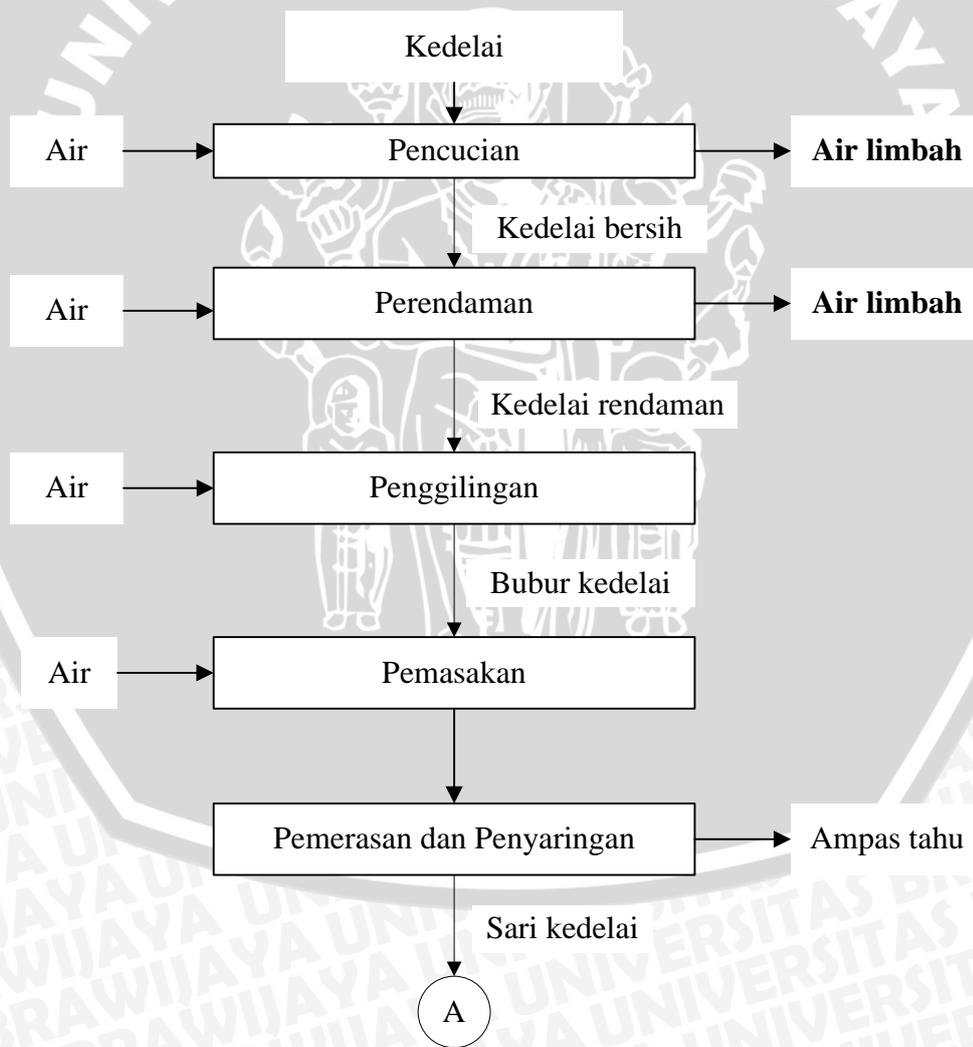


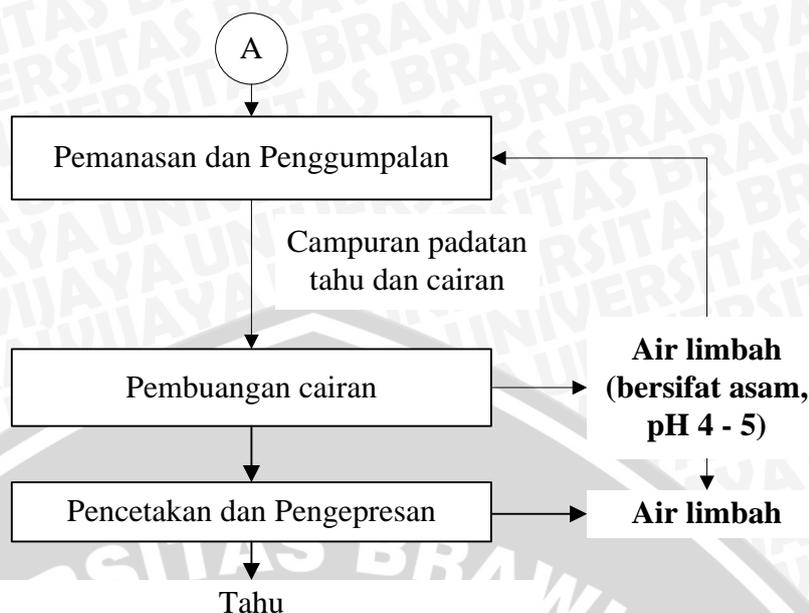
## BAB II KAJIAN PUSTAKA

### 2.1. Proses Pembuatan Tahu

Proses pembuatan tahu masih menggunakan cara tradisional dengan memakai tenaga manusia dan teknologi yang sederhana. Bahan baku utama untuk membuat tahu adalah kedelai. Pada proses pembuatan tahu membutuhkan air dalam jumlah besar mulai dari tahap pencucian sampai pemasakan kedelai hingga menjadi tahu yang siap untuk dijual. Dari banyaknya air yang dipakai mengakibatkan proses pembuatan tahu menghasilkan limbah cair organik *biodegradable* dalam jumlah cukup besar pula. Diagram alir proses pembuatan tahu dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2.1. Diagram alir proses pembuatan tahu (Nusa Idaman,1999:299; Hery Pudjo,1993:6)



Gambar 2.1. Diagram alir proses pembuatan tahu (lanjutan)

Secara umum tahapan dalam proses pembuatan tahu adalah sebagai berikut (Nusa Idaman,1999:299):

- Bahan baku berupa kedelai dibersihkan dan disortasi dengan ditampi maupun menggunakan alat pembersih.
- Kedelai yang telah dibersihkan kemudian direndam agar mengembang dan mudah untuk digiling. Tahap perendaman kedelai ini selama 4 – 10 jam.
- Pencucian kedelai menggunakan air bersih.
- Kedelai yang telah dicuci kemudian digiling sampai menjadi bubur kedelai dengan menggunakan mesin penggiling. Pada proses penggilingan kedelai tersebut perlu ditambah air sesuai dengan jumlah kedelai yang digiling.
- Bubur kedelai hasil penggilingan kemudian dimasak didalam tungku pemasakan dan didihkan selama 5 menit. Saat memasak bubur kedelai tersebut ditambahkan air dan diaduk agak tidak berbuih.
- Bubur kedelai yang telah dimasak hingga mendidih kemudian disaring dengan kain penyaring. Proses penyaringan ini menghasilkan sari kedelai dan ampas. Prosentase ampas yang dihasilkan dari proses penyaringan berkisar antara 70 – 90%.
- Tahap yang selanjutnya adalah penggumpalan menggunakan air asam. Tahap penggumpalan ini dilakukan pada suhu 50°C dan kemudian didiamkan sampai sari kedelai hasil penyaringan membentuk gumpalan

besar. Proses penggumpalan sari kedelai menghasilkan air endapan yang perlu dibuang dan sebagian dapat digunakan lagi untuk proses penggumpalan selanjutnya.

- h. Tahap yang terakhir adalah pengepresan dan pencetakan tahu. Gumpalan dari sari kedelai dimasukkan ke dalam cetakan yang telah dilapisi kain penyaring dan kemudian ditekan dengan hingga menjadi padat. Cetakan akan dibuka jika air telah sedikit dan telah berbentuk padatan tahu.

Dari banyaknya air yang dipakai mengakibatkan proses pembuatan tahu menghasilkan limbah cair cukup besar.

