

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Air Limbah

Air limbah dapat diartikan sebagai suatu kejadian masuknya atau dimasukkannya benda padat, cair dan gas ke dalam air dengan sifat yang dapat berupa endapan/padat, padat tersuspensi, terlarut/koloid, emulsi yang menyebabkan air harus dipisahkan atau dibuang. (Tjokrokusumo, 1998).

Air limbah/air buangan adalah kombinasi dari cairan dan sampah-sampah cair yang berasal dari daerah pemukiman, perdagangan, perkantoran dan industri bersama-sama dengan air tanah, air permukaan, dan air hujan yang mungkin ada (Metcalf and Eddy, 1991).

Air limbah yang di dalamnya terkandung polutan gas adalah merupakan bahan yang harus ditangani secara semestinya untuk tidak menimbulkan kerugian kesehatan atau secara luas tidak menimbulkan kerugian-kerugian ekonomi dan kesehatan. (Tchnobanoglous, 1979).

Air limbah yang tidak mengalami pengelolaan terlebih dahulu maka air ini akan terakumulasi dan terjadi dekomposisi bahan organik yang menghasilkan bau yang tidak sedap dan banyak mengandung bakteri patogen penyebab penyakit pada manusia.

Air limbah banyak mengandung nutrien yang dapat merangsang pertumbuhan mikroorganisme dengan komposisi air limbah pada umumnya 99,9% air dan 0,1% padatan. Padatan yang terdapat dalam limbah cair terdiri dari

70% padatan organik dan 30% padatan nonorganik. Padatan organik dari limbah cair dapat berupa protein (65%), karbohidrat (25%) dan lemak (10%) sedangkan padatan anorganik berupa butiran garam dan logam.

2.1. Sumber Air Limbah

Sumber air limbah dapat dikelompokkan menjadi :

1. Air limbah domestik

Meliputi limbah dari pemukiman perumahan. Aliran air limbah diperhitungkan berdasarkan kepadatan penduduk dan rata-rata buangan perorang. Volume air buangan bervariasi antara 50 sampai 250 gped (*galon per capita per day*).

2. Air limbah industri

Air limbah yang dibuang oleh industri dan manufaktur, industri di perkotaan biasanya membuang air limbahnya ke saluran air buangan kota setelah mengalami pengelolaan terlebih dahulu. Akan tetapi tidak semua industri yang mengelola air limbahnya sebelum dibuang ke badan air penerima.

3. Air limbah perkotaan

Air limbah yang dihasilkan oleh penggabungan antara air limbah domestik dan air limbah industri disertai dengan *infiltration*.

2.3 Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah perlu diketahui untuk dijadikan sebagai dasar dalam menentukan jenis pengolahan dari air limbah tersebut. Menurut sifat dan karakteristik air limbah dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu :

1. Sifat fisik air limbah

Sifat fisik dari air limbah dapat dilihat dengan cara visual dimana meliputi kandungan zat padat sebagai efek estetika, bau yang dikarenakan adanya bahan-bahan organik yang dapat membusuk serta dapat mengganggu estetika, warna yang dipengaruhi oleh masuknya zat terlarut seperti unsur kimia organik dan anorganik yang dapat mengurangi penetrasi sinar/cahaya ke dalam air sehingga akan mempengaruhi regenerasi oksigen secara fotosintesis. (Tjokrokusumo, 1998).

2. Sifat kimia air limbah

Karakteristik kimiawi cenderung lebih khusus sifatnya dibanding dengan karakteristik fisik dan oleh karena itu lebih cepat dan tepat untuk menilai sifat-sifat air dari suatu sampel. Kandungan bahan kimia yang ada di dalam air limbah dapat merugikan lingkungan. Bahan organik terlarut dapat menghasilkan oksigen dalam limbah serta akan menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap. Protein merupakan penyebab utama terjadinya bau ini, sebabnya ialah struktur protein sangat kompleks dan tidak stabil serta mudah terurai menjadi bahan kimia lain oleh proses dekomposisi (Sugiharto, 1987). Selain itu akan lebih berbahaya apabila bahan kimia merupakan bahan kimia

yang beracun. Adapun bahan kimia yang penting yang ada di dalam air limbah pada umumnya dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Bahan Organik, secara umum bahan organik terdiri dari kombinasi karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen. Semakin lama, jumlah dan jenis bahan organik semakin banyak, hal ini akan mempersulit dalam pengolahan air limbah, sebab beberapa zat tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Parameter yang termasuk dalam kimia organik antara lain : karbohidrat, minyak lemak, pestisida, dan phenol. (Gintings, 1995).
 - b. Bahan anorganik, beberapa komponen anorganik dari air limbah banyak digunakan sebagai indikator untuk mengetahui kualitas air limbah. Bahan anorganik meliputi: pH, klorida, kebasaaan, sulfur, zat beracun, logam berat, metan, nitrogen, fospor, gas (Sugiharto, 1987).
3. Sifat biologis air limbah
- Sifat biologis air limbah merupakan salah satu parameter yang penting hal ini dikarenakan adanya bakteriologis, virus, protozoa dan cacing parasit yang bersifat patogenik. Dalam menentukan tingkat pencemaran bakteriologis dengan menggunakan indikator berapa jumlah bakteri coliform per seratus ml larutan dengan singkatan MPN (*Most Probable Number*) (Tjokrokusumo, 1998). Adapun pertumbuhan mikroorganisme ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti temperatur, pH, deras aliran, musim, dan lain-lainnya. Misalnya, oksigen terlarut dan zat organik akan

menentukan jenis spesies yang terdapat dalam air. (J. S. Slamet, 2004).

Mikroorganisme dapat berkembang dengan baik pada pH 6 – 9.

