Wenten dan Adityawarman, 1999). Penggunaan

utama proses elektrodialisis adalah pada proses *desalting* larutan ionik, pemisahan asam amino, proses klor-alkali, proses produksi NaOH dan $H_2SO_4$. Mekanisme pemisahan ion berdasarkan teknologi membran elektrodialisis ditunjukkan pada Gambar 2.4.




Gambar 2.4. Mekanisme pada elektrodialisis (Mulder, 1991)

Prinsip dasar proses pemisahan ion dari larutan induk dan pengurangan ion-ion lainnya adalah penggunaan membran bermuatan dan arus listrik yang diperlukan sebagai gaya pendorong. Penentuan kuat arus yang diperlukan untuk penarikan ion-ion dari suatu larutan didasarkan atas besarnya potensial standar dari setiap ion. Penggunaan metode elektrodialisis mempunyai kelemahan seperti molekul organik yang terkandung dalam air laut tidak dapat dihilangkan dan cenderung terkumpul pada membran sehingga mengurangi efektivitas sel, dan harga membran yang relatif mahal sehingga metode ini kurang tepat diaplikasikan di Indonesia (Liya, 2010).

## D. Koagulasi

Koagulasi adalah metode untuk menghilangkan bahan-bahan limbah dalam bentuk koloid. Pada proses koagulasi, partikel-partikel koloid akan saling menarik dan menggumpal membentuk flok (Suryadiputra, 1995). Proses ini biasa disebut proses netralisasi. Akibat

penetralan muatan ini, partikel polutan dalam air akan menggumpal karena berkurangnya gaya kohesi antar partikel (Gregor *et al.,* 1997). Metode koagulasi dibagi menjadi, koagulasi konvensional dan koagulasi secara elektrokimia atau elektrokoagulasi.

**1. Koagulasi Konvensional**

Koagulasi konvensional pada umumnya dilakukan dengan menebar koagulan ke dalam air limbah yang akan diolah untuk menurunkan kekeruhan, warna, senyawa patogen, dan kontaminan (Viesman and Hammer, 1998; Eikebrokk, 1999). Bahan-bahan kimia yang digunakan sebagai koagulan antara lain alumunium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) (Gregor *et al.,* 1997); ferrosulfat hidrat ($FeSO_4.7H_2O$), ferri klorida ($FeCl_3$) (Ritter *et al.,* 1999); ferri sulfat ($Fe(SO_4)_3$) dan polialumunium klorida $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$ (Tumbas *et al.,* 1999).

Dalam metode konvensional ini, proses pengendapan dapat terjadi melalui dua tahap yakni destabilisasi suspensi koloid dan flokulasi. Destabilisasi adalah proses fisika kimia yang disebabkan oleh penambahan koagulan yang memiliki muatan berlawanan sehingga terjadi gaya tarik-menarik antara partikel dan koagulan (Raju, 1995). Destabilisasi suspensi koloid akan membentuk flok yang terjadi akibat pentralan muatan, gaya tolak-menolak antar partikel tersuspensi akan hilang dan gaya kohesi antar partikel akan bekerja sehingga partikel-partikel tersebut bergabung menjadi partikel lebih besar dan dilanjutkan dengan pemisahan endapan (Chow *et al.,* 1999). Selain itu, partikel yang larut atau koloid berkelompok membentuk flok. Proses selanjutnya adalah flokulasi, yaitu pembentukan gumpalan yang telah didestabilisasi melalui penggabungan partikel-partikel secara kimia (Viesman and Hammer, 1998).

Faktor-faktor yang mempengaruhi koagulasi konvensional antara lain adalah jenis limbah, pH, sifat fisika kimia (Kuusik dan Viisma, 1999; Edzwald dan Tobiason, 1999), pengadukan, temperatur dan waktu (Arifin, 1989). Dari berbagai faktor tersebut, yang paling berperan

untuk menentukkan efektivitas koagulasi adalah komposisi dan pH (Gregor *et al.*, 1997), serta waktu (Chow *et al.*, 1999).

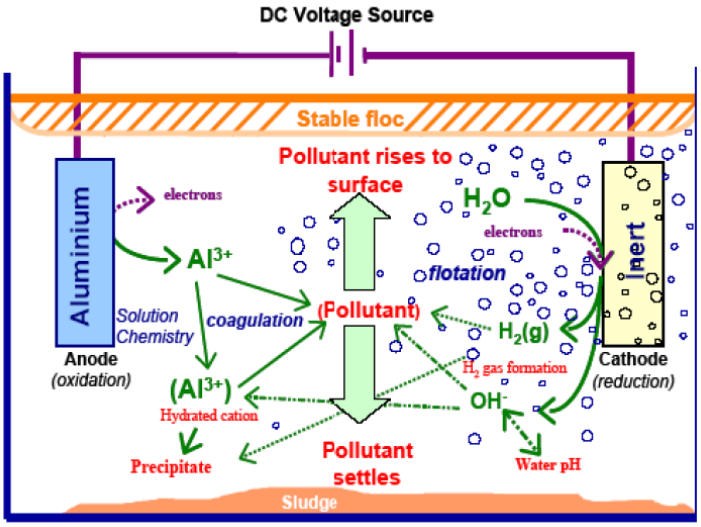
Proses koagulasi secara konvensional tetap diterapkan dalam berbagai penelitian untuk pengolahan limbah cair dan air minum. Seperti yang telah dilakukan oleh Bolto *et al*. (1999) untuk pengolahan air minum menggunakan alumunium, yang menunjukkan bahwa persentase penurunan konsentrasi bahan organik adalah antara 88-91%. Hasil penelitian Tumbas *et al*. (1999) untuk pengolahan air minum, koagulan alumunium mampu menurunkan kadar TOC sebesar 61%. Koagulasi juga telah dimanfaatkan untuk mengolah limbah cair, misalnya oleh Bunker and Edzwald. (1995) dan menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi bahan organik lebih dari 80% dapat dicapai dengan menggunakan alumunium.

