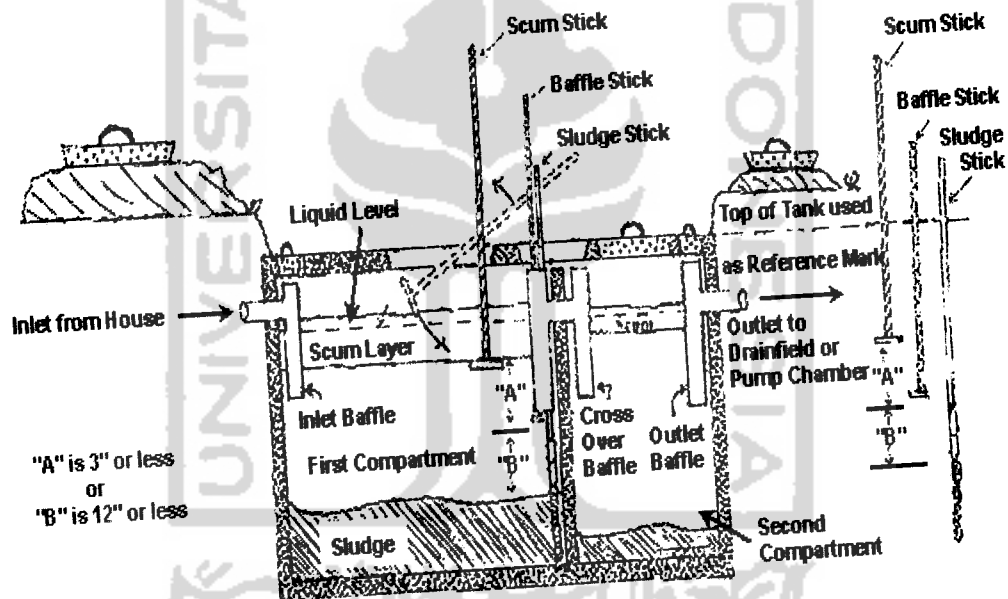


Proses utama yang terjadi didalam *septic tank* adalah:

1. Sedimentasi SS
2. Flotasi lemak dan material lain ke permukaan air
3. Terjadinya proses biofisik kimia di ruang lumpur

Proses pengolahan pada *septic tank* adalah sedimentasi dan stabilisasi lumpur lewat proses anaerobik. Untuk jenis limbah yang diolah pada *septic tank* adalah limbah yang mengandung padatan terendapkan, khususnya limbah domestik.

Ditinjau dari segi kuantitasnya air buangan yang masuk ke dalam *septic tank* berasal dari aktivitas pencucian, dapur, kamar mandi (*Grey water*) dan *Black water* (*human body waste*) yang berasal dari *feces* dan *urine*.



Gambar 2.5 Skema *Septic Tank*

Tabel 2.5 Karakteristik Efluen dari *Septik Tank* Konvensional

Parameter	Range	Rata-rata
COD,mg/l	165 - 1,487	296
COD filtered,mg/l	12 - 78	29
BOD,mg/l	50 - 440	165
TS,mg/l	236 - 1,383	599
TSS,mg/l	62 - 1.100	290
Alkalinity,mg/l as CaCO <sub>3</sub>	240-365	275
pH	7 - 7,7	7,3
TKN,mg/l	34-60	43
TP,mg/l	7-31	17
Faecal coliforms, MPN/100mL	$5 \times 10^4 - 5,8 \times 10^5$	$4,3 \times 10^5$

Sumber : Metcalf & Eddy, 2003

## 2.7 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Air buangan merupakan zat yang terdiri dari berbagai macam zat-zat organik maupun zat kimia. Untuk mengetahui parameter-parameter apa saja yang terkandung didalamnya sangatlah sulit karena memerlukan pengujian yang sangat banyak dan memerlukan biaya yang cukup besar. Oleh karena itu dalam penelitian ini parameter yang diteliti dibatasi, yaitu hanya parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*).

COD menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimia, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar didegradasi secara biologis (*non biodegradable*) menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Boyd,1998 dalam Effendi, H, 2003).

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, dihitung dengan

menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam (Metcalf and Eddy, 2003).

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).

Tes COD biasa digunakan untuk mengukur secara tidak langsung jumlah komponen bahan organik didalam air. Aplikasi tes COD yang kebanyakan digunakan untuk menentukan jumlah polutan organik pada air permukaan (seperti danau dan sungai), membuat tes COD ini menjadi suatu ukuran terhadap kualitas air. Tes COD dinyatakan dalam miligram per liter (mg/L), yang mengindikasikan massa oksigen yang dikonsumsi per 1 liter cairan (air). Dasar dari tes COD ialah bahwa hampir 85% seluruh komponen organik dapat dioksidasi secara sempurna menjadi karbondioksida menggunakan oksidan kuat pada kondisi asam (Anonim, 2007).

Secara teoritis, beberapa oksidan kuat dapat digunakan dalam tes COD. Idealnya oksidan dapat digunakan untuk mengoksidasi beberapasesenya organik dan tidak mahal harganya. Dengan mempertimbangkan kriteria tersebut, *dichromate* ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) merupakan pilihan yang tepat (Droste, 1997).