2.4 Penanggulangan Masalah Air Limbah

2.4.1 Pengendalian Bahaya Limbah

Sebagian besar pertumbuhan populasi penduduk dunia terjadi di negara-negara berkembang seperti Indonesia, yang pada akhirnya akan mengakibatkan perubahan pola dan gaya hidup, standar kehidupan yang akan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan barang dan jasa. (United Nation, 2002). Indonesia sebagai negara berkembang mengalami ketiga hal tersebut. Sehingga secara otomatis pencemaran akan terus terjadi dan meningkat dari tahun ke tahun berikutnya baik itu secara kuantitas maupun secara kualitas.

Dengan demikian, perlu adanya usaha pengendalian limbah. Menurut Kasmidjo (1981), usaha untuk mengendalikan usaha limbah meliputi tiga kemungkinan tahapan, yaitu memodifikasi proses agar usaha produksi tersebut tidak atau sangat mengurangi timbulnya limbah. Jika modifikasi proses memang tidak dapat lagi diterapkan barulah diambil usaha berikutnya, ialah mengambil manfaat atas limbah yang timbul (*reuse*) sebagai bahan mentah baru, bahan bakar, makanan, atau pupuk. Usaha kedua ini dimaksudkan agar limbah masih memiliki nilai ekonomis dan mampu memberi nilai keuntungan tambahan terhadap perusahaan, atau setidaknya agar biaya untuk mengeleminasi bahaya pencemaran oleh limbah dapat didanai dari limbah itu sendiri. Sedangkan yang ketiga merupakan alternatif yang terakhir, pemberian perlakuan dibuang terhadap

limbah agar limbah semata-mata dapat dibuang dalam keadaan bebas bahaya pencemaran, tanpa mengambil manfaat daripadanya (kecuali manfaat tidak langsung jangka panjang, berupa kelestarian lingkungan). Alternatif yang terakhir ini dapat dilakukan bila bahaya pencemaran limbah memang harus diselenggarakan dengan dana tambahan yang memang sudah tidak dapat dihindarkan.

2.4.2 Jenis - Jenis Pengolahan Limbah

Berdasarkan karakteristik limbah, proses pengolahan dapat digolongkan menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Proses Fisika

Perlakuan terhadap air limbah dengan cara fisika, yaitu proses pengolahan secara mekanis dengan atau tanpa penambahan kimia. Proses-proses tersebut diantaranya adalah penyaringan, penghancuran, perataan air, penggumpalan, sedimentasi, pengapungan dan filtrasi.

2. Proses Kimia

Proses pengolahan secara kimia menggunakan bahan kimia untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar di dalam limbah. Dengan adanya bahan kimia berarti akan terbentuk unsur baru dalam air limbah, yang mungkin berfungsi sebagai *katalisator*. Kegiatan yang termasuk dalam proses kimia diantaranya adalah pengendapan, klorinasi, oksidasi dan reduksi, netralisasi, *ion exchanger* serta desinfektan.

3. Proses Biologi

Proses pengolahan limbah secara biologis adalah memanfaatkan mikroorganisme (ganggang, bakteri, protozoa) untuk menguraikan senyawa organik dalam air limbah menjadi senyawa yang sederhana dan dengan demikian mudah mengambilnya. (Kristanto, 2002).

2.5 Proses Pencucian Kendaraan

Pada umumnya sebelum kendaraan akan dicuci atau dibersihkan maka terlebih dahulu dilakukan pembersihan di kolong-kolong kendaraan dengan menggunakan air bertekanan tinggi yang berfungsi untuk melepaskan kotoran-kotoran yang menempel, kemudian dilanjutkan dengan proses pencucian dan penyikatan dengan menggunakan sabun atau deterjen. Setelah proses pencucian kolong kendaraan selesai, selanjutnya dilakukan pencucian *body* kendaraan dengan menyemprotkan air bertekanan, dilanjutkan dengan pemberian shampo mobil yang mengandung *wax*/lapisan lilin untuk melapisi cat dan memberikan efek kilap pada kendaraan. Kemudian setelah seluruh *body* kendaraan diberikan shampo maka dilakukan pembersihan dengan menggunakan busa lembut pada seluruh *body* kendaraan. Setelah dibersihkan maka dilakukan pembilasan kembali dengan menggunakan air bertekanan kemudian kendaraan dibawa ke tempat proses pengeringan dan proses penyelesaian akhir seperti pembersihan *interior* mobil dengan menggunakan *vacum cleaner*/penghisap debu dan pembersihan mesin serta roda-roda kendaraan.

2.6 Parameter Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan parameter-parameter sebagai berikut:

2.6.1 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Untuk menyatakan kualitas air dibutuhkan beberapa parameter yang terkait. Salah satu diantaranya adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD) atau Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) yang didefinisikan sebagai jumlah oksigen (mgO_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sampel air atau banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik menjadi CO_2 dan H_2O . Pada reaksi oksigen ini hampir semua zat yaitu sekitar 85% dapat teroksidasi menjadi CO_2 dan H_2O dalam suasana asam, sedangkan penguraian secara biologi (BOD) tidak semua zat organik dapat diuraikan oleh bakteri (Fardiaz, 1992).

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air. (G. Alaerts, 1984).

Menurut Metcalf *and* Eddy (1991), COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia. Tes COD digunakan untuk menghitung kadar bahan organik yang dapat dioksidasi dengan cara menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam.

Menurut Benefield, 1982. Perbedaan COD dan BOD dapat dilihat sebagai berikut :

- a. Angka BOD adalah jumlah komponen organik *biodegradable* dalam air buangan, sedangkan tes COD menentukan total organik yang dapat teroksidasi, tetapi tidak dapat membedakan komponen *biodegradable/non biodegradable*.
- b. Beberapa substansi inorganik seperti sulfat dan tiosulfat, nitrit dan besi ferrous yang tidak akan terukur dalam tes BOD akan teroksidasi oleh kalium dikromat, membuat nilai COD-inorganik yang menyebabkan kesalahan dalam penetapan komposisi organik dalam laboratorium.
- c. Hasil COD tidak tergantung pada aklimasi bakteri sedangkan pada tes BOD sangat dipengaruhi aklimasi *seeding* bakteri.

