

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

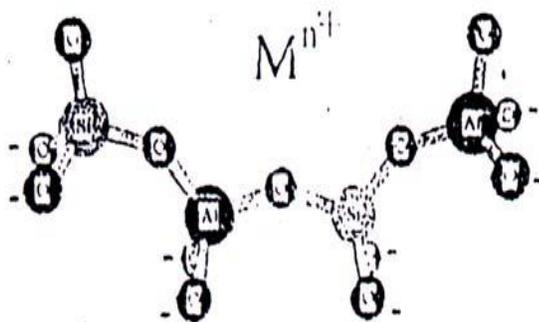
1.1 Zeolit

Kata “zeolit” berasal dari kata Yunani *zein* yang berarti membuih dan *lithos* yang berarti batu. Zeolit merupakan mineral hasil tambang yang bersifat lunak dan mudah kering. Warna dari zeolit adalah putih keabu-abuan, putih kehijau-hijauan, atau putih kekuning-kuningan. Ukuran kristal zeolit kebanyakan tidak lebih dari 10–15 mikron (Mursi Sutarti, 1994).

Zeolit terbentuk dari abu vulkanik yang telah mengendap jutaan tahun silam. Sifat-sifat mineral zeolit sangat bervariasi tergantung dari jenis dan kadar mineral zeolit. Zeolit mempunyai struktur berongga biasanya rongga ini diisi oleh air serta kation yang bisa dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekuler, senyawa penukar ion, sebagai filter dan katalis.

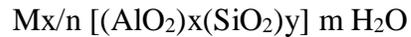
1.1.1 Struktur Zeolit

Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral $[AlO_4]$ dan $[SiO_4]$ yang saling berhubungan melalui atom O (Barrer, 1987).



Gambar 1. Kerangka utama zeolit

Dalam struktur tersebut Si^{4+} dapat diganti Al^{3+} (gambar 2), sehingga rumus umum komposisi zeolit dapat dinyatakan sebagai berikut :



Dimana : n = Valensi kation M (alkali / alkali tanah)

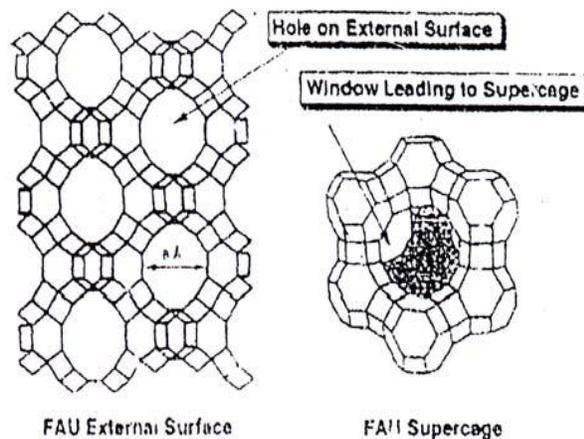
x, y = Jumlah tetrahedron per unit sel

m = Jumlah molekul air per unit sel

M = Kation alkali / alkali tanah

1.1.2 Sifat – Sifat Zeolit

Zeolit mempunyai struktur berongga (Gambar-2) yang biasanya diisi oleh air dan kation yang bisa dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu.



Gambar 2. Struktur Pori di dalam Zeolit

Zeolit mempunyai sifat-sifat kimia, diantaranya :

1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi zeolit berpengaruh terhadap sifat jerapannya. Keunikan zeolit terletak pada struktur porinya yang spesifik. Pada zeolit alam didalam pori-porinya terdapat kation-kation atau molekul air. Bila kation-kation atau molekul air tersebut

dikeluarkan dari dalam pori dengan suatu perlakuan tertentu maka zeolit akan meninggalkan pori yang kosong (Barrer, 1982).

2. Penyerapan

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air yang berada disekitar kation. Bila zeolit dipanaskan maka air tersebut akan keluar. Zeolit yang telah dipanaskan dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan (Khairinal, 2000).

3. Penukar Ion

Ion-ion pada rongga berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari sifat kation, suhu, dan jenis anion (Bambang, P, dkk,1995).

4. Katalis

Zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi karena mampu menaikkan perbedaan lintasan molekular dari reaksi. Katalis berpori dengan pori-pori sangat kecil akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk. Selektivitas molekuler seperti ini disebut *molecular sieve* yang terdapat dalam substansi zeolit alam (Bambang, P, dkk,1995).

5. Penyaring/ pemisah

Zeolit sebagai penyaring molekul maupun pemisah didasarkan atas perbedaan bentuk, ukuran, dan polaritas molekul yang disaring. Sifat ini disebabkan zeolit mempunyai ruang hampa yang cukup besar. Molekul yang berukuran lebih kecil dari ruang hampa dapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar dari ruang hampa akan ditahan (Bambang, P, dkk,1995).

Zeolit yang diperoleh dari proses penyiapan telah dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Akan tetapi daya serap, daya tukar ion maupun katalis dari zeolit tersebut belum maksimal. Untuk memperoleh zeolit dengan kemampuan yang tinggi

diperlukan beberapa perlakuan, anatra lain preparasi, aktivasi dan modifikasi (Mursi Sutarti, 1994).

a. Preparasi

Tahap ini bertujuan untuk memperoleh ukuran produk yang sesuai dengan tujuan penggunaan. Preparasi ini terdiri dari tahap peremukan (*crushing*) sampai penggerusan (*grinding*).

b. Aktivasi

Proses aktivasi zeolit dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu secara fisis dan kimiawi. Aktivasi secara fisis berupa pemanasan zeolit dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga luas permukaan pori-pori bertambah. Pemanasan dilakukan dalam oven biasa pada suhu 300–400 °C (untuk skala laboratorium) atau menggunakan tungku putar dengan pemanasan secara penghampaan selama 3 jam atau penghampaan selama 5-6 jam (skala besar). Aktivasi secara kimia dilakukan dengan larutan asam H₂SO₄ atau basa NaOH dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan. Pereaksi kimia ditambahkan pada zeolit yang telah disusun dalam tangki dan diaduk dalam jangka waktu tertentu kemudian dicuci air sampai netral dan selanjutnya dikeringkan.

c. Modifikasi

Di dalam proses pengolahan air, zeolit hasil aktivasi telah mampu menyerap ion logam berat yang berbentuk kation. Agar zeolit dapat juga menyerap logam berat yang berupa anion, mikroorganisme serta zat organik lain maka zeolit perlu dimodifikasi. Cara modifikasi ialah dengan jalan melapisi zeolit dengan polimer organik vinil piridin, polimer organik alam atau dengan mangan. Namun dalam penelitian ini modifikasi dilakukan menggunakan larutan kitosan. Pencampuran antara zeolit dan kitosan pada dasarnya adalah pencampuran elemen solid dan gel. Pencampuran ini juga merupakan campuran antara komponen anorganik dan organik. Pada proses pencampuran zeolit dan kitosan terjadi deformasi, yaitu pembentukan matriks polimer dari reaksi solid dan gel. Ikatan yang terbentuk antara komponen