Besarnya limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi tahu dapat diketahui dari banyaknya bahan baku yang digunakan. Menurut, Hery Pudjo (1993:9) menyebutkan bahwa untuk setiap 10 kg kedelai rata-rata membutuhkan air untuk pencucian sebanyak 40 kg, air untuk penggilingan 34,5 kg, pemasakan bubur kedelai membutuhkan air 87 kg, dan proses penggumpalan membutuhkan 34 kg air, sehingga limbah cair total yang dihasilkan adalah 150 kg.

## 2.2. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

Untuk karakteristik limbah cair dari industri tahu ada dua parameter yang penting yakni fisika dan kimia. Parameter tersebut dibagi berdasarkan kontaminan yang terkandung dalam air limbah tahu tersebut. Karakteristik fisika meliputi padatan total, kekeruhan, warna, suhu dan bau, sedangkan karakteristik kimia meliputi kandungan bahan organik dan bahan anorganik.

Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam buangan industri tahu pada umumnya sangat tinggi dan bersifat *biodegradable*. Senyawa-senyawa organik di dalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak dengan komposisi 40 - 60% protein, 25 - 50% karbohidrat, dan 10% lemak (Ikbaldkk., 2002:301). Dari kandungan bahan pencemar didalam limbah cair tahu mengakibatkan beberapa permasalahan yaitu:

- a. Kualitas air di perairan menjadi semakin menurun karena bahan organik yang meningkat.
- b. Biaya untuk proses pengolahan air minum yang mengambil sumber dari sungai yang telah tercemar menjadi semakin meningkat dan memungkinkan

timbul senyawa kloroganik yang bersifat karsinogenik disebabkan penggunaan zat khlor yang berlebihan.

- c. Gangguan kesehatan dan sanitasi lingkungan tidak baik.

### 2.2.1. Karakteristik Fisik Limbah Cair Industri Tahu

Karakteristik fisik limbah cair industri tahu yang paling penting adalah padatan total dan suhu. Berikut ini merupakan penjelasan dari karakter fisik tersebut:

#### 2.2.1.1. Padatan total

Air limbah mengandung bermacam-macam material padatan yang mengendap atau tidak terlarut dan material yang tercampur/tersuspensi. Padatan yang terdapat didalam air limbah yaitu sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2003:43):

Tabel 2.1. Definisi Padatan yang Ditemukan pada Air Limbah

Jenis Pengujian	Deskripsi
<i>Total Solids</i> (TS)	Hasil sisa dari air limbah setelah dipanaskan dan dikeringkan pada temperatur tertentu (103°C – 105°C).
<i>Total Suspended Solids</i> (TSS)	Besarnya TS yang tertahan pada saringan berdiameter 0,45 – 2 μm, kemudian ditimbang setelah dikeringkan pada temperatur 105°C.
<i>Total Dissolved Solids</i> (TDS) (TS-TSS)	TDS merupakan besarnya padatan yang lolos dari saringan berdiameter 2,0 μm atau lebih kecil, kemudian dipanaskan dan dikeringkan pada temperatur tertentu.

Sumber: Metcalf& Eddy, 2003:43

Perhitungan *Total Solids* (TS) dalam (mg/L) adalah sebagai berikut:

$$TS = \frac{(\text{Berat cawan} + \text{hasil sisa setelah dipanaskan dan dikeringkan})g - (\text{Berat cawan})g}{(\text{Ukuran sampel})L} \quad (2-1)$$

Perhitungan *Total Suspended Solids* (TSS) dalam (mg/L) adalah sebagai berikut:

$$TSS = \frac{(\text{Berat padatan yang tertahan setelah dikeringkan})g - (\text{Berat saringan setelah dikeringkan})g}{(\text{Ukuran sampel})L} \quad (2-2)$$

Perhitungan *Total Dissolved Solids* (TDS) dalam (mg/L) adalah sebagai berikut:

$$TDS = TS - TSS \quad (2-3)$$

Menurut Hery Pudjo, Biro Bina Kependudukan dan Lingkungan Hidup Jawa Timur (1993:4), menyebutkan bahwa industri tahu memiliki bahan pencemar TSS yang tinggi yaitu sebesar 800 -1.500 mg/l.

### 2.2.1.2. Suhu

Suhu dari air limbah pada umumnya lebih tinggi daripada suhu air di perairan. Tingginya suhu tersebut disebabkan karena adanya penambahan air yang bersuhu lebih hangat dari rumah tangga maupun kegiatan industri. Pada air yang memiliki suhu lebih hangat oksigen yang dapat larut jumlahnya lebih sedikit daripada air yang dingin. Hal tersebut dikarenakan beberapa biota air yang seharusnya menghasilkan oksigen tidak mampu bertahan hidup akibat perubahan suhu secara tiba-tiba di perairan, yaitu dari bersuhu dingin kemudian berubah menjadi hangat dan kembali dingin lagi.

Suhu optimum untuk aktivitas bakteri adalah sekitar 25° – 35°C, Penguraian secara aerobik dan nitrifikasi berhenti ketika suhu mencapai 50°C. Ketika suhu menurun menjadi sekitar 15°C bakteri penghasil metana menjadi cukup tidak aktif. Pada suhu 5°C bakteri nitrit autotrof berhenti berfungsi (Metcalf&Eddy, 2003:55).

Air limbah tahu yang diambil dari *outlet* pembuangan terakhir pada industri tahu suhunya sebesar 55°C dan setelah kurang lebih 5 jam akan turun menjadi 34°C (Suhermanto, 2003:47).

### 2.2.2. Karakteristik Kimia Limbah Cair Industri Tahu

Pada karakteristik kimia pengukuran kualitas air terbagi menjadi dua parameter yakni kimia organik dan kimia anorganik. Parameter kimia yang organik bersifat *biodegradable* yakni BOD, COD, minyak dan lemak. Sedangkan pada parameter kimia yang bersifat anorganik meliputi pH, klorida, alkalinitas, nitrogen, fosfor, sulfur, dan lain-lain.

### 2.2.2.1. Parameter Kimia Organik

Berdasarkan Keputusan Gubernur Jatim Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya, mutu air limbah tahu untuk parameter kimia organik yang digunakan adalah BOD<sub>5</sub> dan COD.

#### a. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD merupakan indikator yang paling sering digunakan untuk mengetahui jumlah oksigen yang diperlukan bagi mikroba untuk melakukan proses penguraian zat organik. Selain itu, BOD juga untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut dalam air. Parameter yang sering digunakan untuk pencemaran zat organik dalam air limbah maupun air permukaan adalah BOD pada hari kelima (BOD<sub>5</sub>). Menurut Metcalf & Eddy pada tahun 2003:81, pada saat ini pengujian BOD digunakan untuk beberapa tujuan, yakni:

- Untuk menentukan perkiraan jumlah oksigen yang dibutuhkan bakteri untuk menstabilkan bahan organik yang ada.
- Untuk menentukan besarnya instalasi pengolahan air limbah.
- Untuk mengukur efisiensi dari beberapa proses pengolahan.
- Untuk menentukan jumlah air limbah yang diizinkan untuk dibuang.

Menurut Hery Pudjo dari Biro Bina Kependudukan dan Lingkungan Hidup Jawa Timur (1993:4), menyebutkan bahwa industri tahu memiliki bahan pencemar BOD sebesar 3.500 – 7.000 mg/l.

#### b. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD merupakan indikator untuk mengetahui jumlah kebutuhan oksigen untuk oksidator yang digunakan mengoksidasi zat organik maupun zat anorganik dalam reaksi kimia. Angka yang ditunjukkan pada COD merupakan parameter pencemaran air oleh zat organik yang dapat dioksidasi dan diproses secara biologis yang dapat menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air. Pada limbah cair tahu kandungan COD berkisar antara 5.500 – 10.000 mg/l (Hery Pudjo, 1993:4).