Untuk mengetahui jumlah bahan organik di dalam air dapat dilakukan suatu uji yang lebih cepat dibandingkan dengan uji BOD, yaitu berdasarkan reaksi kimia dari suatu bahan oksidan yang disebut uji COD (*Chemical Oxygen Demand*). Uji COD yaitu suatu uji yang menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan seperti Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) atau Kalium permanganat ($KMnO_4$) sebagai sumber oksigen/*oxidizing agent* yang digunakan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat didalam air. (Droste, Ronald L, 1997).

Air yang telah tercemar limbah organik sebelum reaksi oksidasi berwarna kuning, dan setelah reaksi oksidasi berubah menjadi warna hijau. Jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi oksidasi terhadap limbah organik seimbang dengan jumlah kalium dikromat yang digunakan pada reaksi oksidasi.

Makin banyak kalium dikromat yang digunakan pada reaksi oksidasi, berarti semakin banyak oksigen yang diperlukan.

Uji COD pada umumnya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi dibandingkan dengan uji BOD, karena bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD. *Selulosa* adalah salah satu contoh yang sulit diukur melalui uji BOD karena sulit dioksidasi melalui reaksi biokimia, akan tetapi dapat diukur melalui uji COD. (Pramudya Sunu, 2001).

2.6.2 Minyak Lemak

Minyak lemak termasuk salah satu anggota golongan lipid yaitu merupakan lipid netral (Ketaren, 1986). Emulsi air dalam minyak terbentuk jika droplet-droplet air ditutupi oleh lapisan minyak dimana sebagian besar emulsi minyak tersebut akan mengalami degradasi melalui fotooksidasi spontan dan oksidasi oleh mikroorganisme.

Minyak lemak berasal dari kandungan lemak, dimana lemak sendiri adalah fungsi atau sifat *Prostaglandin* yang dapat terbentuk dengan proses pelinggaran dan peroksigenan dari asam lemak tak jenuh dengan banyak ikatan C = C yang menyebabkan mudah terbakar dan menimbulkan nilai kalor tertentu. Minyak lemak terdiri dari 3 macam, yaitu : (S. Riawan, 1997)

1. Minyak mineral, dalam minyak ini terkandung senyawa-senyawa H.K.
2. Minyak *essensial* (minyak asiri).
3. Minyak *fixed*, yaitu tidak mudah menguap (Trigilliserida).

Jika pencemaran minyak terjadi di pantai maka proses penghilangan minyak mungkin lebih cepat karena minyak akan melekat pada benda-benda padat seperti batu dan pasir di pantai yang mengalami kontak dengan air yang tercemar tersebut. (Fardiaz, 1992).

Suatu perairan yang terdapat minyak lemak di dalamnya maka minyak lemak tersebut akan selalu berada di atas permukaan air hal ini dikarenakan minyak lemak tidak larut dalam air dan berat jenis minyak lemak lebih kecil dari pada berat jenis air.

Efek buruk dari minyak lemak adalah menimbulkan permasalahan pada saluran air limbah dan bangunan pengolah air limbah. Hal ini disebabkan karena lemak menempel pada dinding bangunan dan terakumulasi yang kemudian akan menimbulkan penyumbatan pada saluran. Sedangkan keberadaan minyak dalam air akan membentuk selaput *film* yang mengganggu proses absorpsi oksigen dari udara. Minyak lemak terutama tahan terhadap perombakan secara anaerob.

Apabila minyak lemak tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air penerima maka akan membentuk suatu lapisan tipis pada permukaan air sehingga membentuk selaput. Minyak akan membentuk ester dan alkohol atau gliserol dengan asam lemak. Gliseril dari asam lemak dalam fase padat maka dikenal dengan nama lemak, sedangkan apabila dalam fase cair disebut minyak (Sugiharto, 1987).

Lapisan minyak lemak yang berada di permukaan air akan mengganggu kehidupan organisme di dalam air hal ini dikarenakan :

1. Lapisan minyak pada permukaan air akan mengalami difusi oksigen dari udara

ke dalam air sehingga jumlah oksigen terlarut di dalam air akan menjadi berkurang. Dengan berkurangnya kandungan oksigen dalam air akan mengganggu kehidupan organisme yang berada di perairan.

2. Dengan adanya lapisan minyak pada permukaan air akan menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam air sehingga proses fotosintesis oleh tanaman air tidak dapat berlangsung.
3. Air yang telah tercemar oleh minyak lemak tidak dapat dikonsumsi oleh manusia dikarenakan pada air yang mengandung minyak tersebut terdapat zat-zat yang beracun seperti senyawa benzen dan toluen.

Semua jenis minyak mengandung senyawa-senyawa volatil yang segera dapat menguap dan ternyata selama beberapa hari 25% dari volume minyak akan hilang karena menguap, sisa minyak yang tidak menguap akan mengalami emulsifikasi yang menyebabkan air dan minyak dapat bercampur (Fardiaz, 1992).

Sifat minyak lemak :

1. Tidak berbau, tidak berwarna dan tidak punya rasa, mempunyai berat jenis lebih kecil dari pada berat jenis air.
2. Tidak larut dalam air, sedikit larut dalam alkohol.
3. Mudah larut dalam karbon disulfida, terpetin, karbon tetra khlorida, eter, petroleum eter.
4. Lemak merupakan pelarut organik yang baik.
5. Dapat dihidrolisa oleh asam, basa, enzim lipase atau oleh pemanasan yang tinggi.
6. *Racidity* (sifat tengik). Ini terjadi apabila dibiarkan berhubungan dengan

udara. Hal ini karena hidrolisis terbentuk asam lemak yang rantai atom Cnya pendek sehingga berbau keras atau teroksidasi ikatan rangkap sehingga akan pecah membentuk keton, aldehida atau asam karboksilat rantai pendek yang berbau (Anonim, 1994).