Selama beberapa tahun, oksidan kuat *potassium permanganate* ( $\text{KmnO}_4$ ) digunakan untuk mengukur COD. Pengukuran tersebut lebih dikenal sebagai konsumsi oksigen dari *permanganate*, dibandingkan dengan kebutuhan oksigen bahan organik. Efektifitas *potassium permanganate* dalam mengoksidasi komponen organik sangat bervariasi, dan pada beberapa kasus hasil pengukuran *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) jauh lebih baik dibandingkan dengan hasil pengukuran COD. Hal ini mengindikasikan bahwa *potassium permanganate* tidak dapat mengoksidasi seluruh komponen organik dalam air secara efektif, hal tersebut membuat *potassium permanganate* merupakan oksidan yang relatif tidak kuat dalam menentukan COD.

Sejak saat itu, oksidan lain seperti *ceric sulfate*, *potassium iodate*, dan *potassium dichromate* mulai digunakan untuk menentukan COD. Dari keseluruhan, *potassium dichromate* ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) menunjukkan yang paling efektif;

relatif murah, mudah untuk dibersihkan, dan dapat mengoksidasi secara sempurna hampir seluruh komponen organik. *Potassium dichromate* ialah oksidan kuat pada kondisi asam (Anonim, 2007).

Kegiatan analisis COD diawali dengan menambahkan asam kuat kedalam sampel bersama-sama dengan perak, yang merupakan katalis, dan sejumlah *dichromate*. Asam kuat membantu dalam mennguraikan molekul kompleks. *Mercuric sulfate* juga ditambahkan kedalam klorida kompleks yang dapat mengganggu analisa. Untuk mempercepat reaksi dan memperoleh efektifitas maksimum oksidan, sampel yang ditambahkan dengan reagent dipanaskan dalam botol/labu, yang dihubungkan dengan condensing tube untuk meminimalisasi kehilangan bahan organik volatil (Droste, 1997).

Pada proses oksidasi bahan organik yang ada pada sampel, *potassium dichromate* direduksi membentuk  $Cr^{3+}$ . Jumlah  $Cr^{3+}$  ditentukan setelah seluruh proses oksidasi selesai, dan digunakan untuk mengukur secara tidak langsung kandungan bahan organik pada air sampel.

Semua bahan organik yang dioksidasi secara sempurna, menghasilkan sisa *potassium dichromate* (atau beberapa oksidan lain). Ketika satu proses oksidasi selesai, maka sisa *potassium dichromate* harus dihitung untuk meyakinkan bahwa jumlah  $Cr^{3+}$  dapat ditentukan dengan akurat. Untuk melakukannya, *potassium dichromate* dititrasi dengan *ferrous ammonium sulfate* (FAS) sampai seluruh sisa oksidan direduksi menjadi  $Cr^{3+}$ . Secara khas, indikator *Ferrouin* terlihat jelas selama proses titrasi berlangsung. Ketika seluruh sisa *dichromate* telah direduksi, indikatornya ialah perubahan warna dari biru kehijauan menjadi merah kecokelatan. Jumlah *ferrous ammonium sulfate* yang ditambahkan ekuivalen dengan jumlah sisa *potassium dichromate* yang ditambahkan pada sampel asli.

Karena COD digunakan untuk mengukur oksigen yang dibutuhkan oleh komponen organik dalam sampel, maka tidak boleh ada material organik yang berasal dari luar masuk kedalam sampel yang akan diukur. Untuk mengontrol hal tersebut, dibutuhkan blanko (*blank sampel*) dalam penentuan COD (dan BOD). Blanko dibuat dengan cara menambahkan semua reagent (seperti asam dan oksidan) kedalam suatu volume air suling. Tes COD dilakukan dengan cara

mengukur baik sampel air dan blanko, dan keduanya dibandingkan. Kebutuhan oksigen pada blanko dikurangi dengan nilai COD pada sampel asli untuk meyakinkan kebenaran perhitungan bahan organik.

Beberapa sampel mengandung banyak bahan anorganik yang mudah teroksidasi yang mungkin akan mengganggu dalam proses penentuan COD. Karena konsentrasinya yang tinggi pada hampir seluruh limbah, klorida sering menjadi sumber gangguan yang paling serius.

Tabel berikut menunjukkan daftar bahan anorganik lain yang menyebabkan gangguan. Tabel berikut juga berisi daftar bahan kimia yang digunakan untuk menghilangkan gangguan, dan komponen yang terbentuk ketika molekul anorganik dihilangkan (Anonim, 2007).

Tabel 2.6 Bahan Organik Pengganggu Dalam Analisa COD

Molekul Anorganik	Dihilangkan dengan	Senyawa yang terbentuk
Chloride	Mercuric sulfat	Mercuric chloride
Nitrite	Sulfamic acid	N <sub>2</sub> gas
Ferrous iron	-	-
Sulfides	-	-

Sumber: Anonim, 2007.

COD ini secara khusus bernilai apabila BOD tidak dapat ditentukan karena terdapat bahan-bahan beracun. Waktu pengukurannya juga lebih singkat dibandingkan pengukuran BOD. Namun demikian bahwa BOD dan COD tidak menentukan hal yang sama dan karena itu nilai-nilai secara langsung COD tidak dapat dikaitkan dengan BOD. Hasil pengukuran COD tidak dapat membedakan antara zat organik yang stabil dan yang tidak stabil. COD tidak dapat menjadi petunjuk tentang tingkat dimana bahan-bahan secara biologis dapat diseimbangkan. Namun untuk semua tujuan yang praktis COD dapat dengan cepat sekali memberikan perkiraan yang teliti tentang zat-zat arang yang dapat dioksidasi dengan sempurna secara kimia (Mahida, 1984).