### 2.2.2.2. Parameter Kimia Anorganik

Untuk parameter kimia anorganik berkaitan dengan limbah tahu yang disebutkan dalam Keputusan Gubernur Jatim Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air

Limbah Bagi Industri dan atau Kegiatan Usaha Lainnya, yang digunakan adalah indikator berupa pH.

Konsentrasi ion hidrogen yang dinyatakan dalam pH merupakan parameter penting pada perairan alami maupun air limbah. Air dapat dikatakan memiliki kualitas yang baik apabila memiliki nilai pH yang berkisar antara 6 – 9 dimana sebagian besar dari biota air dapat hidup. Air limbah dengan pH yang bersifat asam yaitu berkisar 4 – 5 merupakan air limbah yang sulit untuk diuraikan secara biologis. Apabila konsentrasi pH tersebut tidak dirubah sebelum dibuang, maka air limbah tersebut akan merubah konsentrasi pH pada perairan alami. Pada limbah cair tahu yang belum diolah memiliki kadar pH sebesar 4,75 – 5 (Suhermanto; 2003:38).

Pengukuran pH di perairan dapat menggunakan pH meter yang sudah bersifat otomatis. Selain itu juga dapat menggunakan kertas indikator pH dengan membandingkan hasil warna kertas dengan standar warna yang telah ada.

### **2.3. Standar Baku Mutu Limbah Cair**

Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usahan Lainnya, mutu air limbah adalah kondisi kualitas air limbah yang diukur dan diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metoda tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan (Pasal I Ayat (14)). Penetapan baku mutu air limbah bertujuan untuk mencegah terjadinya pencemaran sumber air guna mewujudkan sumber air sesuai dengan peruntukannya. Baku mutu untuk industri tahu serta tata cara perhitungan volume air limbah maksimum dan beban pencemaran maksimum untuk menentukan mutu air limbah dapat dilihat pada Lampiran 1.

### **2.4. Metode Pengambilan Sampel**

Untuk metode pengambilan sampel air limbah akan dijelaskan pada Lampiran 2, yaitu SNI 6989.59:2008 mengenai Air dan air limbah – Bagian 59 Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. Dalam lampiran tersebut akan dijelaskan mengenai cara pengambilan sampel, alat, bahan dan ketentuan-ketentuan lain dalam pengambilan sampel air limbah.

## 2.5. Proses Pengolahan Limbah Cair

Teknologi untuk mengolah limbah cair yang bersifat organik dapat menggunakan sistem anaerobik dan aerobik. Sistem aerobik yang ada antara lain adalah menggunakan lumpur aktif, *trickling filter* dan sistem anaerobik dengan berbagai macamnya. Setiap sistem tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing.

Dalam proses pengolahan air limbah, khususnya yang mengandung pencemar senyawa organik *biodegradable* yang tinggi, teknologi yang digunakan sebagian besar menggunakan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa pencemar organik tersebut. Proses pengolahan air limbah dengan aktivitas mikroorganisme biasa dikenal dengan proses biologis. Proses pengolahan air limbah secara biologis tersebut dapat dilakukan pada kondisi aerobik (dengan udara), kondisi anaerobik (tanpa udara) atau kombinasi anaerobik dan aerobik. Proses biologis aerobik digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang tidak terlalu besar, sedangkan proses biologis anaerobik digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang sangat tinggi.

Untuk mengolah limbah cair dari industri tahu dapat digunakan kombinasi dari kedua proses tersebut, yaitu proses biologis anaerobik dan aerobik. Dari kombinasi proses tersebut akan dibagi menjadi dua tahap penguraian, yaitu penguraian secara anaerobik pada tahap pertama dan penguraian lanjutan dengan menggunakan biofilter anaerobik – aerobik pada tahap kedua.

### 2.5.1. Pengolahan Limbah Cair Sistem Anaerobik

Pada industri tahu, limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi akan dikumpulkan melalui saluran limbah kemudian dikumpulkan kedalam bak kontrol untuk memisahkan padatan. Setelah itu, limbah cair dialirkan ke bak pengurai anaerobik dan mengontrol kadar pH, jika pH terlalu rendah akan ditambah larutan kapur ( $\text{CaCO}_3$ ). Pada bak pengurai anaerobik bahan pencemar organik akan diuraikan oleh mikroorganisme secara anaerob, sehingga menghasilkan gas hidrogen sulfida yang berbau dan metana yang dapat dimanfaatkan sebagai biogas.

Pengolahan limbah cair sistem anaerobik adalah pengolahan yang tidak menggunakan oksigen didalam prosesnya. Tidak adanya oksigen yang digunakan menyebabkan tidak ada reduksi untuk COD, penghilangan COD dilakukan dengan perubahan bahan organik menjadi metana dan gas lainnya (Ronald L. Droste,1997:623).

Proses pengolahan secara anaerobik meliputi biakan anaerobik tersuspensi (*anaerobic suspended growth*), biakan melekat pada aliran naik dan aliran turun (*upflow* dan *downflow attached growth*), biakan melekat terfluidisasi (*fluidized-bed attached growth*), *upflow anaerobic sludge blanket (UASB)*, kolam anaerobik, dan proses anaerobik membran terpisah (Metcalf & Eddy, 2003:984).

Pemilihan pengolahan air limbah dengan menggunakan sistem anaerobik didasarkan pada kelebihan dan kekurangan dari sistem ini untuk mengatasi limbah cair yang bersifat organik. Kelebihan dan kekurangan dari sistem anaerobik yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.2. Keuntungan dan Kerugian dari Proses Anaerobik Dibandingkan Proses Aerobik

Keuntungan Anaerobik	Kerugian Anaerobik
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membutuhkan sedikit energi</li> <li>• Menghasilkan lumpur lebih sedikit</li> <li>• Membutuhkan nutrisi lebih sedikit</li> <li>• Menghasilkan metana yang bisa digunakan sumber energi potensial</li> <li>• Kebutuhan volume reaktor lebih kecil</li> <li>• Membuang gas yang dapat mencemari udara</li> <li>• Memiliki respon yang cepat untuk penambahan substrat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waktu yang dibutuhkan untuk memulai pengolahan lebih lama</li> <li>• Membutuhkan penambahan alkalin</li> <li>• Membutuhkan pengolahan lanjutan dengan proses aerobik untuk menghasilkan buangan</li> <li>• Nitrogen dan fosfor tidak bisa dihilangkan</li> <li>• Laju reaksi berkurang pada suhu yang rendah</li> <li>• Lebih retan terhadap zat beracun</li> <li>• Berpotensi menghasilkan gas yang bersifat korosif dan menimbulkan bau</li> </ul>

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003:984

### 2.5.1.1. Pertimbangan dalam Desain Pengolahan Limbah Cair Sistem Anaerobik

Karakteristik dari air limbah mempengaruhi desain yang akan diterapkan pada sistem anaerobik. Berikut ini merupakan faktor penting dan karakteristik air limbah yang perlu untuk dievaluasi dalam perencanaan desain pada sistem anaerobik:

#### a. Karakteristik air limbah

Air limbah yang mampu diolah dengan menggunakan sistem anaerobik adalah air limbah yang berasal dari air limbah domestik, farmasi, industri makanan

dan minuman, dan lain-lain. Dalam proses pengolahan secara anerobik mempunyai kekuatan yang lebih besar jika berada pada temperatur air limbah yang lebih hangat sehingga dapat menghemat biaya karena tidak membutuhkan aerasi dan menghasilkan padatan/lumpur yang sedikit. Untuk industri makanan, air limbah konsentrasi COD yang mampu diolah yaitu sebesar 3.000 – 30.000 mg/L (Metcalf & Eddy, 2003:987).