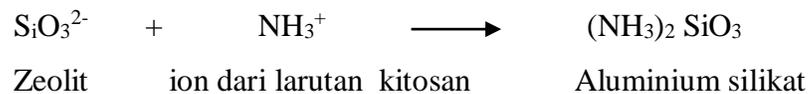
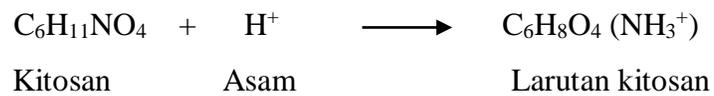
organik (larutan kitosan) dan anorganik (zeolit) adalah ikatan kovalen yang terjadi pada permukaan zeolit (Yuan. W, dkk. 2007). Zeolit menjadi pilihan utama karena memiliki diameter pori-pori (A°) yang banyak, biaya murah dan sangat mudah (*fleksibel*) untuk diubah konfigurasi dan sifat molekulnya dengan beberapa aktivasi (panas, asam, basa). Zeolit bersifat lebih aktif apabila pada permukaan dan pori-pori zeolit terdapat suatu senyawa yang berfungsi sebagai *agent*. Penambahan larutan kitosan diharapkan mampu bersifat sebagai agent yang mampu mempercepat proses adsorpsi dan katalisis. Mekanisme penambahan larutan *chitosan* sebagai agent pada zeolit dapat dilihat pada Gambar-3.



Gambar-3. Mekanisme larutan kitosan sebagai adsorben pada permukaan zeolit

(Wu, H, dkk 2007) menyatakan pada proses pencampuran antara molekul zeolit dan larutan kitosan terjadi ikatan silang antara gugus-gugus fungsi yang ada pada zeolit dan kitosan. Zeolit yang sudah memiliki gugus organosilane (Si-OH) pada permukaan zeolit membuat zeolit lebih aktif dan mampu berikatan dengan gugus OH^- dan NH^+ pada kitosan. Prosesnya yaitu saat zeolit akan tercampur dengan larutan kitosan maka akan terjadi ikatan hidrogen dengan polimer kitosan, atau terjadi interaksi ionik asam-basa yang dibentuk oleh gugus OH^- dan NH^+ pada kitosan.

Adsorpsi kimia pada kitosan ditunjukkan dengan adanya ikatan ion antara ion NH_3^+ yang bermuatan positif dengan kerangka zeolit yang bermuatan negatif. Zeolit zeolit terdiri dari kandungan silika dan ammonium. Salah satu kandungan silika dalam bentuk silikat (SiO_3^{2-}) pada zeolit akan bereaksi dengan ion NH_3^+ . Di bawah ini ditunjukkan reaksi antara ion dari larutan kitosan dengan salah satu kandungan silika dalam bentuk silikat (SiO_3^{2-}) dalam bentuk pada zeolit :



1.1.3 Jenis Zeolit

Zeolit terdiri dari 2 jenis, yaitu zeolit alam dan sintetis. Zeolit sintetis lebih murni jika dibandingkan dengan zeolit alam. Zeolit alam diperoleh dengan penambangan secara terbuka dapat secara mekanis ditemukan di Indonesia.

a. Zeolit alam

Zeolit alam ditemukan dalam bentuk mineral dengan komposisi yang berbeda, terutama dalam komposisi Si/Al dan jenis logam yang menjadi komponen minor, seperti diperlihatkan dalam Tabel-1. Dibawah ini.

Tabel-1. Jenis mineral zeolit yang terdapat dalam batuan zeolit

No.	Zeolit Alam	Komposisi
1.	Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
2.	Kabazit	$(\text{Na}_2, \text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$
3.	Klinoptilolit	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
4.	Erionit	$(\text{Na}, \text{Ca}_5\text{K})(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
5.	Ferrierit	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
6.	Heulandit	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
7.	Laumonit	$\text{Ca}(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16 \text{H}_2\text{O}$
8.	Mordenit	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
9.	Filipsit	$(\text{Na}, \text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
10..	Natrolit	$\text{Na}_4(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
11.	Wairakit	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Sumber: Subagyo, 1993

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin. Sebagai produk alam, zeolit alam diketahui memiliki komposisi yang sangat bervariasi, namun komponen utamanya adalah silika dan alumina. Di samping komponen utama ini, zeolit juga mengandung berbagai unsur minor, antara lain Na, K, Ca, Mg, dan Fe.

Terlepas dari aplikasinya yang luas, zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit. Untuk memperbaiki karakter zeolit alam sehingga

dapat digunakan sebagai katalis, adsorben, atau aplikasi lainnya, biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu.

Zeolit mempunyai sifat adsorpsi dan pertukaran ion efektifitas penyerapannya bergantung pada sifat spesies yang diserap, kemampuan pertukaran ion, keasaman padatan zeolit dan kelembaban sistem. Komposisi dari zeolit alam disajikan pada Tabel-2. Berikut ini.

Tabel-2. Komposisi zeolit alam

Komposisi	% berat
SiO ₂	78,83
Al ₂ O ₃	12,50
Fe ₂ O ₃	1,50
K ₂ O	2,27
Na ₂ O	1,07
MgO	1,95
CuO	2,14

Sumber: Amelia, 2003

b. Jenis Zeolit Alam



Gambar-4. Mordenit

- Mordenit

Rasio Si/Al dari wujud natural dan sintetik zeolit mordenit biasanya bernilai sekitar 5.0 tapi kandungan aluminium pada struktur penampang dapat dikurangi secara substansial menggunakan leaching asam tanpa kehilangan kristalinitasnya. Struktur saluran dari mordenit terbentuk dari cincin oksigen beranggotakan 12, memiliki diameter nominal bebas sekitar 6.7–7 Å. Namun mordenit alam bersifat seperti zeolit dengan pori kecil, dan bahkan molekul-molekul kecil seperti methane dan ethane teradsorpsi dengan sangat lambat. Mordenit berpori besar juga dapat disiapkan secara sintesis dimana saluran dapat dibebaskan dari sumbatan, dan memiliki sifat difusi yang diharapkan dari *sieve* bercincin 12. Keberadaan sedikit material pengotor dalam kristal memiliki efek yang sangat besar pada kemampuan adsorpsi mordenit, dimana jumlah demikian memiliki efek yang relatif kecil pada zeolit A, X dan Y. Untuk alasan yang serupa struktur satu dimensi membuat mordenit tidak sesuai untuk penggunaan dimana ada kemungkinan penyerapan hidrokarbon yang mengakibatkan pembentukan karbon/*coke* didalam kristal. Aplikasi mordenit sebagai adsorbent terbatas pada gas nonhidrokarbon yang relatif bersih.