Menurut Eckenfelder dan Ford (1970) menyatakan faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan antara nilai COD dan BOD antarlain;

1. Tes COD mengukur total bahan organik *oxidizable* (mudah teroksidasi) akan tetapi tidak mampu membedakan antara bahan organik yang *biodegradable* dengan yang tidak. Lagi pula, tidak semua senyawa organik dapat dioksidasi melalui metode *wet chemical*. Beberapa senyawa, seperti gula, *aliphatic* dan *benzene* dapat dioksidasi secara sempurna. Sedangkan beberapa senyawa *straight-chain acid*, alkohol, dan asam amino hanya dapat dioksidasi sebagian.
2. Bahan anorganik tertentu, seperti sulfida, sulfit, thiosulfit, nitrit dan besi, teroksidasi oleh *dichromate*, membentk COD anorganik yang menyebabkan kesalahan ketika pengukuran kandungan organik pada limbah.
3. Hasil COD tidak tergantung pada aklimasi bakteri, yaitu suatu faktor yang dapat menyebabkan hasil pengukuran BOD menjadi lebih rendah (Benefield and Clifford, W. R, 1980).

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, 2001).

Analisa COD berbeda dengan analisa BOD namun perbandingan antara angka COD dengan BOD dapat ditetapkan seperti pada Tabel 2.8

Tabel 2.7 Perbandingan Rata-rata Angka BOD<sub>5</sub> / COD Untuk Beberapa Jenis Air

Jenis Air	BOD <sub>5</sub> / COD
Air buangan domestik	0,4 – 0,6
Air buangan domestik setelah pengendapan primer	0,6
Air buangan domestik setelah pengolahan biologis	0,2
Air sungai	0,1

Sumber: Metode Penelitian Air.1984.

## 2.8 Efek Buruk Air Buangan

Sesuai dengan definisi air buangan yang merupakan benda sisa, maka dapat disimpulkan bahwa air limbah merupakan air yang sudah tidak dapat

digunakan lagi. Tetapi, bukan berarti air buangan tersebut dapat langsung dibuang tanpa mengalami pengolahan terlebih dahulu. Karena apabila air buangan tersebut tidak diolah dengan baik, yang berarti ditingkatkan dari segi kualitas airnya, maka air buangan tersebut akan banyak menimbulkan gangguan, baik terhadap lingkungan maupun kehidupan yang ada. (Sugiharto, 1987).

a. Gangguan terhadap kesehatan

Air limbah sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, mengingat bahwa banyak penyakit yang dapat ditularkan melalui air limbah. Air limbah ini hanya berfungsi sebagai media pembawa saja seperti kolera, radang usus, hepatitis infektiosa, serta skhistosomiasis.

b. Gangguan terhadap kehidupan biotik

Dengan banyaknya zat pencemar yang ada di dalam air limbah, maka akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut di dalam air limbah. Dengan demikian kehidupan di dalam air yang membutuhkan oksigen akan terganggu, yang berarti akan mengurangi perkembangannya. Hal ini akan mengganggu proses purifikasi alami pada air limbah oleh mikroba pengurai, karena mikroba pengurai mati.

c. Gangguan terhadap estetika

Dengan semakin banyaknya zat pencemar, akan menyebabkan berbagai dampak, antara lain bau busuk karena penguraian zat organik. Selain itu, biasanya warna air limbah, baik domestik maupun industri berwarna abu-abu atau hitam, hal ini tentu saja akan merusak pemandangan.

Masalah bau yang ditimbulkan karena adanya air limbah ini dapat diatasi dengan berbagai cara, yaitu cara fisik dengan pembakaran, secara kimia yaitu dengan bahan kimia penghilang bau seperti kalsium dan sodium hidroksida, dan dengan cara biologis, yaitu dengan trickling filter atau dengan lumpur aktif.

d. Gangguan terhadap kerusakan benda

Beberapa parameter pencemar dapat menimbulkan kerusakan pada benda-benda yang dilaluinya, seperti kerusakan pada pipa, penyumbatan, karat, kerak, dan lain sebagainya (Sugiharto, 1987).

## 2.9 Pengolahan Limbah Menggunakan Reaktor *Aerokarbonbiofilter*

Pada penelitian, limbah domestik diolah menggunakan reaktor *Aerokarbonbiofilter*. Reaktor *Aerokarbonbiofilter* tersusun atas aerasi tipe *tray* (*Tray aeration*) yang terdiri dari 4 *tray*, media karbon aktif, zeolit, media tempat tumbuh bakteri (*Fixed film*) yang berupa *styrofoam*, dan pasir. Proses pengolahan limbah yang terjadi pada reaktor ini meliputi proses aerasi, adsorpsi karbon dan zeolit, proses biologis, dan proses filtrasi (*Sand filtration*). Tipe proses pengolahan biologis yang digunakan pada reaktor ini ialah *Attached Growth*. Fungsi mikroorganisme pada proses ini ialah untuk mendegradasikan kandungan bahan organik yang pada limbah domestik melalui reaksi metabolik. Adanya proses biologis ini diharapkan dapat memaksimalkan proses removal kontaminan pada air limbah.