Karakteristik air limbah dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu sebagai berikut:

- Bahan organik

Kandungan bahan organik mempengaruhi jenis reaktor dan desain untuk pengolahan secara anaerobik. Air limbah dengan konsentrasi padatan yang tinggi lebih cocok menggunakan reaktor biakan tersuspensi daripada menggunakan biakan melekat aliran naik dan turun. Apabila dibutuhkan pengubahan padatan lebih besar, maka dibutuhkan waktu tinggal yang lebih lama.

- Alkalinitas air limbah

Tingginya kandungan  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan dari proses anaerobik yaitu sekitar 30 – 50 %, alkalinitas 2.000 – 4.000 mg/L, maka dibutuhkan  $\text{CaCO}_3$  untuk merubah pH agar menjadi netral. Penambahan  $\text{CaCO}_3$  ini menimbulkan biaya rutin yang harus dikeluarkan untuk pengolahan anaerobik.

Untuk mengetahui kebutuhan  $\text{CaCO}_3$  yang harus dilarutkan kedalam reaktor setiap harinya, maka dapat dihitung dengan langkah-langkah berikut ini (Metcalf & Eddy, 2003:989):

Menentukan  $\text{HCO}_3^-$  untuk membuat pH mendekati netral

Menentukan konsentrasi  $\text{H}_2\text{CO}_3$

$$X_{\text{H}_2\text{CO}_3} = \frac{\text{mole gas } (n_g)}{\text{mole gas } (n_g) + \text{mole water } (n_w)} \quad (2-4)$$

dengan,

$$X_{\text{H}_2\text{CO}_3} = 1,434 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Mole gas} = \text{H}_2\text{CO}_3$$

$$\text{Mole water} = 22,6 \text{ mole/L}$$

Menentukan konsentrasi  $\text{HCO}_3^-$  yang dibutuhkan

$$[\text{HCO}_3^-](\text{mg/L}) = \left( \frac{K_{al} (\text{mole/L}) \times \text{H}_2\text{CO}_3 (\text{mole/L})}{10^{-7} (\text{mole/L})} \right) / 61 (\text{g/mole}) \quad (2-5)$$

dengan,

$K_{al}$  = dari Tabel. *Carbonate equilibrium constants as function of temperature* pada Lampiran 3.

Menentukan besarnya alkalinitas yang dibutuhkan perhari

Ekuivalen dari  $\text{HCO}_3^-$

$$[\text{HCO}_3^-](\text{eq/L}) = \frac{[\text{HCO}_3^-](\text{mg/L}) \cdot 10^{-3}}{61 (\text{g/eq})} \quad (2-6)$$

$$1 \text{ eq CaCO}_3 = 50 \text{ g CaCO}_3/\text{eq}$$

Alkalinitas  $\text{CaCO}_3$  (mg/L)

$$= \text{HCO}_3^- (\text{eq/L}) \cdot 50 (\text{g/eq}) \cdot 10^3 (\text{mg/g}) \quad (2-7)$$

Kebutuhan alkalinitas

$$= \text{CaCO}_3 (\text{mg/L}) - \text{Alkalinitas limbah (mg/L)} \quad (2-8)$$

Penambahan alkalinitas harian (kg/hari)

$$= \text{Kebutuhan alkalinitas (g/m}^3) \times \text{Debit air limbah (m}^3/\text{hari)} \\ \times 1 (\text{kg}/10^3\text{g}) \quad (2-9)$$

Berdasarkan hubungan suhu dan gas  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan selama proses penguraian secara anaerobik dapat diketahui besar  $\text{CaCO}_3$  minimum yang dibutuhkan yaitu dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.3. Besar  $\text{CaCO}_3$  Minimum yang Dibutuhkan

Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\text{CO}_2$ (%)			
	25	30	35	40
20	900	1050	1200	1400
25	1100	1300	1500	1700
30	1300	1600	1800	2100
35	1500	1800	2100	2400
40	1700	2100	2400	2800

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003:990

- Nutirsi

Meskipun proses anaerobik menghasilkan sedikit lumpur, namun pengolahan anaerobik tetap membutuhkan sedikit nitrogen dan fosfor. Beberapa industri mengalami kekurangan nitrogen dan fosfor, oleh karena itu penambahan nitrogen dan atau fosfor mungkin dibutuhkan. Berdasarkan karakteristik dari air limbah dan lamanya waktu tinggal, maka pemberian nitrogen 10 – 13, fosfor 2 – 2,6 dan sulfur 1 - 2 mg setiap 100 mg biomassa.

**b. Konsentrasi dan temperatur**

Suhu dari air limbah sangat berpengaruh pada keekonomisan dan kelayakan untuk pengolahan anaerobik. Suhu dari reaktor berkisar  $25^{\circ} - 35^{\circ}\text{C}$  akan membantu reaksi biologis secara optimum dan membuat pengolahan lebih stabil. Pada umumnya konsentrasi COD yang lebih besar dari 1.500 – 2.000 mg/L dibutuhkan untuk memproduksi metana yang digunakan untuk menjaga kehangatan air limbah, sehingga tidak diperlukan sumber bahan bakar. Untuk COD yang besarnya 1.300 mg/L atau lebih kecil lagi dapat digunakan pengolahan secara aerobik.

Pengolahan secara anaerobik dapat diterapkan pada suhu yang lebih rendah dan telah dilanjutkan pada  $10^{\circ} - 20^{\circ}\text{C}$  pada reaktor biakan tersuspensi dan biakan melekat. Namun, pada suhu yang lebih rendah akan mengakibatkan laju reaksi yang lebih pelan dan waktu tinggal yang lebih lama, reaktor yang lebih besar dan COD lebih sedikit (Banik and Dague, 1996; Collins et al., 1998; dalam Metcalf & Eddy, 2003:987).

Pada umumnya, pengolahan secara anaerobik menghasilkan lumpur yang lebih sedikit daripada sistem aerobik dengan konsentrasi TSS untuk biakan tersuspensi adalah 100 – 200 mg/L. Untuk air limbah yang encer, konsentrasi TSS akan membatasi kemungkinan waktu tinggal (SRT) pada proses pengolahan tersebut.

**c. Waktu tinggal (SRT / *Solids Retention Time*)**

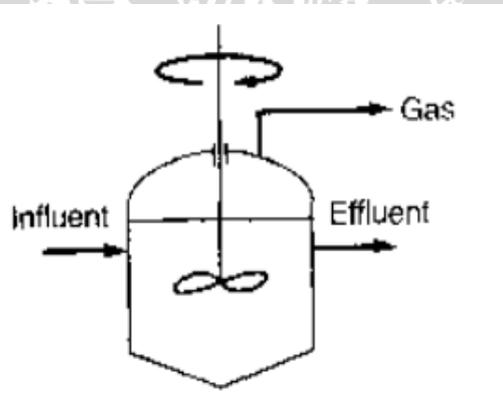
Waktu tinggal adalah yang paling pokok dalam desain dan pola operasi dari proses penguraian secara anaerobik. Untuk pengolahan dengan *performance* yang efektif dibutuhkan suhu yang tinggi, sedangkan jika suhunya lebih rendah maka dibutuhkan waktu tinggal yang lebih lama.

### 2.5.1.2. Proses Anaerobik dengan Biakan Tersuspensi

Bagian yang pertama dari pengolahan limbah cair sistem anaerobik adalah proses pengolahan dengan menggunakan biakan tersuspensi yang banyak didesain dalam bentuk kolam penguraian. Terdapat tiga tipe proses anaerobik dengan biakan tersuspensi, yaitu biakan tersuspensi dengan proses pencampuran sempurna, proses anaerobik kontak dan instalasi reaktor anaerobik berderet (Metcalf & Eddy, 2003:996).