Beberapa komponen yang menyusun minyak juga diketahui bersifat racun terhadap hewan maupun manusia, tergantung dari struktur dan berat molekulnya. Komponen hidrokarbon jenuh yang mempunyai titik didih rendah diketahui dapat menyebabkan anastesi dan narkosis pada berbagai hewan tingkat rendah dan jika terdapat pada konsentrasi tinggi dapat mengakibatkan kematian. Minyak juga mengandung naftalen dan penetren yang lebih beracun terhadap ikan dibanding dengan benzen, toluen dan *xilen*. Untuk menghilangkan atau mengurangi pengaruh negatif tersebut di atas, maka air buangan harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan terbuka (Sukarmadidjaja, 1997).

Pada penelitian ini minyak lemak yang akan diteliti berasal dari limbah pencucian kendaraan bermotor yang berupa minyak lemak yang tidak terlarut.

2.7 Fungsi Reaktor Aerokarbonbiofilter Untuk Menurunkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) Dan Minyak Lemak Dari Limbah Pencucian Kendaraan Bermotor

Pada penelitian ini akan menggunakan proses pengolahan secara aerob yaitu suatu pengolahan yang membutuhkan oksigen dimana terdapat mikroorganismenya yang berfungsi untuk melakukan dekomposisi/menguraikan air limbah.

2.7.1 Proses Aerasi

Aerasi adalah suatu bentuk perpindahan molekul-molekul gas di udara dengan cairan pada *gas-liquid interface*. Karena pertukaran gas hanya terjadi pada permukaan (*interface*), maka proses tersebut harus dilakukan dengan kontak sebanyak-banyaknya antara ke dua permukaan tersebut.

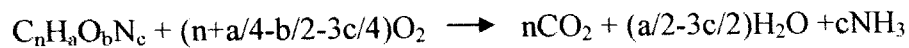
Adapun aerasi bertujuan: 1). Tambahan Oksigen untuk mengoksidasi Besi dan Mangan terlarut, 2). Pembuangan Karbondioksida, 3). Pembuangan Hidrogen Sulfida untuk menghilangkan bau dan rasa serta Pembuangan minyak yang mudah menguap dan bahan-bahan penyebab bau dan rasa.

Salah satu kegunaan dari aerasi pada pengolahan air limbah adalah memberikan suplai oksigen pada proses pengolahan biologi secara aerobik. Pengaruh lamanya waktu pada proses oksidasi akan mempengaruhi kemampuan mikroorganisme untuk mendegradasikan bahan organik yang terdapat dalam air buangan. Semakin lamanya waktu yang diberikan pada proses oksidasi maka akan memberi kesempatan bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan melakukan degradasi bahan organik. (Droste, Ronald L, 1997).

Tahapan dari aerasi (Pencampuran dengan O_2) memberikan tingkat pengikatan Oksigen yang paling cepat dengan meningkatkan derajat aerasi pada aliran oksigen di tangki (*Tapered Aeration*) yang dialirkan dalam interval selama aerasi disebut *step aeration* atau aerasi bertahap.

Selain mengandalkan kerja mekanis juga mengandalkan bakteri pengurai minyak dengan reaksi dasar sebagai berikut : (Wardana, 1995)

Bakteri aerobik



Bahan organik Oksigen

Untuk menyatakan kualitas air dibutuhkan beberapa parameter yang terkait. Salah satu diantaranya adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD).

2.7.2 Adsorpsi

Adsorpsi (penyerapan) adalah suatu proses pemisahan dimana komponen dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Biasanya partikel-partikel kecil zat penyerap dilepaskan pada adsorpsi kimia yang merupakan ikatan kuat antara penyerap dan zat yang diserap sehingga tidak mungkin terjadi proses yang bolak-balik (Tinsley, 1979).

Dalam adsorpsi digunakan istilah adsorbat dan adsorban, dimana adsorbat adalah substansi yang terserap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya, sedangkan adsorban adalah merupakan suatu media penyerap yang dalam hal ini berupa senyawa karbon (Webar, 1972).

a) Mekanisme Adsorpsi

Proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses dimana molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat adsorben akibat kimia dan fisika (Reynolds, 1982).

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.

b) Proses Operasi Adsorpsi

Operasi dari proses adsorpsi dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

1. Proses adsorpsi dilakukan dalam suatu bak dengan sistem pengadukan, dimana penyerap yang biasanya berbentuk serbuk dibubuhkan, dicampur dan diaduk dengan air dalam suatu bangunan sehingga terjadi penolakan antara partikel penyerap dengan fluida.
2. Proses adsorpsi yang dijalankan dalam suatu bejana dengan sistem filtrasi, dimana bejana yang berisi media penyerap di alirkan air dengan model pengaliran gravitasi. Jenis media penyerap sering digunakan dalam bentuk bongkahan atau butiran/granular dan proses adsorpsi biasanya terjadi selama air berada di dalam media penyerap (Reynold, 1982).

Menurut Droste (1997) proses penyerapan dalam adsorpsi dipengaruhi :

1. Bahan penyerap

Bahan yang digunakan untuk menyerap mempunyai kemampuan berbeda-beda, tergantung dari bahan asal dan juga metode aktivasi yang digunakan.

2. Ukuran butir

Semakin kecil ukuran butir, maka semakin besar permukaan sehingga dapat menyerap kontaminan makin banyak. Secara umum kecepatan adsorpsi ditunjukkan oleh kecepatan difusi zat terlarut ke dalam pori-pori partikel adsorben. Ukuran partikel yang baik untuk proses penyerapan antara -100 / +200 mesh.