- Pentasil

Zeolit pentasil terdiri dari kelompok zeolit kaya silika dengan struktur yang berdasarkan pada cincin-lima ganda. Dengan menyusun penampang dengan urutan-urutan yang berbeda-beda, variasi dan struktur yang berbeda-beda dapat diperoleh. Pada zeolit ZSM-5 dan ZSM-11, sistem saluran-saluran dibedakan oleh cincin 10 oksigen dengan diameter bebas sekitar 6 Å, yang merupakan produk tengah dari *sieve* berpori kecil dengan saluran cincin-8 dan *sieve* berpori besar dengan saluran 12-cincin. Zeolit ini memiliki rasio Si/Al sekitar 30 tapi berbagai variasi lain juga dimungkinkan dan struktur-struktur dapat dipersiapkan dalam wujud bebas aluminium. Bentuk ZSM-5 yang bebas aluminium sering disebut dengan silikalit.



Gambar-5. Klinoptilolit

- **Klinoptilolit**

Zeolit klinoptilolit merupakan salah satu zeolit yang sering ditemui di alam yang mempunyai kandungan silika yang sangat tinggi dengan perbandingan Si/Al antara 7–18. Zeolit klinoptilolit alam pada suhu 25°C dan tekanan 2,6666 kPa kapasitas adsorpsinya terhadap H₂O dapat mencapai 16 gram H₂O/100 gram.

c. Zeolit Sintetis

Zeolit sintetis adalah zeolit yang dibuat secara rekayasa yang sedemikian rupa sehingga didapatkan karakter yang lebih baik dari zeolit alam. Prinsip dasar produksi zeolit sintetis adalah komponennya yang terdiri dari silika dan alumina, sehingga dapat disintesis dari berbagai bahan baku yang mengandung kedua komponen di atas. Komponen minor dalam zeolit juga dapat ditambahkan dengan mudah menggunakan senyawa murni, sehingga zeolit sintetis memiliki komposisi yang tetap dengan tingkat kemurnian yang tinggi (Georgiev, 2009). Dengan perkembangan penelitian, dewasa ini telah dikenal beragam zeolit sintetis, dan beberapa diantaranya disajikan dalam Tabel-3. Dibawah ini.

Tabel-3. Rumus oksida beberapa jenis zeolit sintetis

No.	Zeolit	Rumus Oksida
1.	Zeolit A	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$
2.	Zeolit N-A	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N} +$
3.	Zeolit H	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
4.	Zeolit L	$(\text{K}_2\text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
5.	Zeolit X	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,5\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
6.	Zeolit Y	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 8,9\text{H}_2\text{O}$
7.	Zeolit P	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,5\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
8.	Zeolit O	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N} +$
9.	Zeolit Ω	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N} +$
10.	Zeolit ZK-4	$0,85\text{Na}_2\text{O} \cdot 0,15(\text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3,3\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
11.	Zeolit ZK-5	$(\text{R}, \text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4-6\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Sumber: Georgiev, 2009

Zeolit sintesis dapat dikelompokkan sesuai dengan perbandingan kadar komponen Al dan Si dalam zeolit menjadi:

(1) Zeolit kadar Si rendah (kaya Al)

Zeolit jenis ini banyak mengandung Al, berpori, mempunyai nilai ekonomi tinggi karena efektif untuk pemisahan dengan kapasitas besar. Volume porinya dapat mencapai $0,5 \text{ cm}^3$ tiap cm^3 volume zeolit. Contoh zeolit Si rendah yaitu zeolit A dan X.

(2) Zeolit kadar Si sedang

Jenis zeolit modernit mempunyai perbandingan $\text{Si}/\text{Al} = 5$ sangat stabil, maka diusahakan membuat zeolit dengan kadar Si yang lebih tinggi dari 1 yang kemudian diperoleh zeolit Y dengan perbandingan kadar $\text{Si}/\text{Al} = 1 - 3$. Contoh zeolit sintetis jenis ini adalah zeolit omega.

(3) Zeolit kadar Si tinggi

Zeolit jenis ini sangat higroskopis dan menyerap molekul non polar sehingga baik untuk digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Zeolit jenis ini misalnya zeolit ZSM-5, ZSM-11, ZSM-21, ZSM-24.

(4) Zeolit Si

Kalau zeolit Si tinggi masih mengandung Al meskipun hanya sedikit, tetapi zeolit Si ini tidak mengandung Al sama sekali atau tidak mempunyai sisi kation sama sekali. Sifat zeolit jenis ini adalah sangat hidrofilik-hidrofobik sehingga dapat mengeluarkan atau memisahkan suatu molekul organik dari suatu campuran air. Contoh zeolit silika adalah silikalit.

d. Kegunaan Zeolit Alam dan Zeolit Sintetis

Zeolit alam banyak digunakan sebagai agen penukar ion pada penjernihan dan pemurnian air, serta aplikasi lainnya baik domestik maupun komersial. Di bidang ilmu kimia, zeolit biasanya digunakan untuk memisahkan molekul-molekul (hanya molekul dengan bentuk dan ukuran tertentu saja yang dapat lewat), sebagai jebakan molekul agar mereka bisa dianalisa. Zeolit alam memiliki potensi menyediakan proses separasi yang tepat dan spesifik untuk gas-gas termasuk penghilangan H₂O, CO₂ dan SO₂ dari aliran gas alam kualitas rendah. Separasi lainnya termasuk: gas mulia, N₂, O₂, freon, formaldehid. Akan tetapi pada saat ini, potensi sebenarnya untuk mengembangkan penanganan gas-gas tersebut dalam hal ini masih belum diketahui.

Zeolit sintetis secara luas digunakan sebagai katalis pada industri petrokimia, misalnya pada perengkahan katalitik dan *hydro-cracking*. Zeolit mengurung molekul dalam ruang kecil, yang menyebabkan perubahan struktur dan reaktivitasnya. Bentuk hidrogen dari zeolit (disiapkan dengan proses penukaran ion) adalah asam kuat fasa padat yang baik, dan dapat memfasilitasi reaksi yang dikatalisis oleh asam, seperti isomerisasi, alkilasi dan perengkahan.

1.1.4 Pemanfaatan Zeolit Alam Klinoptilolit dan Mordenit

1. Bahan pengering (*Drying agent*)

Setiap zeolit mengandung air, bila klinoptilolit dan mordenit dipanaskan 250–300°C akan mempunyai kemampuan dalam menyerap uap air. Sebagai bahan pengering klinoptilolit dan mordenit dapat digunakan untuk pemurnian produk industri petrokimia seperti pada pemurnian fraksi alkohol, metanol, benzen, *xylene*, pemurnian gas alam LPG/LNG, pemurnian metil klorida dalam industri karet, dan menurunkan humiditas ruangan. Molekul uap air dapat diserap sebanyak 8–10 gr dengan 100 gr klinoptilolit yang sudah diaktifkan pada suhu 300–350°C selama 2–3 jam, dibandingkan 3 gr oleh Al_2O_3 dan 1,2 gr oleh silika gel dengan berat yang sama pada kondisi 1,33 atm dan 25°C.