#### a. Proses pencampuran sempurna (*complete-mix process*)

Pada proses pencampuran secara sempurna waktu tinggal hidrolis (*hydraulic retention time/HRT*) dan waktu tinggal solid (*solids retention time/SRT*) adalah sama ( $HRT = SRT$ ). Untuk faktor keamanan saat operasi dan proses stabilisasi maka digunakan waktu tinggal sekitar 15 – 30 hari. Penguraian dengan proses pencampuran sempurna tanpa *recycle* lumpur lebih sesuai digunakan untuk air limbah dengan konsentrasi bahan organik terlarut yang tinggi, dimana pengentalan padatan sulit dilakukan. Oleh karena itu, lebih mudah dioperasikan jika *HRT* besarnya sama dengan *SRT*. Besarnya beban bahan organik yang dapat diuraikan pada proses pencampuran secara sempurna akan disajikan pada tabel 2.4.



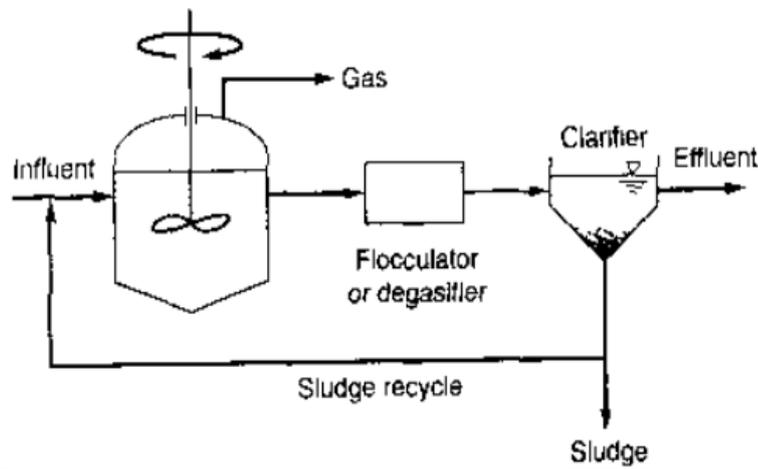
Gambar 2.2. Proses pencampuran sempurna

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003:997

#### b. Proses anaerobik kontak (*anaerobic contact process*)

Proses anaerobik kontak menanggulangi kelemahan dari pencampuran secara sempurna yang tidak mempunyai pendaur ulang lumpur. Pada anaerobik kontak padatan dipisahkan dan dikembalikan kedalam reaktor pencampuran sempurna atau pada anaerobik kontak, sehingga *SRT* akan lebih lama daripada *HRT*. Pemisahan secara gravitasi lebih banyak dilakukan untuk memisahkan dan mengentalkan padatan menuju pengurai lumpur. Dalam beberapa kondisi

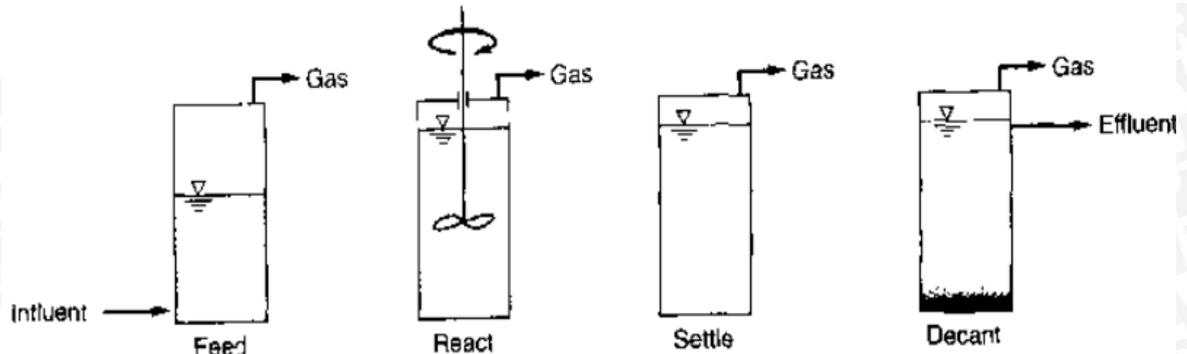
ada padatan yang tidak bisa mengendap secara gravitasi sehingga dibutuhkan suatu metode untuk menanganinya, salah satu caranya dapat menggunakan flotasi. Besarnya beban bahan organik yang dapat diuraikan pada proses anaerobik kontak akan disajikan pada tabel 2.4.



Gambar 2.3. Proses anaerobik kontak  
 Sumber: Metcalf & Eddy, 2003:997

**c. Instalasi reaktor anaerobik berderet (*anaerobic squencing batch reactor*)**

Pada proses ini, pemisahan antara padatan dan air limbah dapat berlangsung dalam satu tempat. Terdapat empat tahap pengoperasian dari instalasi reaktor anaerobik berderet ini, yaitu tahap masuknya air limbah, tahap reaksi, tahap pengendapan, dan tahap pembuangan. Besarnya beban bahan organik yang dapat diuraikan pada proses rangkaian instalasi reaktor anaerobik akan disajikan pada tabel 2.4.



Gambar 2.4. Proses instalasi reaktor anaerobik berderet  
 Sumber: Metcalf & Eddy, 2003:997

Tabel 2.4. Besar Beban Bahan Organik untuk Biakan Tersuspensi pada Suhu 30°C

Proses	Volume COD (kg/m <sup>3</sup> .hari)	Waktu tinggal (hari)
Pencampuran sempurna	1,0 – 5,0	15 – 30
Anaerobik kontak	1,0 – 8,0	0,5 – 5
Instalasi reaktor anaerobik berurutan	1,2 – 2,4	0,25 – 0,50

Sumber: Metcalf & Eddy, 2013:998

### 2.5.1.3. Desain Proses Anaerobik dengan Biakan Tersuspensi

Perencanaan desain anaerobik dengan biakan tersuspensi meliputi penentuan ukuran reaktor, laju produksi gas, energi yang tersedia, laju padatan yang dihasilkan, alkalinitas dan kebutuhan nutrisi. Dengan proses tersebut dapat mengurangi COD hingga mencapai 90%. Data yang dibutuhkan dan prosedur dalam perencanaan desain anaerobik dengan biakan tersuspensi adalah sebagai berikut:

a. Data yang dibutuhkan (Metcalf & Eddy, 2003:1001)

- Debit air limbah (m<sup>3</sup>/hari)
- Konsentrasi COD (g/m<sup>3</sup>)
- COD terlarut (g/m<sup>3</sup>)
- COD/TSS rasio (g/g)
- TSS yang dapat diuraikan (%)
- Nitrogen (g/m<sup>3</sup>)
- Fosfor (g/m<sup>3</sup>)
- Alkalinitas (CaCO<sub>3</sub> g/m<sup>3</sup>)
- Suhu (°C)

b. Prosedur

- Memilih waktu tinggal (*SRT*) untuk mencapai konsentrasi pembuangan dan persentase COD yang dihilangkan.
- Menghitung produksi padatan harian dan massa padatan didalam sistem untuk menjaga *SRT*.
- Memilih konsentrasi padatan yang diharapkan didalam reaktor dan menentukan volume dari reaktor.
- Menghitung laju produksi gas.

- Menghitung besarnya lumpur yang dihasilkan limbah dan kebutuhan nutrisi tambahan.
- Memeriksa laju beban bahan organik.
- Menghitung kebutuhan alkalinitas.

#### 2.5.14. Proses Anaerobik dengan Biakan Melekat

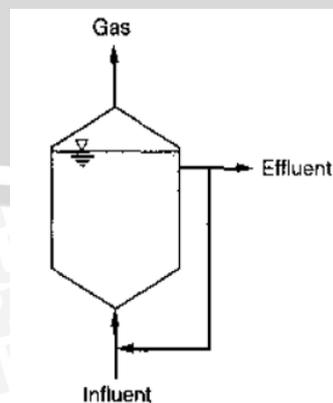
Pada proses anaerobik dengan biakan melekat terdapat dua jenis proses yaitu proses biakan melekat dengan aliran naik (*upflow attached growth processes*) dan proses biakan melekat dengan aliran turun (*downflow attached growth processes*). Biakan melekat ini juga disebut sebagai biofilter yang dilengkapi dengan susunan reaktor biologis (Ronald L. Droste, 1997:653).