**2. Koagulasi secara elektrokimia (elektrokoagulasi)**

Elektrokoagulasi adalah proses penggumpalan dan pengendapan partikel-partikel halus dalam air menggunakan energi listrik. Proses elektrokoagulasi dilakukan pada bejana elektrolis yang di dalamnya terdapat dua penghantar arus listrik searah yang disebut elektroda yang tercelup dalam larutan limbah sebagai elektrolit. Apabila dalam suatu larutan elektrolit di tempat dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, yaitu ion positif (kation) bergerak ke anoda dan (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron menerima elektron yang dioksidasi, sehingga membentuk flok yang mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam limbah (Djajadiningrat, 2004).

Prinsip metode ini berdasarkan adanya respon air yang mengandung kontaminan terhadap medan listrik melalui reaksi reduksi dan oksidasi dan dapat menghilangkan beberapa kation berat 99% serta dapat mengurangi mikroorganisme dalam air. Beberapa ion lainnya dan

koloid-koloid dapat dihilangkan, seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. mekanisme yang terjadi pada elektrokoagulasi.




Gambar 2.5**.** Mekanisme pada elektrokoagulasi (Holt *et al*., 2006).

Beberapa material elektroda dapat dibuat dari aluminium, besi, *stainless steel* dan platina. Aluminium merupakan material anoda yang sering digunakan.

Menurut Iswanto (2001) reaksi yang terjadi pada elektroda tersebut sebagai berikut:

Elektrolisis: $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$ (3)

Katoda: $2H_2O + 2^{e-} \rightarrow OH^- + H_2\uparrow$ (4)

Anoda: $2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2\uparrow + 4e^-$ (5)

Reaksi total:

$$Al + 6H_2O \rightarrow 3H_2\uparrow + 6\ OH^- + 2\ Al^{3+} \quad (6)$$

$$Al + 6H_2O \rightarrow 3H_2\uparrow + 2\ Al(OH)_3 \quad (7)$$

Dalam penelitian ini, efektivitas proses eletrokoagualasi akan dipantau menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan menggunakan perubahan absorbansi pada panjang gelombang, yakni 254, 272, 285, 365, 436, dan 665 nm (Akbar, 2011), karena absorbansi

pada panjang gelombang tersebut diketahui mempunyai korelasi yang baik dengan konsentrasi NOM atau senyawa humat dari berbagai sumber yang telah dijelaskan sebelumnya. Pemanfaatan metode UV-Vis juga memungkinkan untuk menentukan selektifitas proses elektrokoagulasi, yakni dengan memantau perubahan berat molekul rata-rata polutan dalam air limbah (Kittis *et al*., 2002; Thomsen *et al*., 2002). Perubahan berat molekul rata-rata polutan ini ditentukan dengan menghitung $E_2/E_3$, yakni perbandingan absorbansi pada panjang gelombang 254 nm terhadap absorbansi pada pajang gelombang 365 nm, serta $E_4/E_6$, yakni perbandingan absorbansi pada panjang gelombang 436 nm terhadap absorbansi pada panjang gelombang 665 nm. Berdasarkan literatur, nilai dari perbandingan absorbansi di atas berbanding terbalik dengan berat molekul rata-rata polutan dalam air limbah, yakni semakin besar nilai $E_2/E_3$ maka berat molekul rata-rata polutan dalam limbah semakin menurun (Thomsen *et al*., 2002).

## E. Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses penggumpalan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan, oleh permukaan zat atau benda penyerap, dimana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dengan penyerapnya. Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan pada permukaan suatu adsorben. Adsorben ialah zat yang melakukan penyerapan terhadap zat lain (baik cairan maupun gas) pada proses adsorpsi. Penggunaan jenis adsorben pada proses adsorpsi, disesuaikan dengan sifat dan keadaan zat yang akan diadsorpsi. Zat yang teradsorpsi disebut sebagai adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut adsorben (Bernasconi *et al*., 1995).

Adsorpsi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu adsorpsi fisika disebabkan oleh gaya *Van Der Waals* (penyebab terjadinya kondensasi gas untuk membentuk cairan yang ada pada permukaan adsorben) dan adsorpsi kimia (terjadi reaksi antara zat yang diserap dengan

adsorben, banyaknya zat yang teradsorpsi tergantung pada sifat khas zat padatnya yang merupakan fungsi tekanan dan suhu).

**a. Adsorpsi fisika**

Berhubungan dengan gaya *Van Der Waals*, apabila daya tarik menarik antara zat terlarut dengan adsorben lebih besar dari daya tarik menarik antara zat terlarut dengan pelarutnya, maka zat yang terlarut akan diadsorpsi pada permukaan adsorben. Adsorpsi ini mirip dengan proses kondensasi dan biasanya terjadi pada temperatur rendah, pada proses ini gaya yang menahan molekul fluida pada permukaan solid relatif lemah, dan besarnya sama dengan gaya kohesi molekul pada fase cair (gaya *Van Der Waals*) mempunyai derajat yang sama dengan panas kondensasi dari gas menjadi cair, yaitu sekitar 2,19-21,9 kg/mol. Keseimbangan antara permukaan solid dengan molekul fluida biasanya cepat tercapai dan bersifat reversibel.