3. Derajat keasaman (pH larutan)

Pada pH rendah, ion H^+ akan berkompetisi dengan kontaminan yang akan diserap, sehingga efisiensi penyerapan turun. Proses penyerapan akan berjalan baik bila pH larutan tinggi. Derajat keasaman mempengaruhi adsorpsi karena pH menentukan tingkat ionisasi larutan, pH yang baik berkisar antara 8-9. Senyawa asam organik dapat diadsorpsi pada pH rendah dan sebaliknya basa organik dapat diadsorpsi pada pH tinggi.

4. Waktu serap

Waktu serap yang lama akan memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang terjerap berlangsung dengan baik.

5. Konsentrasi

Pada konsentrasi larutan rendah, jumlah bahan diserap sedikit, sedang pada konsentrasi tinggi jumlah bahan yang diserap semakin banyak. Hal ini disebabkan karena kemungkinan frekuensi tumbukan antara partikel semakin besar.

1. Karbon Aktif

Karbon aktif adalah karbon yang diproses pada temperatur dibawah 600°C , akan tetapi ada juga beberapa literatur yang menyatakan pada proses aktivasi arang dengan uap air sangat baik pada temperatur $900-1000^{\circ}\text{C}$ disertai penambahan garam KCNS dengan tujuan agar pori-pori pada karbon aktif terbuka sehingga akan mempertinggi kualitas daya adsorpsi karbon aktif yang diperoleh.

Karbon aktif merupakan karbon yang akan membentuk *amorf*, yang sebagian besar terdiri dari karbon bebas serta memiliki permukaan dalam (*internal surface*) yang berongga, berwarna hitam, tidak berbau, tidak berasa, dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon yang belum menjalani proses aktivasi.

Bentuk yang paling umum dari karbon aktif adalah berbentuk bubuk (*powder*) yang sering kita kenal dengan nama PAC (*Powdered Activated Carbon*) dan yang berbentuk butiran (*granular*) yang kita kenal dengan nama GAC (*Granular Activated Carbon*). (Droste, 1997).

Karbon yang berbentuk bubuk digunakan untuk adsorpsi dalam larutan, misalnya untuk menghilangkan warna sedangkan karbon dengan bentuk

granular digunakan untuk absorpsi gas dan uap. Akan tetapi Karbon bentuk granular juga sering digunakan pada media larutan khususnya untuk menghilangkan warna dalam suatu larutan serta pemisahan komponen-komponen dalam suatu sistem yang mengalir.

a) Daya Serap Karbon Aktif

Pada proses adsorpsi ada dua yaitu proses adsorpsi secara fisika dan adsorpsi secara kimia. Adsorpsi secara fisika yaitu proses berlangsung cepat, dan dapat balik dengan panas adsorpsi kecil ($\pm 5-6$ kkal/mol), sehingga diduga gaya yang bekerja di dalamnya sama dengan seperti cairan (*gaya Van Deerp Wals*). Unsur yang terserap tidak terikat secara kuat pada bagian permukaan penyerap. Adsorpsi fisika dapat balik (*reversible*), tergantung pada kekuatan daya tarik antar molekul penyerap dan bahan terserap lemah maka terjadi proses adsorpsi, yaitu pembebasan molekul bahan penyerap. (Tinsley, 1979).

Adsorpsi kimia adalah merupakan hasil interaksi kimia antara penyerap dengan zat-zat terserap, kekuatan ikatan kimia sangat bervariasi dan ikatan kimia sebenarnya tidak benar-benar terbentuk tetapi kekuatan adhesi yang terbentuk lebih kuat dibandingkan dengan daya ikat penyerap fisika. Panas adsorpsi kimia lebih besar dibandingkan dengan adsorpsi fisika ($\pm 10-100$ kkal/mol). Pada proses kimia tidak dapat balik (*irreversible*) dikarenakan memerlukan energi untuk membentuk senyawa kimia baru pada permukaan adsorben sehingga proses balik juga diperlukan energi yang tinggi. (Tinsley, 1979).

b) Kegunaan Karbon Aktif

Banyak penelitian yang mempelajari tentang manfaat/kegunaan dari karbon aktif yang dapat menyerap senyawa organik maupun anorganik, penyerap gas, penyerap logam, menghilangkan polutan mikro misalnya deterjen, bau, senyawa phenol dan lain sebagainya. Pada saringan arang aktif ini terjadi proses adsorpsi, yaitu proses penyerapan zat-zat yang akan dihilangkan oleh permukaan arang aktif. Apabila seluruh permukaan arang aktif sudah jenuh, atau sudah tidak mampu lagi menyerap, maka kualitas air yang di saring sudah tidak baik lagi sehingga arang aktif harus di ganti dengan arang aktif yang baru.

2. Zeolit

Mineral alam zeolit yang merupakan senyawa alumino-silikat dengan struktur sangkar terdapat di Indonesia seperti di Bayah, Banten, Cikalong, Tasikmalaya, Cikembar, Sukabumi, Nanggung, Bogor dan Lampung dalam jumlah besar dengan bentuk hampir murni dan harga murah. Mineral zeolit mempunyai struktur "framework" tiga dimensi dan menunjukkan sifat penukar ion, sorpsi, "molecular sieving" dan katalis sehingga memungkinkan digunakan dalam pengolahan limbah industri dan limbah nuklir (Las, T, 1996).

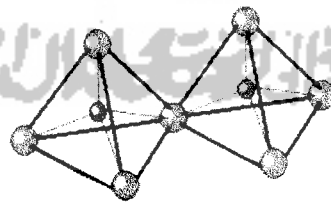
Zeolit juga ditemukan sebagai batuan endapan pada bagian tanah jenis basalt dan komposisi kimianya tergantung pada kondisi hidrotermal lingkungan lokal, seperti suhu, tekanan uap air setempat dan komposisi air tanah lokasi kejadiannya. Hal itu menjadikan zeolit dengan warna dan

tekstur yang sama mungkin berbeda komposisi kimianya bila diambil dari lokasi yang berbeda, disebabkan karena kombinasi mineral yang berupa partikel halus dengan impuritis lainnya.