2. Penyerap gas

Struktur zeolit dengan sangkar 3 dimensi menyebabkan zeolit mempunyai sifat sorpsi terhadap gas. Klinoptilolit mempunyai dua saluran ukuran 0,4 x 0,55 nm (8 ring) dan 0,44 x 0,72 nm (10 ring) dengan demikian klinoptilolit ideal menyerap O_2 , CO_2 , SO_2 , He, NH_3 , H_2 , N_2 , O_2 , CO_2 , Ar, etilen, metanol, etanol, benzen, isopren, untuk penyerap klorin, bromin dan fluorin. Zeolit mordenite dapat menyerap gas NH_3 , Cl_2 , HCl , CS_2 , CH_4 , CH_3CN , CH_3OH , SO_2 , SO_3 dan NO_x . Zeolit digunakan dalam proses penyerapan gas mulia antara lain Ar, Kr dan gas He, gas rumah kaca (NH_3 , CO_2 , SO_2 , SO_3 dan NO_x), gas organik CS_2 , CH_4 , CH_4CN , CH_3OH , termasuk pirogas dan fraksi etana/ etilen, pada pemurnian udara bersih mengandung O_2 , penyerapan gas N_2 dari udara sehingga meningkatkan kemurnian O_2 di udara, campuran *filter* pada rokok, penyerapan gas dan penghilangan warna dari cairan gula pada pabrik gula klinoptilolit dan mordenit juga digunakan sebagai katalis untuk menggantikan penggunaan Al_2O_3 pada katalisasi reaksi NO menjadi NO_2 . Makki, menunjukkan kemampuan klinoptilolit sebagai katalis untuk hidrokarbon aromatik melalui proses *dehydrogenation* dan *dealkilasion*, untuk *cracking* parafin, *disportion* toluen/benzen dan *xylene*.

3. Pengolahan limbah industri

Limbah industri adalah salah satu diantara tiga pencemar air sungai yang memberikan kontribusi cukup besar disamping limbah domestik rumah tangga dan pertanian. Penggunaan zeolit dalam pengolahan limbah industri sangat ideal karena mencakup proses pengolahan limbah cair, proses immobilisasi limbah dan sebagai bahan pengisi (*backfill material*) pada sistim penyimpanan limbah.

Dalam industri nuklir, klinoptilolit telah digunakan pada tahun 1979 untuk dekontaminasi air pendingin reaktor *Three Mile Island Unit II*. Tahun 1987, pada kecelakaan reaktor *Chernobyl*, pada pemisahan radionuklida hasil fisi dalam air kolam penyimpanan bahan bakar nuklir di SIXEP (*Site Ion-Exchange Plant*) *British Nuclear Fuel Limited, Sellafield*, Inggris.

Balek menggunakan klinoptilolit untuk penyerapan Cs dan Sr, Co dan Ru dan gas RuO_4 pada suhu 50°C dan suhu kamar. Kekhawatiran terhadap pencemaran lingkungan oleh natrium polifosfat yang digunakan sebagai “*builder*” pada produk deterjen, klinoptilolit telah digunakan sebagai pengganti polifosfat. Penelitian menunjukkan klinoptilolit dalam deterjen tidak akan menyebabkan akumulasi pada sistim air buangan dan tidak bersifat toksik terhadap kehidupan di air. Di Jepang klinoptilolit digunakan untuk “*filler*” kertas, karet dan polimer yang memperoleh material dengan densitas rendah Tchernev menggunakan zeolit yang klinoptilolit dalam “*solar heating/cooling*” pada panel energi cahaya matahari berdasarkan adsorpsi/desorpsi molekul air diwaktu siang dan malam hari. Sekitar 1 ton klinoptilolit yang ditempatkan di atap dengan dimernsi $19,6 \text{ m}^2$ (*roof area*) dapat mendinginkan 1 ton udara.

4. *Slow release* ammonium dan pestisida/herbisida

Penggunaan pupuk yang berlebihan akan menyebabkan pencemaran air, udara dan tanah pertanian. Sekitar 50% urea akan terdegradasi menjadi ammoniak/ammonium, nitrat atau nitrit sebelum diserap oleh akar tanaman. Hal yang sama terjadi pada penggunaan pestisida dan herbisida. Klinoptilolit dan mordernit dapat digunakan dalam bidang pertanian sebagai “*soil conditioning*” atau “*slow*

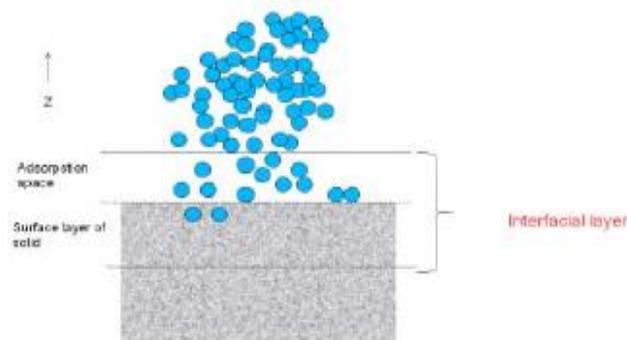
release” ammonium dan pestisida/herbisida. Pada pertengahan tahun 1999, klinoptilolit telah direkomendasikan oleh Departemen Pertanian sebagai campuran pupuk urea.

1.1.5 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan oleh padatan tertentu terhadap zat tertentu yang terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat tanpa meresap kedalam. Adsorpsi (adsorption ‘penyerapan’) adalah proses pemisahan dimana komponen tertentu dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorbent ‘adsorben’) (Andriyani, 2015).

Bila gas atau uap bersentuhan dengan permukaan padatan yang bersih, maka gas atau uap tadi akan teradsorpsi pada permukaan padatan tersebut. Permukaan padatan disebut sebagai adsorben, sedangkan gas atau uap disebut sebagai adsorbat. Semua padatan dapat menyerap gas atau uap pada permukaan. Banyak gas yang teradsorpsi yang bergantung pada suhu dan tekanan gas serta luas permukaan padatan. Padatan yang paling efisien adalah padatan yang sangat porous seperti arang dan butiran padatan yang sangat halus.

Proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang. Adanya gaya ini, padatan cenderung menarik molekul-molekul lain yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas atau fasa larutan kedalam permukaannya. Akibatnya konsentrasi molekul pada permukaan menjadi lebih besar dari pada dalam fasa gas zat terlarut dalam larutan. Pada adsorpsi interaksi antara adsorben dengan adsorbat hanya terjadi pada permukaan adsorben (Tandy, 2012). Berikut terdapat Gambar-6 berupa ilustrasi proses adsorpsi.



Gambar 6. Ilustrasi proses adsorpsi

Mekanisme proses adsorpsi pada dasarnya adalah proses penjerapan yang terjadi pada permukaan padatan. Mula-mula molekul adsorbat berdifusi melalui suatu lapisan batas ke permukaan luar adsorben, sebagian ada yang teradsorpsi di permukaan luar, sebagian besar berdifusi lanjut di dalam pori-pori adsorben. Pada adsorpsi pada arang aktif terjadi melalui tiga tahap dasar, yaitu zat terperap pada bagian luar, zat bergerak menuju pori-pori arang dan zat terperap ke dinding bagian dalam dari arang. Adsorben memiliki kapasitas penjerapan masing-masing, sehingga apabila molekul yang terperap melebihi kapasitas adsorben akan terjadi desorpsi dari padatan adsorben ke larutan. Pada saat kecepatan transfer massa adsorpsi sama dengan kecepatan transfer massa desorpsi maka terjadilah kondisi kesetimbangan.