**b. Adsorpsi kimia**

Yaitu reaksi yang terjadi antara zat padat dengan zat terlarut yang teradsorpsi. Adsorpsi ini bersifat spesifik dan melibatkan gaya yang jauh lebih besar daripada adsorpsi fisika. Panas yang dilibatkan adalah sama dengan panas reaksi kimia. Menurut Langmuir, molekul teradsorpsi ditahan pada permukaan oleh gaya valensi yang tipenya sama dengan yang terjadi antara atom-atom dalam molekul. Karena adanya ikatan kimia maka pada permukaan adsorben akan terbentuk suatu lapisan atau layer, dimana terbentuknya lapisan tersebut akan menghambat proses penyerapan selanjutnya oleh batuan adsorben sehingga efektifitasnya berkurang (Brady, 1999). Beberapa perbedaan penting antara adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2**.** Perbedaan antara adsorpsi fisika dengan adsorpsi kimia (Bernasconi *et al*., 1995)

| No | Parameter | Adsorpsi fisika | Adsorpsi kimia |
|---|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Adsorbat | semua gas | kecuali gas mulia |
| 2 | Jenis ikatan | Fisika | Kimia |
| 3 | Panas adsorpsi | 5–10 kkal/mol gas | 10-100 kkal/mol gas |
| 4 | Temperatur operasi | di bawah suhu kritis | di atas suhu kritis |
| 5 | Energi aktivasi | kurang dari 1 kkal/mol | 10-60 kkal/mol |
| 6 | Reversibilitas | *Reversible* | tidak selamanya *reversible* |
| 7 | Tebal lapisan | banyak *(multilayer)* | satu *(monolayer)* |
| 8 | Kecepatan adsorpsi | Besar | Kecil |
| 9 | Jumlah zat teradsorpi | sebanding dengan kenaikan tekanan | sebanding dengan banyaknya inti aktif adsorben yang dapat bereaksi dengan adsorbat |
| 10 | Adsorben | semua jenis | Terbatas |

**1) Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi**

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi suatu adsorben diantaranya adalah sebagai berikut (Junaidi, 2009):

a. **Luas permukaan adsorben**. Semakin luas permukaan adsorben, semakin banyak adsorbat yang diserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Semakin kecil ukuran diameter pertikel maka semakin luas permukaan adsorben.

b. **Ukuran partikel**. Makin kecil ukuran partikel yang digunakan maka semakin besar kecepatan adsorpsinya. Ukuran diameter dalam bentuk serbuk adalah 200 mesh.

c. **Waktu kontak.** Semakin lama waktu kontak dapat memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Konsentrasi zat-zat organik akan turun apabila kontaknya cukup dan waktu kontak biasanya sekitar 10-15 menit.

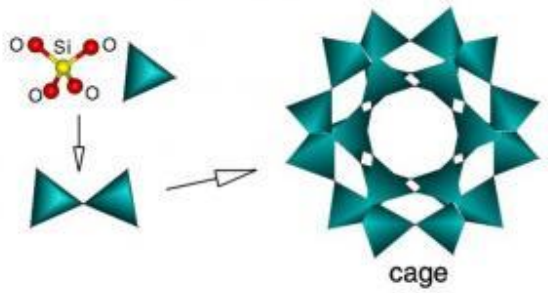
d. **Distribusi ukuran pori.** Distribusi ukuran pori akan mempengaruhi distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk kedalam partikel adsorben. kebanyakan zat pengadsorpsi atau adsorben merupakan bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau letak-letak tertentu didalam partikel tersebut.

## 2) Jenis – Jenis adsorben

### a. Zeolit

Zeolit berbentuk kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung muatan positif dari ion-ion logam alkali dan alkali tanah dalam kerangka kristal tiga dimensi (Hay, 1966), dengan setiap oksigen membatasi antara dua tetrahedral dan merupakan padatan kristalin dengan kandungan utama silikon, aluminium, dan oksigen serta mengikat sejumlah molekul air di dalam porinya.

Beberapa spesimen zeolit berwarna putih, kebiruan, kemerahan, coklat, dan lain-lain, karena hadirnya oksida besi atau logam lainnya. Densitas zeolit antara 2,0-2,3 g/cm$^3$, dengan bentuk halus dan lunak. Kilap yang dimiliki bermacam-macam. Struktur zeolit dapat dibedakan dalam tiga komponen yaitu rangka aluminosilikat, ruang kosong saling berhubungan yang berisi kation logam, dan molekul air dalam fase *occluded* (Harben and Kuzvart, 1996).




Gambar 2.6. Rangka zeolit yang terbentuk dari ikatan 4 atom O dengan 1 atom Si (Bell, 2001)

Mineral zeolit dikenal sebagai bahan alam dan umumnya dalam bentuk batuan *clinoptilolite, mordenite, barrerite, chabazite, stilbite, analcime* dan *laumonlite*, sedangkan *offerite, paulingite, dan mazzite* hanya sedikit dan jarang dijumpai. kapasitas adsorpsi zeolit tidak mengalami penurunan, molekul air harus dikeluarkan dari dalam rongga zeolit, yaitu dengan

cara pemanasan hingga suhu $150^0$C. Penggunaan zeolit cukup banyak, misalnya untuk industri kertas, karet, plastik, agregat ringan, semen puzolan, pupuk, pencegah polusi, pembuatan gas asam, tapal gigi, mineral penunjuk eksplorasi, pembuatan batubara, pemurnian gas alam, industri oksigen, dan industri petrokimia (Rakhmatullah dkk., 2007).

**b. Karbon Aktif**

Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf, yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Sifat karbon aktif yang paling penting adalah daya serap. Untuk menghilangkan bahan-bahan terlarut dalam air, biasa menggunakan karbon aktif dengan mengubah sifat permukaan partikel karbon melalui proses oksidasi. Partikel ini akan menyerap bahan-bahan organik dan akan terakumulasi pada bidang permukaannya. Pada umumnya ion organik dapat diturunkan dengan karbon aktif.

a. Pembuatan karbon aktif

Secara umum dan sederhana, proses pembuatan karbon aktif terdiri dari 3 tahap, yaitu :

1. *Dehidrasi* : proses penghilangan air dimana bahan baku dipanaskan sampai temperatur 170°C.
2. *Karbonisasi* : pemecahan bahan-bahan organik menjadi karbon. Suhu diatas 170°C akan menghasilkan CO dan $CO_2$. Pada suhu 275°C, dekomposisi menghasilkan “tar”, methanol dan hasil samping lainnya. Pembentukan karbon terjadi pada temperatur 400-600°C.
3. *Aktifasi* : dekomposisi tar dan perluasan pori-pori. Dapat dilakukan dengan uap atau $CO_2$ sebagai aktifator (Pari, 1996).