### 2.9.1 Proses Aerasi

#### 1. Prinsip Aerasi

Aerasi adalah fenomena fisik dimana terjadi pertukaran molekul-molekul gas di udara dengan cairan pada gas-liquid interface. Pertukaran tersebut menyebabkan konsentrasi molekul gas di dalam cairan mencapai titik jenuh. Karena pertukaran gas hanya terjadi pada permukaan (interface), maka proses tersebut harus dilakukan dengan kontak sebanyak-banyaknya antara kedua permukaan tersebut. Atau dengan kata lain aerasi adalah proses pengolahan air dengan mengontakkannya dengan udara. Sasaran yang utama adalah memaksimalkan luas dari permukaan air ke udara. Dengan maksud perpindahan efisien terbesar dari satu medium ke medium yang lain. Hal ini sangat penting agar dalam proses ini cukup berlangsung pencampuran antara air dengan udara (Walker, 1978).

Pada penelitian ini proses aerasi berfungsi untuk melarutkan oksigen kedalam air untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air. Oksigen terlarut ini yang kemudian digunakan untuk mengoksidasi senyawa-senyawa organik pada air limbah dan menguraikannya menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ . Reaksi oksidasi kimia tersebut menyebabkan jumlah senyawa organik yang terkandung



dalam limbah menjadi turun. Turunnya jumlah senyawa organik tersebut menyebabkan konsentrasi COD pada air limbah juga ikut turun. Fungsi lain dari aerasi adalah;

1. Menurunkan jumlah karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )
2. Menghilangkan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ) dan berbagai senyawa organik yang bersifat volatile (menguap) yang berkaitan untuk rasa dan bau.
3. Mengoksidasi senyawa-senyawa terlarut dalam air (Fe dan Mn).

## 2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kelarutan Gas Dalam Cairan

Kelarutan gas dalam cairan tergantung dari:

1. Kondisi alamiah gas, umumnya dinyatakan dalam koefisien gas spesifik; koefisien distribusi  $k_D$ .
  2. Temperatur air.
  3. Impurities (kemurnian) yang terkandung dalam air.
  4. Konsentrasi gas tertentu pada fasa ( $\text{g/m}^3$ ) yang berkaitan dengan tekanan parsial gas tersebut dalam fasa gas.
- Pengaruh konsentrasi gas terhadap kelarutan

Jika air tereksos oleh campuran gas, pertukaran yang terus menerus dari molekul- molekul gas yang berubah dari fasa cair ke gas dan sebaliknya. Selama konsentrasi kelarutan dalam fasa cair adalah melalui gas, keduanya akan sama besarnya seperti tidak ada perubahan secara keseluruhan dari konsentrasi gas dalam kedua fasa tersebut akan terjadi. Keseimbangan dinamis ini, biasanya berhubungan sebagai konsentrasi kelarutan atau konsentrasi jenuh dari gas dalam cairan. Konsentrasi gas tertinggi dalam fasa gas adalah akan lebih besar konsentrasi jenuh dalam fasa cair dengan jelas. Pada kenyataannya, hubungan antara konsentrasi jenuh (*saturation concentration*)  $C_s$  ( $\text{g/m}^3$ ) dan konsentrasi gas dalam fasa gas ( $\text{g/m}^3$ ) adalah linier :

$$C_s = k_D \cdot C_g$$

Besarnya tergantung dari gas alam (serta cairan juga) kemudian akan terlihat dalam temperatur air.  $k_D$  biasanya merupakan koefisien distribusi gas dalam air.

➤ Pengaruh temperatur terhadap kelarutan gas

Apabila gas larut dalam air, biasanya proses ini diikuti dengan pelepasan panas ( $\Delta H$ ). Berdasarkan prinsip Le Chatelier, yakni kenaikan temperatur akan mengakibatkan kelarutannya akan menurun.

➤ Pengaruh impuritis terhadap kelarutan gas

Apabila dalam air mengandung zat- zat tertentu, zat- zat tersebut akan mempengaruhi kelarutan gas. Dengan demikian perlu diperhitungkan suatu faktor yang menunjukkan kemurnian air ( $\gamma$ ).

$$C_s = \left( \frac{k_D}{\gamma} \right) \cdot C_g$$

Untuk air murni  $\gamma = 1$

Faktor  $\gamma$  akan meningkat apabila konsentrasi substansi terlarut dalam air juga meningkat. Hal ini akan menurunkan kelarutan gas.

Pengaruh konsentrasi impurities ( $C_{imp}$ ), dapat dinyatakan dalam rumus empiris:

$\text{Log } \gamma = f \cdot C_{imp}$  untuk bukan elektrolit.

$\text{Log } \gamma = f \cdot I$  untuk elektrolit

Dengan :  $f$  = konstanta yang tergantung pada kandungan zat terlarut dalam air

$I$  = kekuatan ionik dari elektrolit

Nilai  $C_{imp}$  dan  $I$  diperoleh berdasarkan pengukuran. Sedangkan nilai  $f$  diperoleh berdasarkan percobaan dilaboratorium untuk masing- masing campuran larutan.