Adsorben merupakan bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada letak-letak tertentu di dalam partikelnya. Karena pori-porinya biasa kecil maka luas permukaan dalam mencapai beberapa orde besaran lebih besar dari permukaan luar dan bisa sampai $2000 \text{ m}^2/\text{gr}$. Dalam kebanyakan hal komponen yang diadsorpsi melekat sedemikian kuat sehingga memungkinkan pemisahan komponen itu secara menyeluruh dari fluida tanpa terlalu banyak adsorpsi terhadap komponen lain sehingga memungkinkan adsorbat yang dihasilkan dalam bentuk terkonsentrasi atau hampir murni.

Proses adsorpsi tergantung pada sifat zat padat yang mengadsorpsi, sifat atom/molekul yang diserap, konsentrasi, temperatur dan lain-lain. Pada proses adsorpsi terbagi menjadi 4 tahap yaitu :

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film (*film diffusion process*).
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler/pori dalam adsorben (*pore diffusion process*).
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben yang merupakan proses adsorpsi yang sebenarnya.

2.5.1 Jenis – Jenis Adsorpsi

Berdasarkan Interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibagi menjadi 2 yaitu :

1. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi Fisika terjadi karena adanya gaya Van der Waals. Pada adsorpsi fisika, gaya tarik menarik antara molekul fluida dengan molekul pada permukaan padatan (Intermolekuler) lebih kecil dari pada gaya tarik menarik antar molekul fluida tersebut sehingga gaya tarik menarik antara adsorbat dengan permukaan adsorben relatif lemah pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat dengan permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke permukaan lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya . Keseimbangan antara permukaan padatan dengan molekul fluida biasanya cepat tercapai dan bersifat reversibel. Adsorpsi fisika memiliki kegunaan dalam hal penentuan luas permukaan dan ukuran pori.

2. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia terjadi karena adanya ikatan kimia yang terbentuk antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Ikatan kimia dapat berupa ikatan

kovalen/ion. Ikatan yang terbentuk kuat sehingga spesi aslinya tidak dapat ditentukan. Karena kuatnya ikatan kimia yang terbentuk maka adsorbat tidak mudah terdesorpsi. Adsorpsi kimia diawali dengan adsorpsi fisik dimana adsorbat mendekati permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals/Ikatan Hidrogen kemudian melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia yang biasanya merupakan ikatan kovalen/ion.

2.5.2 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Adapun faktor- faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi yaitu :

a. Jenis Adsorbat

- Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul adsorbat yang sesuai merupakan hal yang penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.

- Kepolaran zat

Adsorpsi lebih kuat terjadi pada molekul yang lebih polar dibandingkan dengan molekul yang kurang polar pada kondisi diameter yang sama. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang telah lebih dahulu teradsorpsi. Pada kondisi dengan diameter yang sama, maka molekul polar lebih dahulu diadsorpsi.

b. Suhu

Pada saat molekul-molekul adsorbat menempel pada permukaan adsorben terjadi pembebasan sejumlah energi sehingga adsorpsi digolongkan bersifat eksoterm. Bila suhu rendah maka kemampuan adsorpsi meningkat sehingga adsorbat bertambah.

c. Tekanan Adsorbat

Pada adsorpsi fisika bila tekanan adsorbat meningkat jumlah molekul adsorbat akan bertambah namun, pada adsorpsi kimia jumlah molekul adsorbat akan berkurang bila tekanan adsorbat meningkat.

d. Karakteristik Adsorben

Ukuran pori dan luas permukaan adsorben merupakan karakteristik penting adsorben. Ukuran pori berhubungan dengan luas permukaan semakin kecil ukuran pori adsorben maka luas permukaan semakin tinggi. Sehingga jumlah molekul yang teradsorpsi akan bertambah. Selain itu kemurnian adsorben juga merupakan karakterisasi yang utama dimana pada fungsinya adsorben yang lebih murni yang lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsi yang baik.

1.1.6 Mekanisme Adsorpsi Oleh Zeolit Alam

Zeolit alam memiliki struktur rangka mengandung ruang kosong yang ditempati oleh kation dan molekul air yang bebas sehingga memungkinkan pertukaran ion atau *chemosorption* (Adamson, 1990).

Sebelum digunakan sebagai adsorben, zeolit alam harus diaktifkan terlebih dahulu agar jumlah pori-pori yang terbuka lebih banyak sehingga luas permukaan pori-pori bertambah. Zeolit yang cocok untuk adsorben yaitu apabila diaktifkan akan memberikan rasio Si/Al yang tinggi (10 –100). Zeolit dengan rasio Si/Al tinggi bersifat hidrofob (Mursi Sutarti, 1994).

Agar kapasitas adsorpsi zeolit tidak mengalami penurunan, molekul-molekul air harus dikeluarkan dari dalam rongga zeolit, yaitu dengan cara pemanasan hingga temperatur 15°C. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya interaksi antara gaya pada permukaan padatan adsorben dengan molekul-molekul adsorbat. Dari hasil penelitian sebelumnya dapat diketahui bahwa mineral zeolit mampu menyerap gas-gas CO₂, H₂S, dan H₂O sebanyak 25% (Sutarti, 1994).

1.2 Kitosan (1,4) – 2 – Amino – 2 – Deoksi – β – D – Glukosa

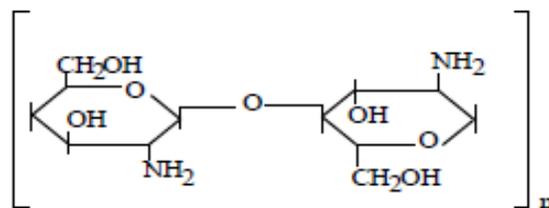


Gambar-7. Kitosan

Kitosan merupakan polimer alami dengan struktur molekul yang menyerupai selulosa (serat pada sayur-sayuran dan buah-buahan) bedanya terletak pada gugus rantai C-2 dimana gugus hidroksi (OH) pada C-2 digantikan oleh amina (NH₂) (Hardjito, 2006).

1.2.1 Struktur Kitosan

Kitosan adalah jenis polimer rantai yang tidak linier yang mempunyai rumus umum (C₆H₁₁NO₄)_n atau disebut sebagai (1,4)-2-Amino-2-Deoksi- β -D-Glukosa, dimana strukturnya dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar-8. Struktur kitosan

1.2.2 Karakteristik Kitosan

a. Derajat Deasetilasi

Derajat deasetilasi merupakan tingkat penghilangan gugus asetil pada suatu senyawa organik. Derajat deasetilasi dapat dijadikan sebagai pembeda antara kitosan dengan kitin karena derajat deasetilasi menentukan kandungan dari gugus amina bebas dalam kitosan. Jika polimer tersebut memiliki derajat deasetilasi lebih besar dari 75% maka polimer tersebut dikatakan sebagai kitosan, sebaliknya jika derajat deasetilasi kurang dari 75%, maka polimer tersebut dikatakan sebagai kitin.