Karbon aktif mempunyai warna hitam, tidak berasa dan tidak berbau, berbentuk bubuk dan granular, mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan arang yang belum mengalami proses aktifasi, mempunyai bentuk amorf yang terdiri dari plat-plat dasar dan disusun oleh atom-atom karbon C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi yang heksagon. Karbon aktif dapat digunakan sebagai penyerap uap, berfungsi untuk memperoleh kembali pelarut, sebagai katalis, pemisahan dan pemurnian gas. Selain itu karbon aktif digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan warna, pengolahan limbah, pemurnian air, dan pemucat minyak (Alfi, 2006).

**c. Silika**

Silika merupakan material yang terbentuk di alam dan keberadaanya dapat ditemukan pada pasir kuarsa, bebatuan, kritobalit, dan trimidit. Material ini banyak digunakan dalam industri baja dan keramik. Silika terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat serta memiliki struktur dengan empat atom oksigen terikat pada posisi sudut tetrahedral di sekitar atom pusat yaitu atom silikon. Sudut ikatan di sekitar O-Si-O merupakan sudut tetrahedral sebesar 109 derajat, jarak antara atom Si-O sebesar 1,61 Å. Silika memiliki ikatan yang disebut jembatan oksigen yang terdapat di antara atom silikon. Sudut ikatan silika pada Si-O-Si sekitar 145 derajat, tetapi nilai ini sangat bervariasi antara 100-170 derajat yang dipengaruhi oleh perubahan energi ikat, sehingga memungkinkan terjadinya rotasi ikatan secara bebas (Shriver, 1999).

Silika juga dapat diperoleh dari sekam padi, saat ini silika sekam padi telah banyak dimanfaatkan dan dikembangkan diantaranya sebagai adsorben asam lemak jenuh (Farook and Ravendran., 2000), *filler* komposit (Jamarun dkk., 1997), bahan porselen, asbes, dan gelas (Daifullah *et al*., 2003), dan pemurnian asam fosfat (Daifullah *et al.*, 2004).

## F. Karbosil

Mineral karbon semakin luas digunakan sebagai adsorben, hal ini dikarenakan sifat asli dari permukaanya. Berdasarkan karakteristiknya adsorben mineral karbon dapat mengadsorpsi senyawa-senyawa organik, senyawa anorganik, dan berfungsi pada proses penjernihan air dan limbah. Salah satu jenis adsorben mineral karbon adalah karbosil (karbon dan silika) (Skubiszewska *et al.*, 2002). Telah diketahui bahwa karbon dan silika memiliki daya serap yang cukup tinggi terhadap nitrogen. Karbosil merupakan paduan antara karbon dan silika yang berada dalam satu kesatuan, sehingga diharapkan karbosil yang terbentuk akan memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi.

Umumnya karbosil dapat diperoleh melalui proses pirolisis senyawa diklorometana pada permukaan silika berpori pada suhu tinggi sekitar 1000$^{o}$C. Proses pirolisis senyawa diklorometana bertujuan untuk mendapatkan sumber karbon. Selanjutnya untuk mendapatkan adsorben karbosil tidak hanya sampai pada tahap pirolisis, tetapi dilanjutkan pada tahap hidrotermal sehingga karbon dapat bergabung dengan silika membentuk karbosil. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa karbosil memiliki resistensi termal yang tinggi pada lingkungan hidrogen dan nitrogen. Sifat termal karbosil bergantung pada sifat alami senyawa terkarbonisasi (Skubiszewska *et al.*, 2002).

## G. Sekam Padi

Sekam padi adalah hasil samping dari penggilingan padi dengan kandungan sekitar 20-25% dari total berat padi (Jenkins, B. M., 1989). Sekam padi mengandung komponen organik dan anorganik. Komponen organik utama dalam sekam padi yakni 33-44% selulosa, 19-47% lignin, 17-26% hemiselulosa (Hartono dkk., 2002). Komponen anorganik sekam padi yakni

abu dengan kandungan berkisar antara 13-30% dan di dalam abu tersebut terkandung silika yang cukup tinggi berkisar antara 87-97% (Della *et al*., 2002). Provinsi Lampung merupakan salah satu daerah penghasil padi yang cukup besar di Indonesia, data yang diperoleh dari Biro Pusat Statistik (2007) menunjukkan bahwa provinsi Lampung mampu menghasilkan padi mencapai 2.304.000 ton per tahun. Hasil pengilingan padi, selain beras sebagai produk utama dihasilkan juga sekam padi sebagai residu utamanya. Sekitar 20% dari berat padi merupakan sekam padi (Daifullah *et al*., 2003), yang berarti bahwa provinsi Lampung dapat menghasilkan sekam sekitar 46.080 ton per tahun.

Tabel 2.3. Hasil analisa proksimat dan ultimate sekam padi (Grover and Mishra, 1996).

| **Analisis** | Kandungan (%) |
|---|---|
| **Analisis Proksimat (*dry base*)** | 19,9 |
| Fixed carbon | 60,6 |
| Volatile Mater | 19,5 |
| Ash | |
| **Analisis *Ultimate*** | |
| Carbon | 38,1 |
| Hydrogen | 4,7 |
| Oksigen | 29,3 |
| Nitrogen | 1,5 |
| Sulfur | 0,1 |
| Moisture | 8,9 |
| Ash | 17,4 |

Menurut (Gaur and Reed, 1998) dari analisis *ultimate* dan analisis *proximate* pada sekam padi (Tabel 2.3) bahwa sebagian besar sekam padi terdiri dari komponen yang mudah menguap (*volatille matter*). Kadar karbon dan kadar oksigen dalam sekam padi juga hampir berimbang sekitar 35-38%. Kandungan belerang dalam sekam padi adalah nol sehingga hasil

pembakaran dari sekam padi akan lebih ramah lingkungan dibandingkan hasil pembakaran batubara. Nilai kalor dari sekam padi adalah sekitar 14,8 MJ/kg dan sedikit dibawah nilai kalor kayu (~17-20 MJ/kg).