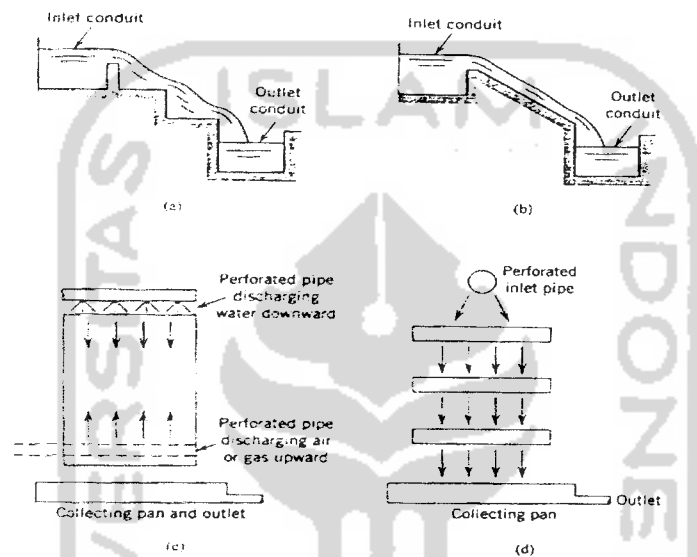
### 3. Desain Sistem Aerasi

Sistem aerasi didesain untuk menghasilkan turbulensi dan memecah air kedalam volume yang lebih kecil atau tetesan, meningkatkan luas area untuk transfer massa.

#### 1. Gravity Aerator

Beberapa jenis aerator dengan sistem aliran gravitasi dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah ini. Pada *cascade aerator*, air jatuh melewati serangkaian undakan. Percikan air tersebut membentuk turbulensi dan tetesan air, meskipun tidak terlalu efisien jika dibandingkan dengan metode aerasi lainnya.

*Multiple tray aerator* adalah jenis aerator yang sama dengan *cascade aerator*. Media yang digunakan pada *tray* yang berfungsi untuk meningkatkan oksidasi besi dan mangan dapat berupa batu, batu arang, keramik dengan kisaran diameter antara 50 ampai 150 mm. Endapan oksida pada media akan memberikan efek katalis terhadap oksidasi besi dan mangan dalam air. Jarak antara masing-masing *tray* berkisar antara 30 sampai 75 cm (12-30 in) dan debit airnya berkisar antara 50-75 m<sup>3</sup>/jam per m<sup>2</sup> (20-30 gal/min per fit<sup>2</sup>) luasan *tray* (ASCE dan AWWA, 1990). Jumlah *tray* yang digunakan antara 3-9 *tray*.



**Figure 12.3** Gravity aeration systems. (a) Cascade; (b) inclined apron, possibly studded with riffle plates; (c) tower with countercurrent flow air (gas) and water; and (d) stack of perforated plates, possibly containing perforated media. From G. M. Fair, J. C. Geyer, and D. A. Okun, *Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal*, vol. 2, copyright © 1968 by John Wiley & Sons, Inc. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

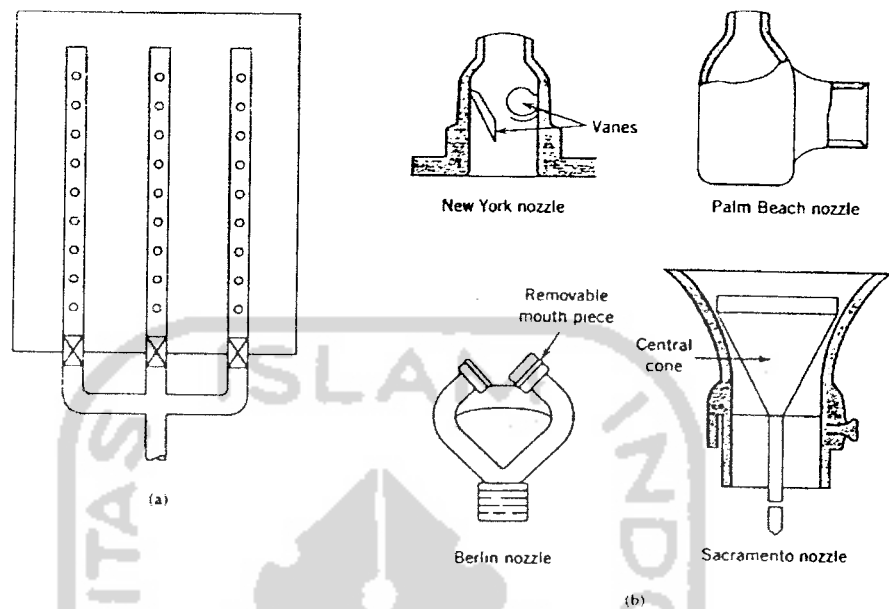
Sumber: Droste, 1997.

Gambar 2.6 Macam-nacam Jenis *Gravity Aerator*

## 2. *Spray Aerator*

Jenis aerator ini efisien namun membutuhkan lahan yang luas untuk mengumpulkan air. Aerator jenis ini juga estetis dan sering digunakan pada unit pengolahan karena alasan tersebut. Pada *fixed spray aerator* air dikeluarkan melalui pipa dengan beberapa *orifice* yang dipasang tinggi dan horizontal untuk

mendapatkan efek terjunan. Gambar berikut ini menyajikan detail desain distributor (air) pada *spray aerator*.