Proses deasetilasi melibatkan penghilangan gugus asetil dari rantai molekul kitin, sehingga yang tertinggal hanya gugus amina yang memiliki derajat reaktivitas kimia yang tinggi (kitosan). Hal ini yang menjadikan derajat deasetilasi sangat penting dalam produksi kitosan, karena berpengaruh terhadap sifat fisika dan kimianya (Ferdiana, 2007).

b. Viskositas Kitosan

Viskositas kitosan diukur menggunakan Ubbelohde dilution viskometer yang dicuci dengan akuades dan dikeringkan terlebih dahulu. Larutan kitosan dibuat dalam berbagai konsentrasi dalam pelarut asam asetat 0,1 M dan natrium asetat 0,25 M. Masing-masing sampel ditempatkan di dalam viskometer sebanyak 10 mL. Sampel ditarik hingga ke labu di bagian atas viskometer secara perlahan. Waktu yang dibutuhkan sampel untuk mengalir antara dua batas yang mengapit labu tersebut dicatat. Sebagai blanko, digunakan pelarut asam asetat 0,1 M dan natrium asetat 0,25 M dan ditentukan viskositasnya dengan cara yang sama. Viskositas spesifik dihitung dengan cara berikut :

$$\eta_{sp} = \frac{t - t_0}{t_0}$$

Dimana:

η_{sp} = viskositas spesifik (detik)

t = waktu yang diperlukan untuk mengalirnya larutan sampel (detik)

t_0 = waktu yang diperlukan untuk mengalirnya pelarut (detik)

Dengan cara ini akan diperoleh nilai viskositas spesifik, yang tidak mempunyai satuan. Viskositas kinematik dihubungkan dengan viskositas spesifik melalui koefisien kinematik yang besarnya tergantung pada viskometer kapiler yang digunakan. Viskositas kinematik dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta_{kin} = t \times k_{kin}$$

Dimana :

η_{kin} = viskositas kinematik (centistokes = cSt)

t = waktu yang diperlukan untuk mengalirnya larutan sampel (detik)

k_{kin} = koefisien kinematik viskometer Ubbelohde tipe 1B M 132
= 0,009671 cSt per detik

Walaupun terminologi viskositas kinematik lebih umum digunakan, viskositas spesifik tetap digunakan sebab nilainya diperlukan untuk penentuan viskositas intrinsik dan berat molekul.

c. Berat Molekul Kitosan

Berat molekul kitosan ditentukan berdasarkan viskositas intrinsik menurut persamaan Mark-Houwink berikut ini :

$$[\eta] = K M^a$$

Dimana:

$[\eta]$ = viskositas intrinsik (mL/g)

K = konstanta untuk pelarut (mL/g)

a = konstanta

M = berat molekul

Viskositas intrinsik kitosan dapat ditentukan apabila nilai K dan a untuk pelarut yang digunakan telah diketahui (Emma. R, 2004).

d. Kelarutan Kitosan

Kitosan yang disebut juga dengan β -1,4-2 amino-2-dioksi-D-glukosa merupakan senyawa yang sedikit larut dalam HCl, HNO₃, dan H₃PO₄ dan tidak larut dalam H₂SO₄. Kitosan tidak beracun, mudah mengalami biodegradasi dan bersifat polielektrolitik. Disamping itu kitosan dapat dengan mudah berinteraksi dengan zat-zat organik lainnya seperti protein. Oleh karena itu, kitosan relatif lebih banyak digunakan pada berbagai bidang industri terapan dan industri kesehatan.

Kitosan tidak larut dalam air, pelarut-pelarut organik, juga tidak larut dalam alkali dan asam-asam mineral pada pH di atas 6,5. Dengan adanya sejumlah asam, maka dapat larut dalam air-metanol, air-etanol, air-aseton, dan campuran lainnya. Kitosan larut dalam asam formiat dan asam asetat dan menurut Peniston dalam 20% asam sitrat juga dapat larut. Asam organik lainnya juga tidak dapat melarutkan kitosan, asam-asam anorganik lainnya pada pH tertentu setelah distirer dan dipanaskan dan asam sitrat juga dapat melarutkan kitosan pada sebagian kecil setelah beberapa waktu akan terbentuk endapan putih yang menyerupai jelly (Widodo. A, 2005).

1.2.3 Sifat-Sifat Kitosan

Kitosan merupakan padatan amorf putih yang tidak larut dalam alkali dan asam mineral kecuali pada keadaan tertentu. Keterlarutan kitosan yang paling baik ialah dalam larutan asam asetat 1%, asam format 10% dan asam sitrat 10%. Kitosan tidak dapat larut dalam asam piruvat, asam laktat, dan asam-asam anorganik pada pH tertentu, walaupun setelah dipanaskan dan diaduk dengan waktu yang agak lama. Keterlarutan kitosan dalam larutan asam format ataupun asam asetat dapat membedakan kitosan dan kitin karena kitin tidak dapat melarut dalam keadaan pelarut asam tersebut.

Kitosan memiliki sifat unik yang dapat digunakan dalam berbagai cara serta memiliki kegunaan yang beragam, antara lain sebagai perekat, aditif untuk kertas dan tekstil, penjernihan air minum, serta untuk mempercepat penyembuhan luka, dan

memperbaiki sifat pengikatan warna. Kitosan merupakan pengkelat yang kuat untuk ion logam transisi. Kitosan mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi logam dan membentuk kompleks kitosan dengan logam (Sugita, P, dkk. 2009).

1.2.4 Kegunaan Kitosan

Kitosan banyak digunakan oleh berbagai industri antara lain industri farmasi, kesehatan, biokimia, bioteknologi, pangan, pengolahan limbah, kosmetik, agroindustri, industri tekstil, industri perkayuan, industri kertas dan industri elektronika. Aplikasi khusus berdasarkan sifat yang dipunyainya antara lain untuk pengolahan limbah cair terutama bahan sebagai bersifat resin penukar ion untuk meminimalisasi logam-logam berat, mengkoagulasi minyak/ lemak, serta mengurangi kekeruhan, penstabil minyak, rasa dan lemak dalam produksi industri pangan (Meriatna, 2008).

Kitosan mudah mengalami degradasi secara biologis, tidak beracun dan baik sebagai flokulan dan koagulan serta mudah membentuk membran atau film. Kitosan merupakan suatu biopolymer alam yang reaktif yang dapat melakukan perubahan-perubahan kimia. Karena ini banyak turunan kitosan dapat dibuat dengan mudah.

1.2.5 Kemampuan Kitosan untuk Menyerap Logam

Kemampuan kitosan untuk mengikat logam dengan cara pengkelat, yakni dihubungkan dengan kadar nitrogen yang tinggi pada rantai polimernya. Kitosan mempunyai satu kumpulan amino linier bagi setiap unit glukosa. Kumpulan amino ini mempunyai sepasang elektron yang dapat berkoordinat atau membentuk ikatan-ikatan aktif dengan kation-kation logam. Unsur nitrogen pada setiap monomer kitosan dikatakan sebagai gugus yang aktif berkoordinat dengan kation logam (Hutahahean, S. Ida., 2001).