Sekam padi merupakan limbah pertanian yang memiliki nilai ekonomis rendah, namun saat ini sekam padi diketahui dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi pada pembangkit listrik, sebagai bahan bakar pengganti minyak, dan penjernih air (Della, *et al*., 2002).

## H. Prinsip Konduktivitimeter

Konduktivitimeter adalah metode analisis kimia berdasarkan daya hantar listrik dalam larutan. Prinsp kerja dari alat ini berkaitan dengan daya hantar listrik dari suatu larutan yang berhubungan dengan jenis dan konsentrasi ion di dalam larutan. Bagian-bagiannya adalah sumber listrik yang didasarkan pada arus AC. Tahanan jenis yang digunakan untuk pengukuran daya hantar. Sel terdiri dari sepasang elektroda berupa logam yang dilapisi dengan logam untuk menahan efektivitas permukaan elektroda (Zemansky, 1962).

Konduktansi adalah ukuran kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Dalam kondisi arus bolak-balik, ion-ion positif akan bergerak ke arah elektroda negatif dan sebaliknya ion-ion negatif akan bergerak ke arah elektroda positif. Sifat tersebut ditampilkan konduktivitimeter sebagai nilai konduktansi larutan. Untuk larutan elektrolit, biasanya menyatakan besaran yang disebut dengan konduktivitas molar (L). Ini adalah konduktivitas larutan yang mengandung 1 mol zat terlarut antara dua elektroda yang besarnya tak terhingga, dan berjarak 1 cm satu sama lain.

$$L = KV = K/C \qquad (8)$$

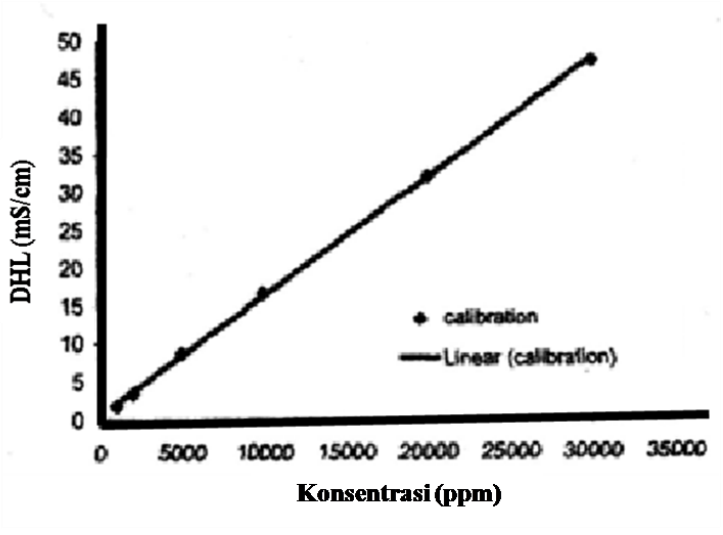
Dengan, konduktivitas (K), volume (V), dan konsentrasi (C). Konduktivitas molar dinyatakan dalam satuan $W^{-1}cm^{2}mol^{-1}$ (Atkins, 1997). Penggunaan parameter ukur daya

hantar listrik (DHL) dengan menggunakan konduktivitimeter didasarkan pada adanya hubungan antara konsentrasi elektrolit sebagai zat terlarut dengan DHL suatu larutan.

Tabel 2.4. Klasifikasi DHL (Simoun,1999).

| No | Kelas DHL (mS/cm) | Kelompok |
|---|---|---|
| **1.** | Rendah < 0,65 | Air tanah tawar |
| **2.** | Sedang 0,65-1,5 | Air tanah payau |
| **3.** | Tinggi > 1,5 | Air tanah asin |

Dengan demikian, penurunan DHL sampel merupakan petunjuk penurunan konsentrasi elektrolit, sehingga dapat digunakan sebagai dasar penentuan kapasitas adsorpsi karbosil yang dihasilkan. Hubungan antara nilai DHL terhadap konsentrasi larutan disajikan dalam Gambar 2.7.




Gambar 2.7. Hubungan daya hantar listrik terhadap konsentrasi larutan

## I. Spektrofotometer UV-Vis

Prinsip dari spektrofotometer UV-Vis adalah interaksi elektromagnetik yang dipancarkan oleh sumber energi dengan materi, dimana hasil interaksi radiasi UV-Vis terhadap materi mengakibatkan materi tersebut mengalami transisi elektronik (Fessenden dan Fessenden, 1999). Alat ini banyak bermanfaat untuk penentuan konsentrasi senyawa-senyawa yang dapat menyerap radiasi pada daerah ultraviolet (200-400 nm) atau daerah sinar tampak (400-800 nm) (Sastrohamidjojo, 1991). Analisis ini dapat digunakan yakni dengan penentuan absorbansi dari larutan sampel yang diukur. Prinsip penentuan spektrofotometer UV-Vis adalah aplikasi dari Hukum Lambert-Beer, yaitu:

$$\mathbf{A = - \log T = - \log It / I_0 = \varepsilon \cdot b \cdot C} \qquad (9)$$

Dimana :

A = Absorbansi dari sampel yang akan diukur
T = Transmitansi
$I_0$ = Intensitas sinar masuk
It = Intensitas sinar yang diteruskan
ε = Koefisien ekstingsi
b = Tebal kuvet yang digunakan
C = Konsentrasi dari sampel

Lambert menyelidiki mengenai hubungan antara absorpsi radiasi dengan panjang gelombang melalui medium yang didapat menyerap cahaya. Bila suatu sinar radiasi monokromatik melewati suatu medium dengan ketebalan tertentu, diketahui bahwa tiap lapisan menyerap radiasi yang dipancarkan dengan jumlah bagian yang sama.