##### a. Proses anaerobik biakan melekat aliran naik (*upflow attached growth processes*)

Proses anaerobik biakan melekat dengan aliran naik mempunyai tiga bentuk reaktor pengolahan, yaitu (Metcalf&Eddy, 2003:1018):

- *Anaerobic upflow packed-bed reactor*

Reaktor *packed-bed* ini menggunakan *packing* atau susunan dari kerikil dan plastik sintetis sebagai bahan biofilternya. Air limbah mengalir naik melewati media biofilter tersebut sehingga menghasilkan buangan air limbah dan gas. Pengolahan lanjutan akan dibutuhkan jika buangan dari reaktor *packed-bed* masih memiliki pencemaran yang tinggi. Pengolahan lanjutan yaitu dengan pengolahan secara aerobik. Reaktor *packed-bed* dapat berbentuk tangki balok maupun silinder yang berdiameter 2 – 8m dan tinggi 3 -13m (Metcalf&Eddy, 2003:1019). Luas susunan dari kerikil atau plastik sintetis rata-rata adalah  $100\text{m}^2/\text{m}^3$ . Efisiensi penurunan COD pada reaktor ini mencapai 90%.

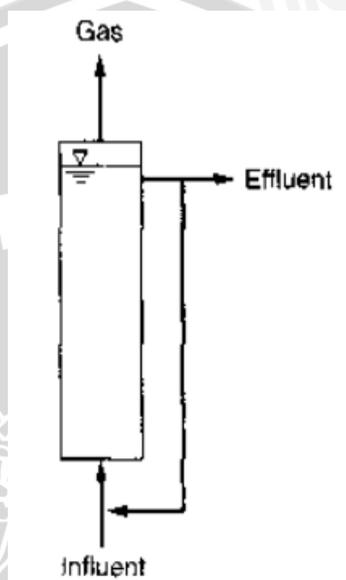


Gambar 2.5. Anaerobic upflow packed-bed reactor

Sumber: Metcalf&Eddy, 2003:1019

- *Anaerobic expanded-bed reactor*

Reaktor anaerobik memanjang ini menggunakan pasir silika untuk media biofilter sebagai pertumbuhan mikroorganisme. Susunan pasir silika ini terdiri dari pasir dengan diameter 0,2 – 0,5 mm dengan berat jenis 2,65. Reaktor dengan tipe ini cocok dengan limbah domestik dengan suhu yang rendah.

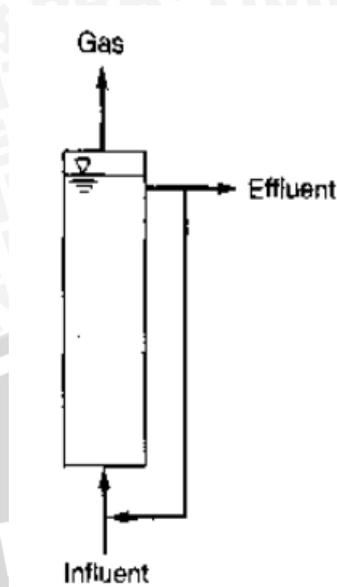


Gambar 2.6. *Anaerobic upflow expanded-bed reactor*

Sumber: Metcalf&Eddy, 2003:1019

- *Anaerobic fluidized-bed reactor*

Reaktor *fluidized-bed* atau reaktor anaerobik terfluidisasi merupakan reaktor yang sering digunakan pada desain pengolahan secara fisika. Reaktor ini menggunakan pasir dengan diameter ~0,3 mm, kedalaman dari reaktor ini berkisar antara 4 – 6 m. Reaktor ini cocok untuk air limbah dengan konsentrasi COD 10 – 20 kg/m<sup>3</sup>. hari, efisiensinya mencapai 90%. Keuntungan dari reaktor anaerobik terfluidisasi adalah cocok untuk menurunkan konsentrasi tinggi dan besarnya bahan pencemar organik sedangkan kelemahannya adalah membutuhkan pompa untuk pengoperasian, biaya penyusunan biofilter dan dibutuhkan perawatan khusus.



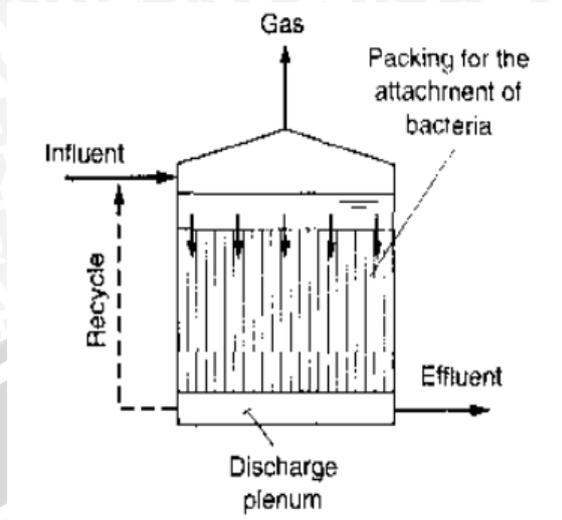
Gambar 2.7. Anaerobic upflow fluidized-bed reactor

Sumber: Metcalf&Eddy, 2003:1019

**b. Proses anaerobik biakan melekat aliran turun (*downflow attached growth processes*)**

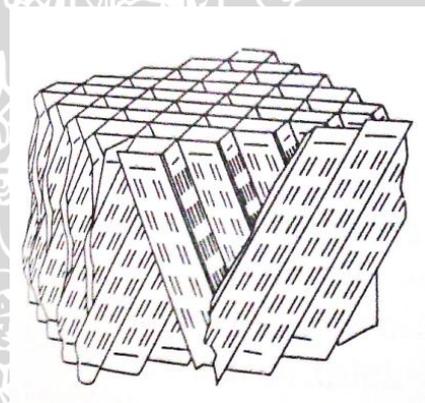
Proses anaerobik biakan melekat dengan aliran turun banyak digunakan untuk pengolahan air limbah dengan intensitas yang tinggi. Reaktor ini menggunakan susunan bahan dari batu bata, plastik silang (*crossflow*) dan plastik berbentuk pipa (*tubular*). Tinggi dari susunan bahan-bahan tersebut adalah 2 – 4 m, dan sistem ini didesain untuk sirkulasi ulang buangan dari reaktor.

Proses anaerobik biakan melekat dengan aliran turun cocok digunakan untuk beban COD yang sebesar 5 – 10 kg/m<sup>3</sup>.hari dengan karakteristik air limbah yang mudah untuk didegradasi. Manfaat utama proses ini adalah tidak ada permasalahan dalam pengisian ke dalam reaktor dan pengoperasian yang mudah. Kekurangan dalam proses ini adalah dibutuhkan biaya penyusunan bahan biofilter dan laju beban organik lebih lambat untuk mencapai efisiensi yang sama dengan pengolahan sistem lainnya.