Pada tahun 1984 Joseph V. Smith ahli kristalografi Amerika Serikat mendefinisikan zeolit sebagai :

"A zeolite is an aluminosilicate with a framework structure enclosing cavities occupied by large ions and water molecules, both of which have considerable freedom of movement, permitting ion-exchange and reversible dehydration". Dengan demikian, zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara reversibel.

Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal $M_{c/n} \{ (AlO_2)_c (SiO_2)_d \} b H_2O$.



Gambar 2.2 Tetrahedra alumina dan silika (TO₄) pada struktur zeolit

a) Kegunaan Zeolit

Kegunaan zeolit di bidang industri dapat memisahkan ammonia/ammonium ion dari air limbah industri. Dengan menggunakan Clinoptilolit dapat memisahkan 99 % amoniak/amonium dari limbah industri.

Zeolit dapat juga digunakan dalam proses penyerapan gas seperti 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_3CN , CH_3OH , termasuk pirogas dan fraksi etana/etilen, pemurnian udara bersih mengandung O_2 , penyerapan gas N_2 dari udara sehingga meningkatkan kemurnian O_2 diudara, campuran filter pada rokok, penyerapan gas dan penghilangan warna dari cairan gula pada pabrik gula. Dalam bidang katalis, sorben Al_2O_3 biasanya digunakan tetapi akhir-akhir ini juga digunakan zeolit A dalam industri petrokimia pada proses isomerisasi, hidro sulfurisasi, hidrocracking, hidrogenasi, reforming, dehidrasi, dehidrogenasi dan de-alkilasi, cracking parafin, disportion toluen/benzen dan xylen.

Dengan adanya keawatiran pencemaran lingkungan oleh polifosfat yang biasa digunakan dalam deterjen sebagai "builder" untuk meningkatkan efisiensi deterjen pada air yang mengandung Ca dan Mg tinggi. Sekarang ini, zeolit klinoptilolit juga digunakan sebagai pengganti polifosfat. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan zeolit A pada deterjen ternyata tidak menyebabkan akumulasi pada sistim air buangan. (Las, T, 1996).

Dalam bidang pertanian, zeolit digunakan sebagai "soil conditioning" yang dapat mengontrol dan menaikkan pH tanah serta kelembaban tanah dan sebagai carrier pestisida/herbisida dan fungisida sedangkan dalam bidang peternakan, zeolit juga digunakan sebagai "food supplement" pada ternak ruminansia dan non-ruminansia masing-masing dengan dosis 2,5 – 5 %

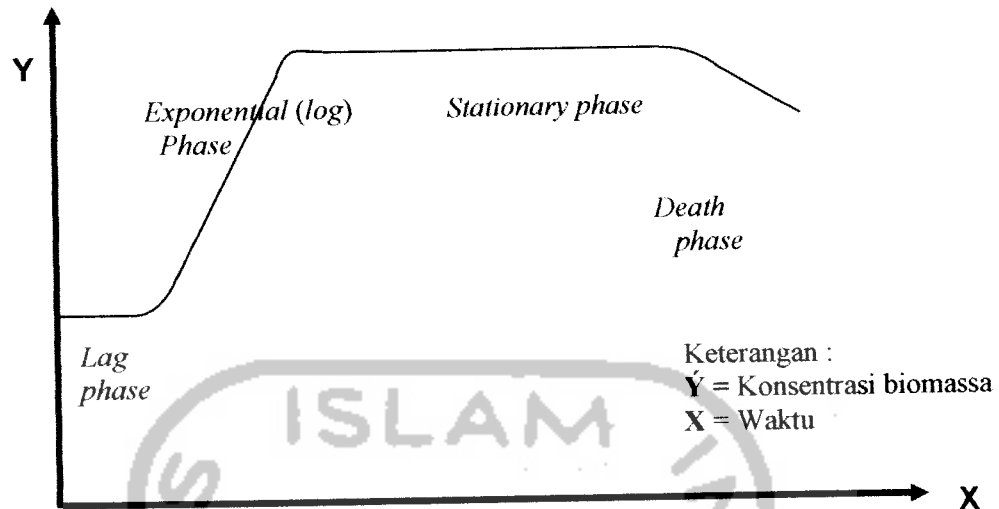
dari rasio pakan perhari yang dapat meningkatkan produktivitas baik susu, daging dan telur, laju pertumbuhan serta memperbaiki kondisi lingkungan kandang dari bau yang tidak sedap.

3. Proses Pertumbuhan Mikroorganisme/*Seeding*

Pada penelitian ini menggunakan reaktor pertumbuhan melekat (*attached growth reactor*) di sekeliling media padat seperti batu dan plastik dimana pada media padat itu mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan terlekat membentuk lapisan *biofilm* dengan menstabilisasi bahan organik pada air buangan yang lewat disekitar mereka.

a. Pertumbuhan Mikroorganisme

Populasi pertumbuhan mikroba dipelajari dengan menganalisis kurva pertumbuhan dari sebuah kultur media (Prescott, 1999). Teknik evaluasi suatu populasi mikroba baik secara kuantitatif maupun kualitatif dapat digunakan untuk memantau dan mengkaji fenomena pertumbuhan (Mangunwidjaja, 1994).



Gambar 2.1. Kurva Pertumbuhan Mikroba Pada Sistem Tertutup

Sumber : Prescott, 1999.