**Figure 12.4** Spray aerator and nozzles. (a) Nozzled aerator; (b) aerator nozzles. From: G. M. Fair, J. C. Geyer, and D. A. Okun, *Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal*, vol. 2, copyright © 1968 by John Wiley & Sons, Inc. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

Sumber: Droste, 1997.

Gambar 2.7 Macam-nacam Jenis *Spray Aerator*

*Nozzle* yang ada pada jenis aerator ini biasanya memiliki kisaran diameter antara 25-40 mm (1-1.5 in) dengan tingkat pengaliran antara 0.28 sampai 0.56 m<sup>3</sup>/min (75-150 gal/min) dan pada tekanan 69 kPa (10 Psi). Jarak antar *nozzle* bervariasi antara 0.6-3.7 m (2-12 ft). Pada umumnya removal karbondioksida mencapai 70% atau lebih.

### 3. *Diffused Aerator*

Jenis *diffused aerator* merupakan peralatan yang umum digunakan untuk transfer oksigen pada sistem pengolahan secara biologis. *Diffused aerator* juga digunakan untuk oksidasi bahan organik volatil yang terdapat pada air yang

terkontaminasi, meskipun aerator jenis ini tidak seefisien jenis *countercurrent flow packed media aeration tower*. Gambar berikut ini menyajikan beberapa jenis desain *diffused aerator*.

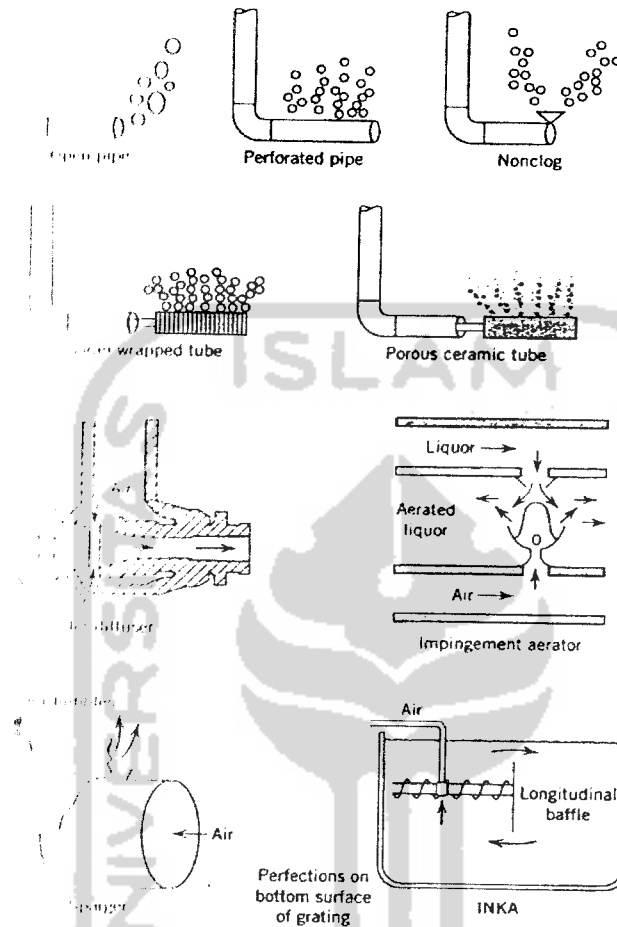


Fig. 12.6a Diffusers. From G. Shell and T. Cassady (1973) and A. L. Downing (1960), *Institution of Public Health Engineers*, 59, p. 87. Used with permission.

Sumber: Droste, 1997.

Gambar 2.8 Macam-nacam Jenis *Diffused Aerator*

Tingkat transfer gas tergantung pada jumlah dan ukuran gelembung (*bubble*) dalam sistem. Gelembung yang lebih kecil memiliki luas permukaan lebih besar dan lebih efisien dibandingkan gelembung yang berukuran lebih besar untuk transfer massa. Kenaikan efisiensi transfer massa berlawanan dengan kenaikan *headloss* yang dihubungkan dengan ukuran *orifice* yang lebih kecil yang

dibutuhkan untuk menciptakan gelembung yang lebih kecil. *Orifice* yang lebih kecil mudah terjadi *clogging* yang diakibatkan oleh adanya pertumbuhan biologis.

Pada umumnya *diffused aerator* memiliki kedalaman 2.7-4.6 m (9-15 ft) dan lebar 3-9 m (10-30 ft) (ASCE and AWWA, 1990). Rasio lebar dan kedalaman tidak boleh melebihi dari 2 untuk meyakinkan pengadukan yang efektif. Waktu detensi tergantung pada removal yang diinginkan. Diffuser biasanya ditempatkan disepanjang tanki agar diperoleh aliran spiral (*spiral flow*) dalam tanki. Diffuser dapat ditempatkan ditengah-tengah kedalaman tanki untuk mengurangi kebutuhan energi yang digunakan untuk menekan udara . Jumlah udara yang dibutuhkan berkisar antara 0.075-1.12 m<sup>3</sup> udara per m<sup>3</sup> (0.01-0.15 ft<sup>3</sup> per gal) air (Droste, 1997).

Jika dilihat berdasarkan sistem operasinya, aerator yang digunakan pada penelitian ini ialah aerator jenis *tray aeration*. Operasi aerasi dengan sistem ini, dilakukan dengan memompa air pada ketinggian tertentu kemudian dilepaskan pada titik pancaran pada bagian paling atas dari alat. Suhu udara dan kecepatan angin sangat berpengaruh pada laju aerasi. Waktu kontak ditentukan oleh tinggi jatuhan dan kapasitas aliran air yang direncanakan (Ali Masduqi, 2002).