## J. Karakterisasi Zat Padat

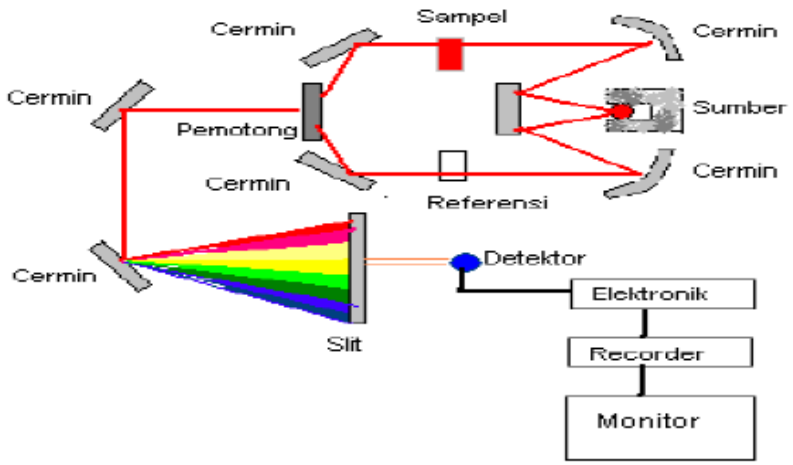
Suatu zat padat dapat dikarakterisasi dengan beberapa metode, meliputi analisis; gugus fungsi menggunakan FTIR, struktur fasa menggunakan XRD, morfologi permukaan menggunakan SEM, dan komposisi kimia menggunakan EDX.

### 1. Analisis *Fourier Transform Infrared* (FT-IR)

Prinsip penggunaan spektrofotometer infra merah (IR) yakni penyerapan radiasi elektromagnetik oleh gugus fungsi tertentu, sehingga berdasarkan pita serapan yang terbaca dapat diketahui gugus fungsi apa yang terdapat pada senyawa tersebut. Bila sinar inframerah dilewatkan melalui cuplikan, maka sejumlah frekuensi diserap, sedangkan frekuensi lainnya diteruskan tanpa diserap. Hubungan antara persen absorbansi lawan frekuuensi maka akan dihasilkan spektrum infra merah (IR). Spektrum IR memberikan puncak-puncak maksimum bilangan gelombang pada sumbu X dan persentase transmitan (T) pada sumbu Y (Khopkar, 1990). Jumlah energi yang diperlukan untuk meregangkan suatu ikatan tergantung pada tegangan ikatan dan massa atom yang terikat. Bilangan gelombang suatu serapan dapat dihitung menggunakan persamaan yang diturunkan dari Hukum *Hooke.*

$$v = \frac{1}{2\Pi c}\left[\frac{f(m_1+m_2}{m_1.m_2}\right]^{1/2} \qquad (10)$$

Persamaan di atas menghubungkan bilangan gelombang dari vibrasi regangan (ν) terhadap konstanta gaya ikatan (f) dan massa atom (gram) yang digabungkan oleh ikatan ($m_1$ dan $m_2$). Konstanta gaya merupakan ukuran tegangan dari suatu ikatan. Persaman tersebut menunjukkan bahwa ikatan yang lebih kuat dan atom yang lebih ringan menghasilkan frekuensi yang lebih tinggi. Mekanisme dari analisis *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Mekanisme analisis dengan FT-IR

Semakin kuat suatu ikatan, makin besar energi yang dibutuhkan untuk meregangkan ikatan tersebut. Frekuensi vibrasi berbanding terbalik dengan massa atom sehingga vibrasi atom yang lebih berat terjadi pada frekuensi yang lebih rendah (Bruice, 2001).

Pita serapan O-H teramati pada bilangan gelombang 3404,31cm$^{-1}$, gugus alkana (C-H) teramati pada bilangan gelombang 2925,81 cm$^{-1}$ , gugus fungsi karbonil (C=O) teramati pada bilangan gelombang 1641,31-1737,74 cm$^{-1}$, gugus fungsi alkena (C=C) teramati pada bilangan gelombang 1546,- 1652,88 cm$^{-1}$, gugus fungsi aromatik teramati pada bilangan gelombang 1379,01cm$^{-1}$, gugus fungsi Si-O-Si teramati pada bilangan gelombang 1080-1090 cm$^{-1}$, gugus fungsi Si-H teramati pada bilangan gelombang 469-800 cm$^{-1}$ (Daffalla *et al*., 2010).

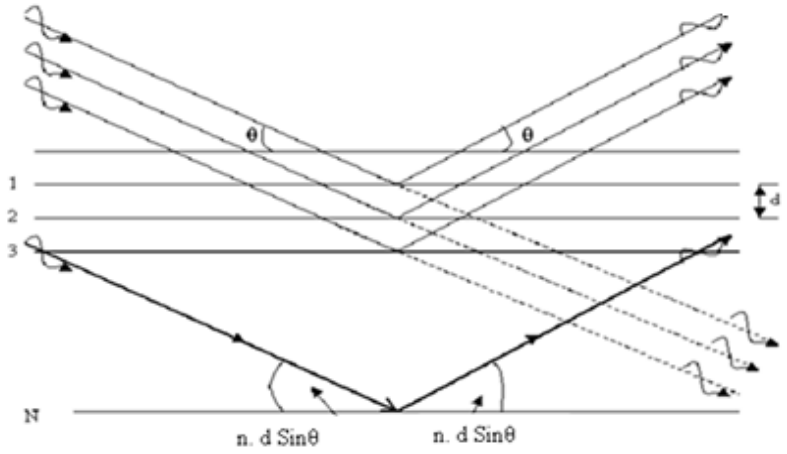
**2. Difraksi Sinar –X (XRD)**

Difraksi sinar-X merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi cuplikan berupa kristal dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Hasil yang diperoleh dari percobaan adalah intensitas relatif dan sudut hamburan (2θ). Hamburan sinar-X berasal dari atom-atom yang membentuk bidang kisi kristal.

Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg:

$$n.\lambda = 2.d.\sin\theta \; ; \; n = 1,2,... \qquad (11)$$

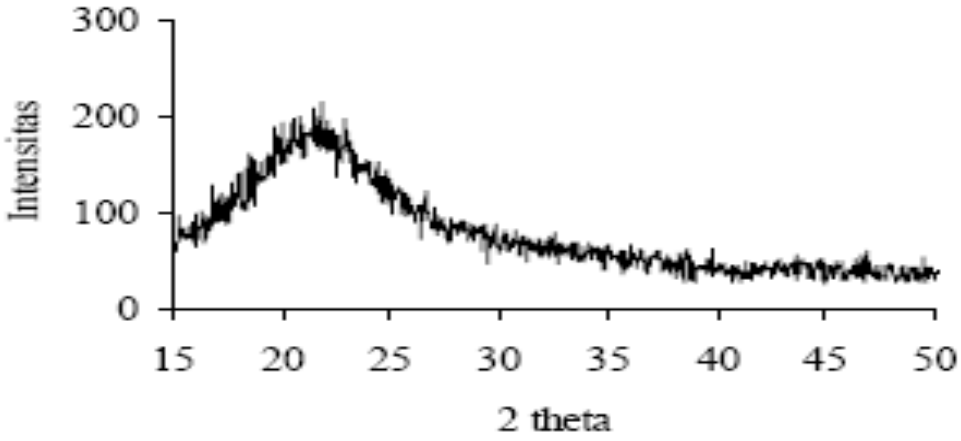
Dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan. Untuk mengetahui keadaan sinar datang dan sinar refleksi dari difraksi suatu bidang kristal ditunjukkan pada Gambar 2.9.




Gambar 2.9. Skema mekanisme difraksi sinar-X

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material.

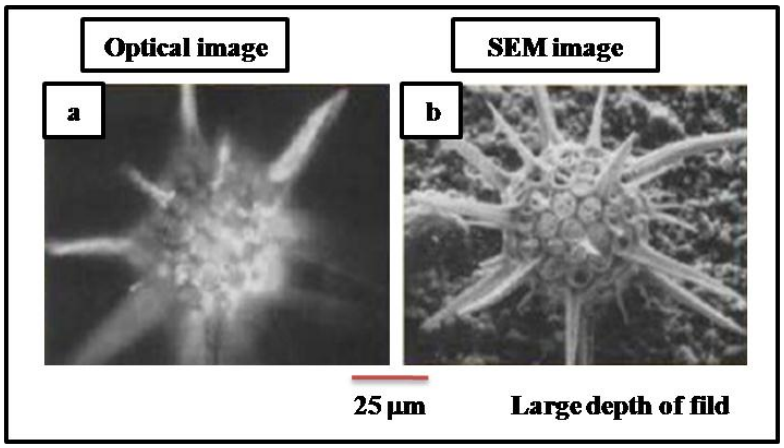
Selanjutnya, suatu kristal mineral dapat ditentukan strukturnya dengan cara membandingkan pola difraksi yang dihasilkan dengan pola difraksi mineral acuan atau baku. Salah satu contoh penggunaan XRD ditunjukkan pada Gambar 2.10.




Gambar 2.10. Pola difraksi sinar-X (XRD) silika sekam padi yang dikalsinasi pada suhu 750$^{o}$C (Sembiring, 2007).

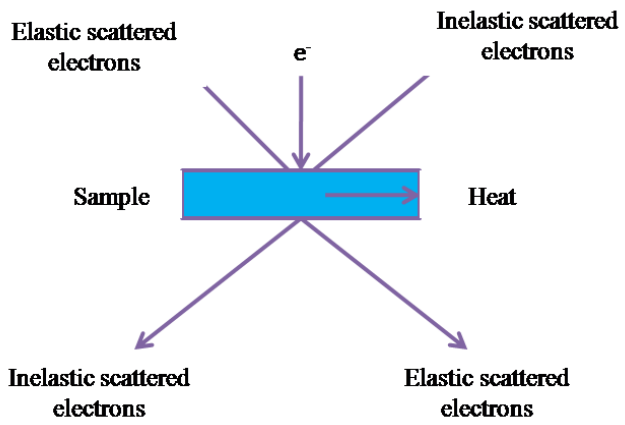
### 3. *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectrometer* (SEM/EDX)

*Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan sejenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi. Analisis SEM bermanfaat untuk mengetahui mikrostruktur (termasuk porositas dan bentuk retakan) benda padat. Berkas sinar elektron dihasilkan dari filamen yang dipanaskan, disebut *electron gun*. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1-0,2 nm. Pada Gambar 2.11 diberikan perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya dengan elektron.



Gambar 2.11. Perbandingan hasil gambar; (A) mikroskop cahaya dan (B) mikroskop elektron.

Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan pantulan non elastis seperti pada Gambar 2.12.