▪ **Fase awal (*Lag phase*)**

Ketika mikroorganisme diperkenalkan kepada media kultur segar, biasanya tidak ada penambahan jumlah sel atau massa, periode ini disebut fase awal yang merupakan masa penyesuaian mikroba sejak inokulasi ke media pembiakan. Selama periode ini tidak terjadi penangkaran sel (Mangunwidjaja, 1994). Oleh karena itu :

$$X = X_0 = \text{tetap} \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan X_0 = Konsentrasi sel, pada $t = 0$

▪ **Fase eksponensial (*exponential phase*)**

Pada fase eksponensial mikroorganisme tumbuh dan terbagi pada angka maksimal dimana pertumbuhannya adalah konstan mengikuti fase eksponensial. Mikroorganisme terbagi dan terbelah di dalam jumlah pada interval regular.

- **Fase Stasioner (*Stationary phase*)**

Fase ini yaitu ketika populasi pertumbuhan berhenti dan kurva pertumbuhan menjadi horizontal. Pada fase stasioner, konsentrasi biomassa mencapai maksimal, pertumbuhan berhenti dan menyebabkan terjadinya modifikasi struktur biokimiawi sel (Mangunwidjaja, 1994).

- **Fase kematian (*Death phase*)**

Kondisi lingkungan yang merugikan mengubah seperti penurunan nutrient dan menimbulkan limbah racun, mengantarkan berkurangnya jumlah dari sel hidup sehingga menyebabkan kematian.

b. Lapisan *Biofilm*

Lapisan *biofilm* terdiri dari sel-sel mikroorganisme yang melekat erat ke suatu permukaan sehingga berada dalam keadaan diam, tidak mudah lepas atau berpindah tempat (*irreversible*). Pelekatan ini seperti pada bakteri disertai oleh penumpukan bahan-bahan organik yang diselubungi oleh matrik *polimer ekstraseluler* yang dihasilkan oleh bakteri tersebut. *Biofilm* terbentuk karena adanya interaksi antara bakteri dan permukaan yang ditempel. Interaksi ini terjadi dengan adanya faktor-faktor yang meliputi kelembaban permukaan, makanan yang tersedia, pembentukan matrik *ekstraseluler (exopolimer)* yang terdiri dari polisakarida, faktor-faktor fisika-kimia seperti interaksi muatan permukaan dan bakteri, ikatan ion, ikatan *Van Der Waals*, pH dan tegangan permukaan serta pengkondisian permukaan.

4. Pasir

Media filter yang paling banyak digunakan adalah media pasir, hal ini dikarenakan memiliki nilai ekonomis yang rendah/murah. Pada umumnya pasir mempunyai senyawa kimia antara lain : SiO_2 , Na_2O , CaO , MgO , Fe_2O_3 , dan Al_2O_3 . Senyawa yang terpenting dalam pasir sebagai media filter adalah kandungan SiO_2 , yang tinggi, karena SiO_2 yang tinggi memberikan kekerasan pasir semakin tinggi pula.

Pasir adalah media filter yang paling umum dipakai dalam proses penjernihan air, karena pasir dinilai ekonomis, tetapi tidak semua pasir dapat dipakai sebagai media filter. Artinya diperlukan pemilihan jenis pasir, sehingga diperoleh pasir yang sesuai dengan syarat-syarat media pasir. Dalam memilih jenis pasir sebagai media filter hal-hal yang diperhatikan adalah :

- a. Senyawa kimia pada pasir.
- b. Karakteristik fisik pasir.
- c. Persyaratan kualitas pasir yang disyaratkan.
- d. Jenis pasir dan ketersediaannya.

a) Susunan Kimia Pasir

Pada umumnya pasir mempunyai senyawa kimia antara lain : SiO_2 , Na_2O , CaO , MgO , Fe_2O_3 , dan Al_2O_3 . Senyawa yang terpenting dalam pasir sebagai media filter adalah kandungan SiO_2 , yang tinggi, karena SiO_2 yang tinggi memberikan kekerasan pasir semakin tinggi pula. (Lewis, 1980). Proses yang

terpenting dalam filter yang berhubungan dengan kekerasan pasir adalah pencucian pasir.

b) Karakteristik Fisik Pasir

Karakteristik fisik pasir yang perlu diperhatikan untuk media filter antara lain adalah :

1. Bentuk Pasir

Bentuk pasir sangat berpengaruh terhadap kelolosan/permeabilitas. Menurut bentuknya pasir dapat dibagi menjadi 3, yaitu : bundar, menyudut tanggung, dan bundar menyudut (Lewis, 1980). Umumnya dalam satu jenis pasir ditemukan bentuk lebih dari satu bentuk butir. Pasir dengan bentuk bundar memberikan kelolosan lebih tinggi dari pada pasir bentuk lain.

2. Ukuran Butiran Pasir

Butiran pasir berukuran kasar dengan diameter > 2 mm memberikan kelolosan yang besar, sedangkan ukuran pasir berukuran halus dengan diameter 0,15-0,45 mm memberikan kelolosan yang rendah. Faktor yang penting dalam memilih ukuran butiran pasir sebagai media saring adalah *effective size* (ES).

3. Kemurnian pasir

Pasir yang digunakan sebagai media saringan semurni mungkin, artinya pasir benar-benar bebas dari kotoran, misalnya lempung. Pasir dengan kandungan lempung yang tinggi jika digunakan sebagai media filter akan berpengaruh pada kualitas filtrasi yang dihasilkan.

4. Kekerasan pasir

Kekerasan pasir dihubungkan dengan kehancuran pasir selama pemakaian sebagai media filter. Kekerasan berhubungan erat dengan kandungan SiO_2 yang tinggi, maka akan memberikan kekerasan yang tinggi pula.

c) Jenis Pasir dan Ketersediaannya

Mudah tidaknya jenis pasir yang dijadikan media filter untuk diambil sangat mempengaruhi harga dari pasir tersebut, sedangkan jumlah atau cadangan pasir hendaknya cukup untuk sejumlah kebutuhan bagi filter yang direncanakan.