Interaksi kitosan dengan ion logam terjadi karena proses pengkompleksan dimana penukaran ion, penyerapan dan pengkelatan terjadi sama proses

berlangsung. Ketiga-tiga proses tersebut tergantung dari ion logam masing-masing seperti penukaran ion logam masing-masing seperti penukaran ion pada logam Ca.

1.3 Salinitas

Salinitas adalah tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Salinitas air payau menggambarkan kandungan garam dalam suatu air payau. Garam yang dimaksud adalah berbagai ion yang terlarut dalam air termasuk garam dapur (NaCl). Pada umumnya salinitas disebabkan oleh 7 ion utama yaitu: natrium (Na^+), kalium (K^+), kalsium (Ca^{++}), magnesium (mg^{++}), klorida (Cl^-), sulfat (SO_4^-) dan bikarbonat (HCO_3^-). Salinitas dinyatakan dalam satuan gram/kg atau promil (‰). Air dikategorikan sebagai air payau bila konsentrasi garamnya 0,05 sampai 3% atau menjadi *saline* bila konsentrasinya 3 sampai 5%. Lebih dari 5% disebut *brine* (Gustian, 2005). Faktor-faktor yang mempengaruhi salinitas diantaranya:

1. Penguapan, makin besar tingkat penguapan air laut di suatu wilayah, maka salinitasnya tinggi dan sebaliknya pada daerah yang rendah tingkat penguapan air lautnya, maka daerah itu rendah kadar garamnya. Penguapan bisa disebabkan oleh panas dari sinar matahari atau oleh pergerakan angin.
2. Curah hujan, makin besar/banyak curah hujan di suatu wilayah laut maka salinitas air laut itu akan rendah dan sebaliknya makin sedikit/kecil curah hujan yang turun salinitas akan tinggi.
3. Banyak sedikitnya sungai yang bermuara di laut tersebut, makin banyak sungai yang bermuara ke laut tersebut maka salinitas laut tersebut akan rendah, dan sebaliknya makin sedikit sungai yang bermuara ke laut tersebut maka salinitasnya akan tinggi.

1.4 Air Payau

Air payau atau *brackish water* mempunyai salinitas antara 0.5 ppt s/d 17 ppt. Air ini banyak dijumpai di daerah pertambakan dan *estuary* yaitu pertemuan air laut dan air tawar serta sumur-sumur penduduk di pulau-pulau kecil atau pesisir yang

telah terintrusi air laut. *Salinity* atau salinitas diukur berdasarkan jumlah garam yang terkandung dalam satu kilogram air. Contoh perbandingan nyata, air tawar mempunyai salinitas <0.5 ppt dan air minum maksimal 0.2 ppt. Sumber literatur lain menyebutkan standar air tawar mempunyai salinitas maksimal 1 ppt dan salinitas air minum 0.5 ppt sedangkan air laut rata-rata mempunyai salinitas 35 ppt (Jamali, 2007). Air payau yang mengandung Na melebihi batas, misalnya lebih besar dari 200 ppm, jika dikonsumsi dalam waktu yang lama dapat mengganggu kesehatan. Demikian pula jika air tersebut digunakan untuk menyiram tanaman misalnya sayuran, maka hasil panen yang diperoleh berkurang jika dibandingkan dengan hasil penyiraman air tawar. Jumlah penurunan hasil panen tergantung dari besaran salinitas air dan jenis tanaman. Untuk keperluan industri, adanya NaCl dan MgCl₂ dalam air yang melebihi batas akan menyebabkan korosi pada pipa-pipa dan peralatan proses. (Soedjono, 2002). Air payau mempunyai karakteristik atau sifat-sifat yang dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu:

1. Karakteristik Fisik

- a. Merupakan cairan tak berwarna;
- b. Mempunyai densitas = 1,02 dengan pH 7,8 – 8,2;
- c. Mempunyai titik beku = - 2,78°C dan titik didih = 101,1°C;
- d. Suhu rata-rata = ± 25°C;
- e. Rasanya pahit dan aromanya tergantung pada kemurniannya.

2. Karakteristik Kimia

- a. Derajat keasaman (pH) antara 6 – 8,5;
- b. Jumlah kesadahan (*Total Hardness*);
- c. Zat organik;
- d. CO₂ agresif tinggi;
- e. Kandungan unsur kimiawi seperti Fe⁺⁺, Na⁺, SO₄⁼, Cl⁻, Mn⁺⁺, Zn⁺⁺
(Wulandari A, 2009).

3. Karakteristik Biologi

Termasuk karakteristik biologi meliputi ganggang, lumut dan mikroorganisme lainnya yang dapat mengganggu kesehatan, walaupun terdapat dalam jumlah kecil (Yusuf E, 2009).

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 pembentukannya 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. Dari berbagai penelitian telah diketahui bahwa senyawa humat memiliki komponen yang berperan dalam penyebaran logam berat dan polutan organik dalam tanah dan air (Simon, 1994).

1.5 Baku Mutu Air

Baku mutu air adalah batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi atau komponen lainnya yang harus ada atau unsur pencemar yang ada dalam air pada sumber air tertentu sesuai peruntukannya, misalnya air bersih, air minum, air baku, keperluan untuk pertanian, dan prasarana untuk rekreasi air. Sebagai salah satu unsur yang sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia, kita tidak dapat mengabaikan kualitas air yang digunakan.

Kualitas air yang digunakan sebagai air minum sebaiknya memenuhi persyaratan secara fisik, kimia dan mikrobiologi. Standarisasi kualitas air bertujuan untuk memelihara, melindungi dan mempertinggi derajat kesehatan masyarakat, terutama dalam pengolahan air atau kegiatan usaha mengolah dan mendistribusikan

air minum masyarakat umum (Kusnaedi, 2002). Persyaratan tersebut sesuai dengan Tabel-4. Tentang persyaratan kualitas air bersih menurut Peraturan Pemerintah RI No. 416 tahun 1990.