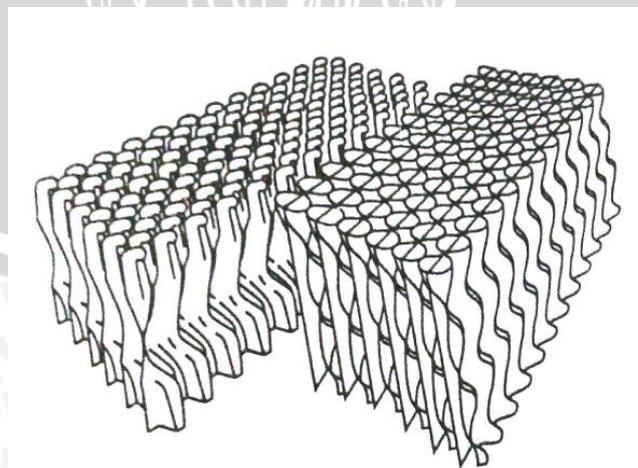
Gambar 2.8. Downflow attached growth processes

Sumber: Metcalf&Eddy, 2003:1023



Gambar 2.9. Biofilter dengan susunan plastik silang (*crossflow*)

Sumber: Ronald L. Droste, 1997:653



Gambar 2.10. Biofilter dengan susunan plastik berbentuk pipa (*tubular*)

Sumber: Ronald L. Droste, 1997:653

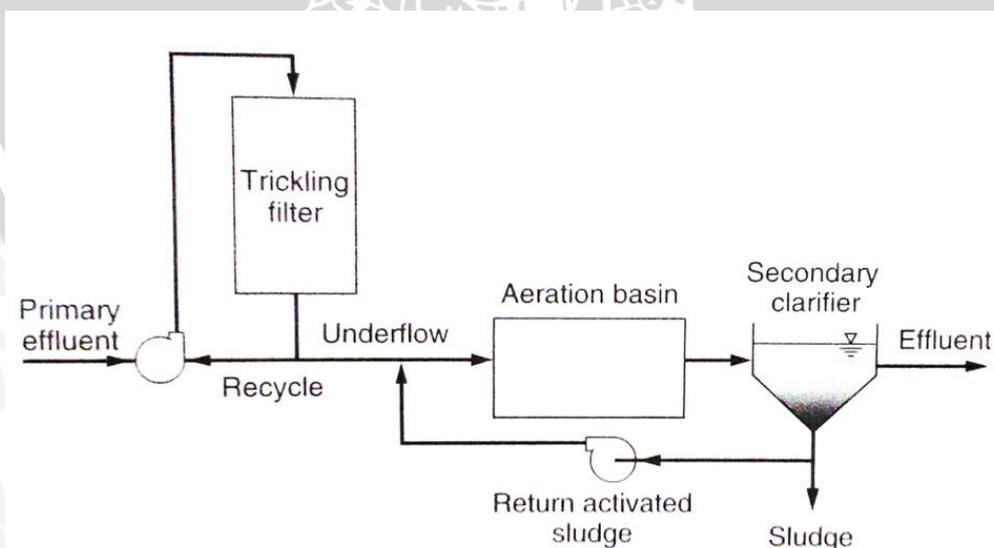
## 2.5.2 Pengolahan Limbah Cair Sistem Aerobik

Pengolahan limbah secara biologis digunakan untuk menghilangkan bahan organik terlarut pada air limbah. Bahan organik yang ada akan hilang secara alami karena kehadiran dari mikroorganisme yang diterima oleh badan air. Pada pengolahan limbah cair secara aerobik, kehadiran bakteri merupakan faktor utama dalam proses pengolahan limbah. Proses pengolahan secara aerobik biasanya dioperasikan pada kadar DO (*dissolved oxygen*) yang rendah dan mikroorganisme merupakan subyek yang akan menghasilkan oksigen ketika DO tidak terdapat pada air limbah (Ronald L. Droste, 1997:547).

Dalam proses pengolahan limbah cair dengan sistem aerobik terdapat beberapa kombinasi proses pengolahan yaitu *trickling filter* dengan lumpur aktif, lumpur aktif dengan biofilter, proses biakan melekat tercelup, dan biakan melekat.

### 2.5.2.1. Proses Aerobik *Trickling Filter* kombinasi Lumpur Aktif

Pada proses aerobik ini menggunakan *trickling filter* berupa krikil maupun susunan plastik, tanki lumpur aktif dan bak pemeriksaan akhir. Pada *trickling filter* didesain sebagai filter kasar untuk menghilangkan BOD sebesar 40 – 70%. Proses kombinasi *trickling filter* dan lumpur aktif ini dapat menaikkan kualitas dari buangan limbah dengan konsentrasi TSS dan BOD yang rendah mendekati 10 mg/L – 15 mg/L (Metcalf&Eddy, 2003:942). Waktu tunggu (*detention time*) selama 0,15 – 1 jam dan untuk waktu tinggalnya (*SRT*) adalah 0,5 – 2 hari.

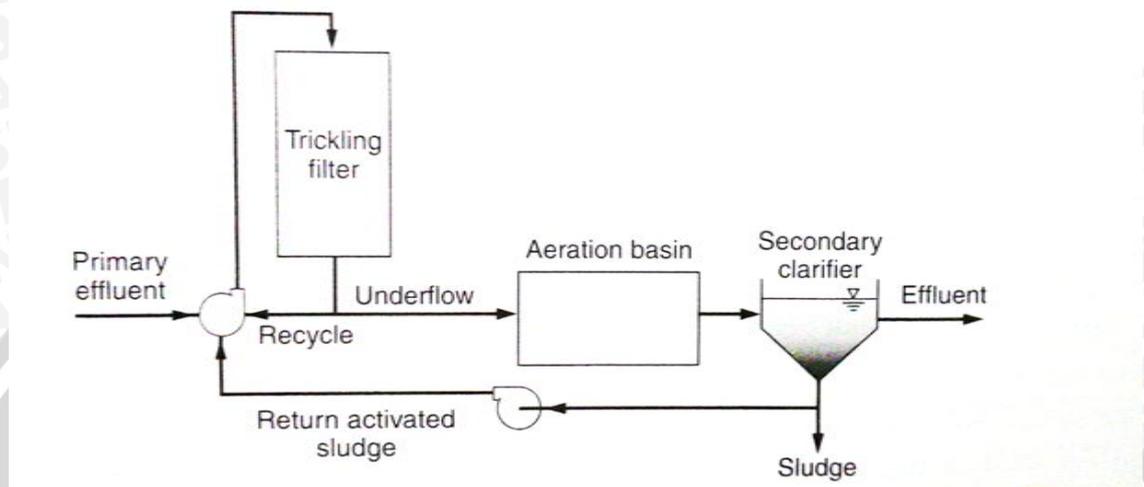


Gambar 2.11. Diagram alir proses pengolahan kombinasi *trickling filter* kombinasi lumpur aktif

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003:943

### 2.5.2.2. Proses Aerobik Biofilter Aktif kombinasi Lumpur Aktif

Pengolahan air limbah dengan proses ini telah jarang digunakan karena biaya dari penyusunan bahan biofilter yang cukup mahal menjadi penghalang. Filter yang digunakan pada proses ini adalah *redwood*, *kerikil* tidak dapat digunakan pada proses ini karena berpotensi untuk menyumbat.

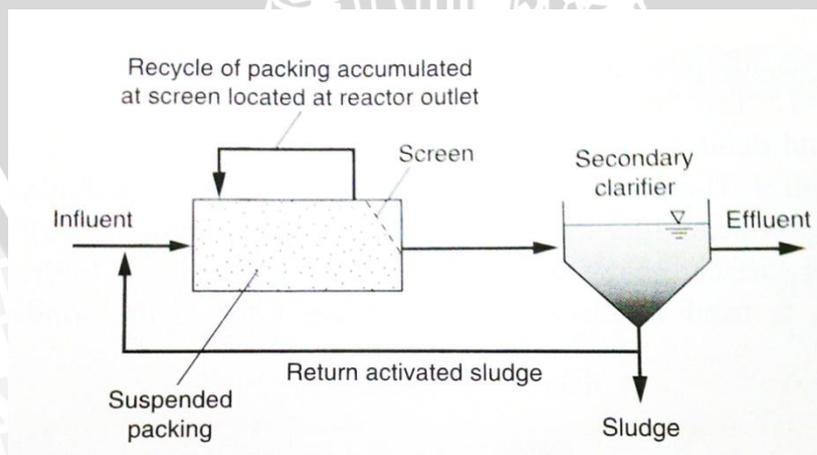


Gambar 2.12. Diagram alir proses pengolahan kombinasi biofilter aktif kombinasi lumpur aktif