Pasir yang diambil dari Sungai Progo ternyata cukup baik digunakan sebagai media filter karena mempunyai kekerasan yang tinggi juga mempunyai persediaan yang cukup banyak. Berdasarkan hasil pemeriksaan pasir yang berasal dari Sungai Progo dapat diketahui bahwa derajat kerja sebesar 0,398 mm, derajat keseragaman sebesar 2,03 serta kelarutan sebesar 3,5 % dan berat jenis sebesar $2,857 \text{ gr/cm}^3$. (BTKL, 1990).

Saringan pasir bertujuan mengurangi kandungan lumpur dan bahan-bahan padat yang ada di air. Ukuran pasir untuk menyaring bermacam-macam, tergantung jenis bahan pencemar yang akan disaring. Pengamatan tentang bahan padat yang terapung, seperti potongan kayu, dedaunan, sampah, dan kekeruhan air perlu dilakukan untuk menentukan ukuran yang akan dipakai. Semakin besar bahan padat yang perlu disaring, semakin besar ukuran pasir.

Umumnya, air kotor yang akan disaring oleh pasir mengandung bahan padat dan endapan lumpur. Karena itu, ukuran pasir yang dipakai pun tidak terlalu besar. Yang lazim dimanfaatkan adalah pasir berukuran 0,2 mm - 0,8 mm.

Berdasarkan ukuran pasir, maka dapat dibedakan dua tipe saringan pasir, yakni saringan cepat dan saringan lambat. Saringan cepat dapat menghasilkan air bersih sejumlah 1,3 - 2,7 liter/m³/detik. Diameter pasir yang dipakai 0,4 mm - 0,8 mm dengan ketebalan 0,4 m - 0,7 m. Saringan pasir lambat menghasilkan air bersih 0,034 - 0,10 liter/m³/detik. Diameter pasir yang dipakai sekitar 0,2 mm - 0,35 mm dengan ketebalan 0,6 mm - 1,2 mm. Saringan pasir hanya mampu menahan bahan padat terapung. Ia tidak dapat menyaring virus atau bakteri pembawa bibit penyakit. Itulah sebabnya air yang sudah melewati saringan pasir masih tetap harus disaring lagi oleh media lain. Saringan pasir ini harus dibersihkan secara teratur pada waktu-waktu tertentu.

d) Jenis Operasi Saringan Pasir

Operasi filtrasi pada alat filter media butiran bertujuan untuk menyisihkan padatan tersuspensi dari dalam air, dimana padatan tersuspensi tersebut paling besar memberikan sifat keruh yang dimiliki air.

Pada umumnya operasi unit filter media butiran di bagi menjadi tiga jenis yaitu :

1. Filter Pasir Lambat (*Slow Sand Filter*)
2. Filter Pasir Cepat (*Rapid Sand Filter*)
3. Filter Bertekanan

Terdapat banyak perbedaan diantara ketiga unit operasi tersebut baik pada rancangannya ataupun pengoperasiannya. Untuk jenis filter pasir lambat maka ukuran diameter yang digunakan adalah 0,15 – 0,45 mm dengan ketinggian media antara 60 - 120 cm dan laju alir *influent* dalam besaran kecepatan linier pada rentang 1-2 m/jam, sedang pada filter pasir cepat ukuran media filter 0,40 – 0,70 mm.

Faktor yang mempengaruhi efisiensi penyaringan ada 4 faktor dan menentukan hasil penyaringan dalam bentuk kualitas *effluent* serta masa operasi saringan yaitu :

1. Kualitas air baku, semakin baik kualitas air baku yang diolah maka akan baik pula hasil penyaringan yang diperoleh.
2. Suhu, suhu yang baik yaitu antara 20 – 30°C, temperatur akan mempengaruhi kecepatan reaksi-reaksi kimia.
3. Kecepatan penyaringan, pemisahan bahan-bahan tersuspensi dengan penyaringan tidak dipengaruhi oleh kecepatan penyaringan. Berbagai hasil penelitian membuktikan kecepatan penyaringan tidak mempengaruhi terhadap kualitas *effluent*. Kecepatan penyaringan lebih banyak terhadap masa operasi saringan. (Huisman, 1975).
4. Diameter butiran, secara umum kualitas *effluent* yang dihasilkan akan lebih baik bila lapisan saringan pasir terdiri dari butiran-butiran halus. Jika diameter butiran yang di gunakan kecil maka yang terbentuk juga kecil. Hal ini akan meningkatkan efisiensi penyaringan.

e) Mekanisme Filtrasi

Menurut Razif (1985), proses filtrasi adalah kombinasi dari beberapa fenomena yang berbeda, yang paling penting adalah :

1. *Mechanical Straining*, yaitu proses penyaringan partikel *suspended matter* yang terlalu besar untuk bisa lolos melalui lubang antara butiran pasir, yang berlangsung diseluruh permukaan saringan pasir dan sama sekali tidak bergantung pada kecepatan penyaringan.
2. Sedimentasi, akan mengendapkan partikel *suspended matter* yang lebih halus ukurannya dari lubang pori pada permukaan butiran. Proses pengendapan terjadi pada seluruh permukaan pasir.
3. *Adsorption* adalah proses yang paling penting dalam proses filtrasi. Proses adsorpsi dalam saringan pasir lambat terjadi akibat tumbukan antara partikel-partikel tersuspensi dengan butiran pasir saringan dan dengan bahan pelapis seperti gelatin yang pekat yang terbentuk pada butiran pasir oleh endapan bakteri dan partikel koloid. Proses ini yang lebih penting terjadi sebagai hasil daya tarik menarik elektrostatis, yaitu antara partikel-partikel yang mempunyai muatan listrik yang berlawanan.
4. Aktivitas kimia, beberapa reaksi kimia akan terjadi dengan adanya oksigen maupun bikarbonat.
5. Aktivitas biologis yang disebabkan oleh mikroorganisme yang hidup dalam filter.