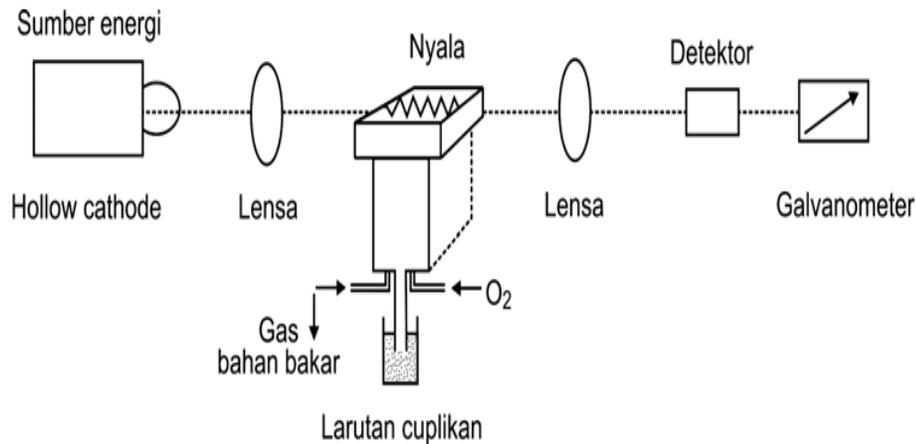
Tabel-4. Persyaratan Kualitas Air Bersih

No.	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan
1.	Klorida (Cl)	mg/L	600
2.	Natrium (Na)	mg/L	200
3.	Magnesium (Mg)	mg/L	500
4.	Jumlah zat padat terlarut (TDS)	mg/L	1.500
5.	pH	-	6,5 – 9,0

Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416 tahun 1990

1.6 Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) terhadap Zeolit Alam Termodifikasi

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) adalah suatu metode atau cara analisis secara kuantitatif menggunakan instrument spektrofotometer serapan atom. Alat spektrofotometer serapan atom berprinsip pada penyerapan cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu tergantung pada sifat-sifat unurnya. Penyerapan tersebut menyebabkan tereksitasinya atom ke tingkat energi yang lebih tinggi. Prinsip kerja metode ini mirip dengan metode fotometri nyala tetapi sumber energinya berupa lampu katode berlubang (*hollow cathode lamp*) sedang nyala pembakar berguna untuk mengaktifkan atom-atom logam sebelum menyerap energi. Karena itu, dengan metode ini hampir semua atom logam yang terdaftar dalam sistem periodik dapat ditentukan konsentrasinya.



Gambar-9. Skema Spektrofotometer Serapan Atom

Cuplikan yang diukur dalam SSA adalah berupa larutan, biasanya air sebagai pelarutnya. Larutan cuplikan tersebut mengalir ke dalam ruang pengkabutan, karena terisap oleh aliran gas bahan bakar dan oksigen yang cepat. Berbeda dengan spektroskopi sinar tampak, metode ini tidak memedulikan warna larutan, sedangkan larutan cuplikan diatomisasi dahulu. (Sumar Hendayana, 1994).

1.6.1 Prinsip Dasar Spektrofotometer Serapan Atom

Jika cahaya dengan panjang gelombang resonansi dilewatkan nyala yang mengandung atom-atom yang bersangkutan, maka sebagian cahaya itu akan diserap, dan jauhnya penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom keadaan dasar yang berada dalam nyala. Hal ini merupakan dasar penentuan kuantitatif logam-logam dengan menggunakan SSA (Vogel, A. I. 1992).

1.6.2 Cara Kerja Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Setiap alat SSA terdiri atas tiga komponen yakni, unit atomisasi, sumber radiasi dan sistem pengukur fotometrik.

Atomisasi dapat dilakukan baik dengan nyala maupun dengan tungku. Untuk mengubah unsur metalik menjadi uap atau hasil disosiasi diperlukan energi panas. Temperatur harus benar-benar terkendali dengan sangat hati-hati agar proses

atomisasinya sempurna. Ionisasi harus dihindarkan dan ini dapat terjadi bila temperatur terlalu tinggi.

Bahan bakar dan gas oksidator dimasukkan dalam kamar pencampur kemudian dilewatkan melalui *baffle* menuju pembakar. Nyala akan dihasilkan. Sampel dihisap masuk ke kamar pencampur. Hanya tetesan kecil yang dapat melalui *baffle*. Dengan gas asetilen dan oksidator udara tekan, temperatur dapat dikendalikan secara elektrik. Biasanya temperatur dinaikkan secara bertahap, untuk menguapkan dan sekaligus mendisosiasikan senyawa yang dianalisis (Khopkar, S.M., 1990).

1.6.3 Komponen Spektrofotometer Serapan Atom

1. Instrumen

a. Sumber Radiasi

Sumber yang dapat memberikan garis emisi yang tajam dari suatu unsur spesifik tertentu dikenal sebagai lampu pijar *hollow cathode*. Lampu ini mempunyai 2 elektrode, dan diisi dengan gas mulia (Ne atau Ar) bertekanan rendah (1 – 5 torr). Katode berbentuk silinder dan terbuat dari unsur yang dianalisis. Dengan pemberian tegangan (30 – 400 Volt) pada arus tertentu (3 – 25 Ampere), logam mulai memijar, dan atom-atom logam katodenya akan teruapkan, tereksitasi kemudian mengemisikan radiasi pada panjang gelombang seperti logam yang dianalisis.

Sekarang ini telah tersedia lampu *hollow cathode* yang terbuat dari bermacam-macam unsur, sehingga memudahkan pekerjaan karena tidak perlu menukar lampu. Misalkan saja : (Ca, Mg, Al); (Fe, Cu, Mn); dan (Cr, Co, Cu, Fe), dikenal sebagai *hollow cathode* multi unsur (S.M Khopkar, 1984).

b. Unit atomisasi

Pada unit ini unsur yang akan dianalisis yang semula ada dalam bentuk ion (dalam larutan) diubah menjadi atom-atom bebas. Atomisasi dapat dilakukan dengan nyala atau tanpa nyala (dengan tungku grafit, pembentukan hibrida, pembentukan uap dingin). Agar atomisasi dapat berjalan dengan sempurna maka

suhu harus benar-benar terkendali. Ionisasi harus dihindari dan ini dapat terjadi pada suhu yang terlalu tinggi (Khopkar, S. M. 1984).

c. Monokromator

Monokromator berfungsi mengisolasi salah satu garis resonansi dari sekian banyak spektra yang dihasilkan oleh lampu katode cekung. Monokromator akan menghasilkan berkas sinar monokromatik dari polikromatik. Dalam monokromator digunakan cermin, lensa, prisma, celah/*slit*, dan *filter*.

d. Detektor

Detektor berfungsi mengubah energi sinar menjadi energi listrik sehingga dapat terbaca oleh sistem pembacaan. Energi listrik yang dihasilkan tersebut nantinya dapat menggerakkan jarum, mengeluarkan angka digital, menggerakkan pen pada rekorder, atau menampilkan angka pada monitor.

e. Sistem Pembacaan

Sistem ini berfungsi membaca serapan sinar yang telah diubah menjadi energi listrik oleh monokromator, dapat berupa rekorder atau monitor tergantung keperluan.

2. Kelebihan Analisis Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Kelebihan analisis unsur dengan SSA antara lain analisis dapat dilakukan dengan cepat, ketelitian tinggi sampai tingkat runtu (kemungkinan untuk menentukan konsentrasi semua unsur pada konsentrasi runtu), dan tidak memerlukan pemisahan (penentuan suatu unsur dapat dilakukan dengan kehadiran unsur lain, asalkan katoda berongga yang diperlukan tersedia) Dalam penelitian ini, SSA digunakan untuk mengetahui kadar logam-logam yang terdapat di air payau diantaranya Cl, Na dan Mg (S.M Khopkar, 1984).