Gambar 2.12. Skema mekanisme *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Berkas elektron primer yang datang ke permukaan sampel akan berinteraksi dan menghasilkan berbagai macam sinyal yang terjadi secara serempak. Sinyal-sinyal tersebut diantaranya hamburan elektron (*electron scattering*) yang dibedakan menjadi hamburan elastik (*elastic scattering*) hamburan nonelastik (*inelastic scattering*), dan sinar-X (*X-ray*). Hamburan elastik (*elastic scattering*) yang ditimbulkan akibat adanya tumbukan berkas elektron dengan inti atom sampel tanpa perubahan energi, yang disebut sebagai elektron terhambur balik (*backscaterred electron*-BSE) (Ari dkk., 1996).

Hamburan nonelastik (*inelastic scattering*) ditimbulkan akibat adanya tumbukan elektron primer dengan elektron sampel. Sinyal-sinyal tersebut yakni elektron sekunder (*secondary electron*), elektron Auger, sinar-X *continue* (*continuum X-ray*) atau "*bremsstrahlung*", sinar-X karakteristik (*Characteristic X-ray*) dan "*secondary fluorescence emission*". Fraksi energi

berkas elektron di dalam sampel tersebut berkaitan dengan kondisi perlakuan dan sifat alamiah sampel. Elektron sekunder (*secondary electron*) yakni elektron yang dipancarkan dari sampel akibat dari interaksi berkas elektron primer dengan elektron-elektron pada pita penghantar benda uji. Interaksi ini hanya menghasilkan perpindahan energi yang rendah (sekitar 3-5 eV) ke elektron pita penghantar karena elektron sekunder ini mempunyai energi rendah, maka elektron-elektron tersebut dapat dibelokkan membentuk sudut dan menimbulkan bayangan topografi (struktur permukaan).

Untuk menentukan komposisi unsur secara kualitatif dan kuantitatif perlu dirangkaikan satu perangkat alat EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectrometer*) merupakan salah satu alat yang dirangkaikan pada alat SEM untuk analisis komposisi unsur permukaan sampel secara kualitatif dan kuantitatif yang didasarkan pada energi karakteristik sinar-X. Bila suatu berkas elektron (*electron primer*) yang ditembakkan atau dikenakan pada materi (sampel) akan terjadi interaksi berupa elektron yang keluar dari atomnya, elektron tersebut mempunyai tingkat energi yang lebih rendah dari yang lain. Hal ini menyebabkan atom menjadi kurang stabil, oleh karena itu elektron yang mempunyai tingkat energi lebih tinggi akan turun (transisi) ke tingkat yang lebih rendah, kelebihan energi yang dilepas sewaktu transisi dalam bentuk sinar-X.

Jika suatu elektron pindah (bertransisi) dari kulit L ke kulit K maka sinar-X yang dihasilkan disebut $K\alpha$, jika transisi dari kulit M ke kulit K disebut $K\beta$, transisi dari kulit M ke kulit L disebut $L\alpha$ dan jika transisi dari kulit N ke kulit M disebut $M\alpha$. Karena elektron pada kulit K terletak paling dekat dengan inti atom, maka akan terikat lebih kuat dibandingkan dengan elektron pada kulit L, M atau N yang jaraknya relatif lebih jauh dari inti atom. Dengan demikian elektron-elektron pada kulit K lebih tinggi energinya dibandingkan elektron pada kulit lainnya, sehinggga tingkat energi yang terjadi $K\alpha > K\beta > L\alpha > M\alpha$. (Ari dkk., 1996).

## K. Standar Baku Air Bersih

### 1. Persyaratan Air Minum

Air yang berkualitas baik harus memenuhi persyaratan fisik seperti berikut

a) Jernih atau tidak keruh

Air yang keruh disebabkan oleh adanya butiran-butiran kolioid dari bahan tanah liat. Semakin banyak kandungan koloid maka air semakin keruh. Derajat kekeruhan dinyatakan dengan satuan unit.

b) Tidak berwarna

Air untuk keperluan rumah tangga harus jernih. Air yang berwarna berarti mengandung bahan-bahan lain yang berbahaya bagi kesehatan.

c) Rasanya tawar

Secara fisika, air bisa dirasakan oleh lidah. Air yang terasa asam, manis, pahit, atau asin menunjukan bahwa kulitas air tersebut tidak baik. Rasa asin disebabkan adanya garam-garam tertentu yang larut dalam air, sedangakan rasa asam diakibatkan adanya asam organic maupun asam anorganik.

d) Tidak Berbau

Air yang baik memiliki ciri tidak berbau bila dicium dari jauh maupun dari dekat. Air yang berbau busuk mengandung bahan-bahan organic yang sedang mengalami dekomposi (penguraian) oleh mikroorganisme.

e) Temperaturnya Normal

Air yang baik harus memiliki ciri temperature sama dengan temperatur udara (20-26 ) derajat. Air yang secara mencolok mempunyai temperature diatas atau dibawah

temperatur udara berarti mengandung zat-zat tertentu (misalnya fenol yang terlarut di dalam air cukup banyak) atau sedang terjadi proses tertentu ( proses dekomposi bahan organic oleh mikroorganisme yang manghasilkan energi) yang mengeluarkan atau menyerap energi dalam air.

f) Tidak Megandung Zat padatan

Air minum yang baik tidak boleh mengandung zat padatan yang terapung di dalam air. Walaupun jernih, tetapi bila air mengandung padatan yang terapung maka tidak baik digunakan sebagai air minum. Apabila air didihkan maka zat padat tersebut dapat larut sehingga menurunkan kualitas air minum. (Anonim, 2010)

Tabel 2.5. Parameter standar air bersih menurut KEPMENKES 907/2002

| **Parameter** | **KEPMENKES 907/2002** |
|---|---|
| pH | 6,5-8,5 |
| Suhu ($^0$C) | ± 3 |
| Warna (Mg/LPtCo) | Maks. 15 |
| Kekeruhan (NTU) | Maks. 5 |
| TSS (mg/L) | Maks.50 |
| *E. coli* (MPN/100 mL) | Maks. 0 |
| TDS (mg/L) | Maks. 1000 |