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003:943

### 2.5.2.3. Proses Aerobik Lumpur Aktif kombinasi *Fixed Film Packing*

Proses aerobik lumpur aktif dengan *fixed film packing* mempunyai variasi dalam proses pengolahan limbah yaitu proses menggunakan *internal suspended packing* dan proses menggunakan *internal fixed packing* untuk biakan melekat



Gambar 2.13. Diagram alir proses pengolahan kombinasi *fixed film packing* kombinasi lumpur aktif

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003:953

### 2.5.2.4. Proses Aerobik dengan Biakan Melekat Tercelup

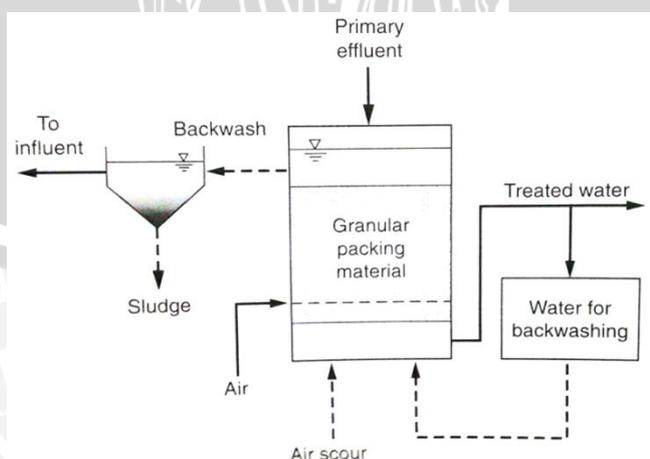
Proses aerobik dengan biakan melekat tercelup memiliki tiga tahap pengolahan, yaitu penyusunan (*packing*), biofilm, dan likuid. Suplai oksigen dilakukan dengan aerasi kedalam susunan biofilter. Tipe dan ukuran dari penyusunan material merupakan faktor penentu dalam pengoperasian instalasi.

Keuntungan dari proses pengolahan biakan melekat tercelup adalah membutuhkan sedikit lahan, mempunyai kemampuan yang efektif dalam menguraikan limbah, tidak ada pengendapan lumpur pada proses lumpur aktif, dan mempunyai nilai estetika. Kelemahannya yaitu, sistem yang lebih kompleks dalam instruksi dan pengontrolan, keterbatasan ekonomi, biaya lebih tinggi untuk proses lumpur aktif.

Terdapat tiga tipe pengolahan pada proses aerobik dengan biakan tercelup ini, yakni biakan melekat tercelup aliran turun (*downflow submerged attached growth processes*), biakan melekat tercelup aliran naik (*upflow submerged attached growth processes*), dan bioreaktor terfluidisasi (*fluidized bed bioreactors*).

#### a. Proses biakan melekat tercelup aliran turun (*downflow submerged attached growth processes*)

Pada proses pengolahan menggunakan biakan melekat tercelup aliran turun (*downflow submerged attached growth processes*) terdapat tiga tipe desain yaitu desain untuk menghilangkan BOD, desain untuk penghilangan BOD dan nitrifikasi serta desain untuk nitrifikasi ketiga. Sistem ini didesain seperti penyaringan air, udara dimasukkan kedalam reaktor dengan jarak 300 mm dari *nozzle* untuk menyemprotkan udara pada *packing* bahan biofilter

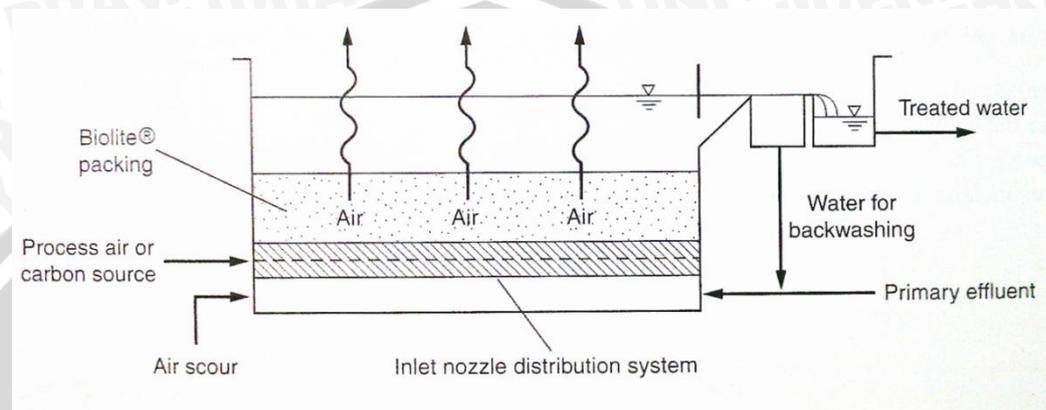


Gambar 2.14. Diagram alir proses pengolahan dengan biakan melekat tercelup aliran turun

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003:958

**b. Proses biakan melekat tercelup aliran naik (*upflow submerged attached growth processes*)**

Proses pengolahan dengan tipe ini mempunyai kedalaman sekitar 2 – 4 m. Reaktor pada biakan melekat tercelup aliran naik ini dilengkapi dengan *nozzle* yang berfungsi sebagai inlet dari air limbah yang membawa air limbah melewati dasar dan naik keatas.



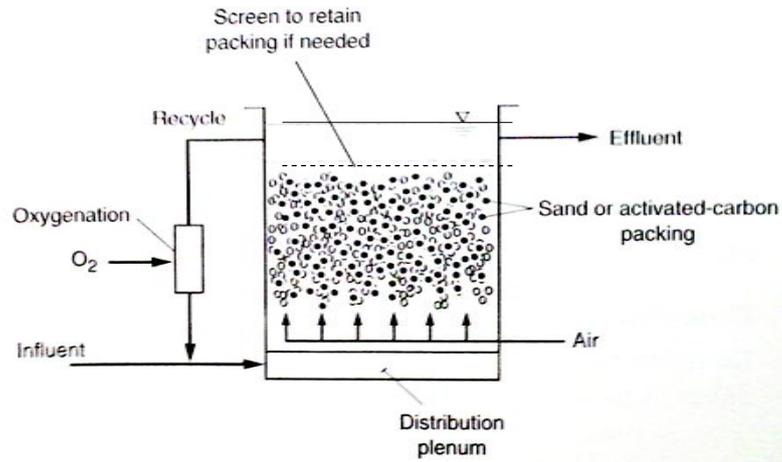
Gambar 2.15. Diagram alir proses pengolahan dengan biakan melekat tercelup aliran naik

Sumber: Metcalf & Eddy, 2008:958

**c. Bioreaktor terfluidisasi (*fluidized bed bioreactors*)**

Pada bioreaktor terfluidisasi air limbah masuk melewati susunan yang berisi 0,4 – 0,5 mm pasir atau karbon aktif. Tebal dari susunan pasir atau karbon aktif tersebut adalah sedalam 3 – 4m. Bioreaktor ini cocok untuk air limbah dengan bahan kontaminan yang berbahaya. Keuntungan utama dari bioreaktor ini adalah (Metcalf & Eddy, 2003:963):

- Menyediakan waktu tinggal (*SRT*) yang cukup lama untuk mikroorganisme dalam mendegradasi zat racun.
- Zat racun yang tidak dapat didegradasi dapat diserap oleh karbon aktif (*activated carbon*).
- Buangan yang dihasilkan memiliki konsentrasi BOD dan TSS yang rendah.
- Oksigenasi mencegah *stripping* gas dan emisi gas beracun ke atmosfer.
- Sistem pengoperasian sederhana dan dapat diandalkan.



Gambar 2.16. Diagram alir proses pengolahan dengan bioreaktor terfluidisasi  
 Sumber: Metcalf & Eddy, 2008:961