#### 4. Aerasi Pada Pengolahan Limbah Secara Biologis

Tujuan utama aerasi pada limbah ialah untuk mensuplai oksigen pada proses pengolahan biologis secara aerob, dan tujuan lainnya ialah untuk menghilangkan bahan organik volatil pada air limbah

Suplai oksigen sangatlah penting bagi seluruh bentuk pengolahan biologis secara aerob dan merupakan salah satu kegiatan operasi dalam proses pengolahan limbah yang membutuhkan biaya mahal. Karena transfer gas menyebabkan turbulensi dan pengadukan, peralatan aerasi memegang peranan penting dalam proses pengadukan dan normalnya didesain untuk menghasilkan tingkat pengadukan yang dibutuhkan disamping menyediakan oksigen yang cukup.

Oksigen yang disuplai kedalam limbah ialah oksigen yang dikonsumsi oleh mikroorganisme. Kelebihan suplai oksigen menyebabkan kandungan Dissolved Oxygen dalam air naik dan berpindah keluar (dari kolam) bersama effluent (Droste, 1997).

## 2.9.2 Proses 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).

Adsorpsi didefinisikan sebagai proses penyerapan molekul oleh permukaan padatan internal atau eksternal atau oleh permukaan cairan (liquid). Adsorpsi terjadi pada permukaan ini karena adanya gaya tarik atom dan molekul yang menyusun permukaan tersebut. Ketika impuriti teradsorpsi dari cairan ke suatu permukaan, proses adsorpsi terjadi pada solid-liquid interface, dan reaksi yang terjadi pada permukaan menentukan tingkat adsorpsinya (Benefield, 1982).

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).

Molekul zat organik terlarut akan terremoval dari larutannya dan terserap oleh adsorben selama proses adsorpsi. Mekanisme ini dapat menyebabkan konsentrasinya pada air limbah berkurang, karena sebagian telah tertahan (terserap) oleh adsorben. Berkurangnya jumlah senyawa organik secara langsung dapat menyebabkan berkurangnya nilai COD pada air limbah.

Mayoritas molekul zat organik teradsorpsi dalam pori pada bagian dalam partikel karbon. Perpindahan zat terlarut dari larutan ke adsorban berjalan terus sampai konsentrasi zat terlarut yang tersisa pada larutan sama dengan konsentrasi zat terlarut yang teradsorpsi oleh adsorban. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi;

1. Agitation (Pengadukan)

Tingkat adsorpsi dikontrol baik oleh difusi film maupun difusi pori, tergantung pada tingkat pengadukan pada sistem.

2. Karakteristik Adsorban (Karbon Aktif)

Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan karakteristik penting karbon aktif sesuai dengan fungsinya sebagai adsorban. Ukuran partikel karbon mempengaruhi tingkat adsorpsi; tingkat adsorpsi naik dengan adanya penurunan ukuran partikel. Oleh karena itu adsorpsi menggunakan karbon PAC (*Powdered Activated Carbon*) lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan karbon GAC (*Granular Activated Carbon*).

Kapasitas total adsorpsi karbon tergantung pada luas permukaannya. Ukuran partikel karbon tidak mempengaruhi luas permukaannya. Oleh sebab itu GAC atau PAC dengan berat yang sama memiliki kapasitas adsorpsi yang sama.

3. Kelarutan Adsorbat

Senyawa terlarut memiliki gaya tarik-menarik yang kuat terhadap pelarutnya sehingga lebih sulit diadsorpsi dibandingkan senyawa tidak larut.

4. Ukuran Molekul Adsorbat

Tingkat adsorpsi pada aliphatic, aldehyde, atau alkohol biasanya naik diikuti dengan kenaikan ukuran molekul (Hassler, 1974). Hal ini dapat dijelaskan dengan kenyataan bahwa gaya tarik antara karbon dan molekul akan semakin besar ketika ukuran molekul semakin mendekati ukuran pori karbon (Culp and Culp, 1971). Tingkat adsorpsi tertinggi terjadi jika pori karbon cukup besar untuk dilewati oleh molekul.

5. pH

Asam organik lebih mudah teradsorpsi pada pH rendah, sedangkan adsorpsi basa organik efektif pada pH tinggi.

6. Temperatur

Tingkat adsorpsi naik diikuti dengan kenaikan temperatur dan turun diikuti dengan penurunan temperatur (Benefield, 1982).

Secara keseluruhan, tingkat adsorpsi dikontrol oleh tingkat difusi molekul terlarut pada pori-pori partikel karbon. Tingkat difusi berbanding terbalik dengan diameter partikel, akan naik diikuti dengan kenaikan konsentrasi zat terlarut dan kenaikan temperatur, serta menurun diikuti dengan kenaikan berat molekul zat terlarut (Eckenfelder, W. W., Jr, 1997).



43

Pemilihan adsorben pada proses adsorpsi sangat mempengaruhi sorpsi dan kapasitas adsorpsi. Beberapa adsorben yang sering digunakan pada proses adsorpsi misalnya: bentonit, tuff, pumice, zeolit, dan silika gel. Adapun dalam penelitian ini adsorben yang digunakan ialah karbon aktif dan zeolit.

Faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi yaitu:

1. Luas permukaan adsorben.

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

2. Ukuran partikel

Makin kecil ukuran partikel yang digunakan maka semakin besar kecepatan adsorpsinya. Ukuran diameter dalam bentuk butir adalah lebih dari 0.1 mm, sedangkan ukuran diameter dalam bentuk serbuk adalah 200 mesh (Tchobanoglous, 1991).

3. Waktu kontak

Waktu kontak merupakan suatu hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Konsentrasi zat-zat organik akan turun apabila waktu kontaknya cukup dan waktu kontak berkisar 10-15 menit (Reynolds, 1982).

4. Distribusi ukuran pori

Distribusi pori akan mempengaruhi distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk kedalam partikel adsorben.

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.

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).

### 1. Karbon Aktif

Karbon aktif paling sering digunakan untuk meremoval kontaminan organik, terutama *Syntetic Organik Chemicals* (SOCs), akan tetapi karbon aktif juga dapat meremoval kontaminan anorganik seperti radon-222, mercury, dan logam toksik lainnya secara efektif. Karbon aktif mampu mengadsorpsi adsorbat dalam jumlah banyak dibandingkan dengan adsorban lainnya (Faust and Aly, 1987 dalam Droste, 1997).

*Dechlorinasi* merupakan fungsi lain dari karbon aktif. *Chlorine* dan *chloramine* bereaksi dengan karbon aktif untuk membentuk produk klorida dan karbondioksida (Droste, 1997).

Karbon aktif dapat dibuat dari hampir seluruh material *carbonaceous* (seperti kayu, lignite, tempurung kelapa, batu bara) dengan cara memanaskannya dengan atau tanpa tambahan bahan kimia terdhidrasi pada kondisi tidak ada udara untuk melepaskan karbon dari ikatan atomnya. Proses ini disebut karbonisasi (Droste, 1997).

Karbon aktif diproduksi dengan cara mengolah material *carbonaceous* yang dipilih kedalam serangkaian proses pengolahan yang meliputi proses *dehydration, carbonization, dan activation* (Benefield, 1982).

1. *Dehydration*

Membakar material pada suhu 170°C untuk menghilangkan kandungan air. Pada beberapa kasus, *zinc chloride* atau asam *phospor* dapat ditambahkan kedalam proses pembakaran sebagai *dehydrating agent*.

2. *Carbonization*

Merupakan lanjutan dari proses pembakaran pada proses *dehydrating*, biasanya dilakukan pada kondisi tanpa udara, pada temperatur antara 400-600°C. Proses ini menyebabkan dekomposisi material dan menghilangkan impuriti seperti methanol dan aspal. Keluarnya bahan-bahan volatil ini menyebabkan terbentuknya pori pada material.

3. *Activation*

Merupakan proses pengolahan produk karbon dengan campuran CO<sub>2</sub>, udara, dan panas (*steam*) pada temperatur 750-950°C untuk membakar residu *amorf*. Proses ini menyebabkan terbentuknya celah atau pori pada karbon. Pori-pori dalam karbon banyak dihasilkan melalui proses ini. Beberapa material *noncarbonaceous* dan bahan organik volatil juga dapat teremoval pada proses ini.

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*). Karbon yang berbentuk bubuk digunakan untuk adsorpsi dalam larutan, misalnya untuk menghilangkan warna sedangkan karbon dengan bentuk granular digunakan untuk adsorpsi gas dan uap. Akan tetapi Karbon bentuk granular juga sering digunakan pada media larutan khususnya



kelompok senyawa tertentu yang dapat diadsorpsi oleh karbon aktif ditentukan oleh keseimbangan antara gaya yang mempertahankannya dalam larutan dan gaya yang menariknya pada permukaan karbon. Faktor-faktor yang mempengaruhi keseimbangan ini meliputi;

1. Adsorpsi meningkat dengan adanya penurunan kelarutan
2. pH air dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Asam organik teradsorpsi lebih baik pada kondisi asam, sedangkan senyawa amino lebih menyukai kondisi basa
3. Senyawa aromatik dan halogen teradsorpsi lebih baik dibandingkan dengan senyawa aliphatik
4. Kapasitas adsorpsi turun dengan adanya kenaikan temperatur meskipun tingkat adsorpsinya mungkin naik
5. Karakter permukaan adsorben memiliki efek yang cukup besar pada kapasitas dan tingkat adsorpsi. Bahan baku dan proses aktivasi karbon menentukan kapasitasnya (Canter, W and R. C. Knox, 1985).

Pada proses adsorpsi dengan media adsorban berupa karbon, terdiri dari 2 proses, yaitu proses adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika ialah suatu mekanisme dimana kontaminan organik akan terremoval dari suatu aliran udara. Melalui gaya Van Der Waal's suatu kontaminan akan terjebak didalam, dan tertahan oleh struktur pori media adsorben. Mekanisme ini sangat efektif untuk menghilangkan kontaminan organik. Sedangkan adsorpsi kimia ialah suatu mekanisme dimana kontaminan yang lebih kecil dan lebih ringan (yang sukar teradsorpsi secara fisik) dapat dihilangkan dari suatu aliran udara. Media adsorban terisi secara kimia, maksudnya ialah media diberi bahan-bahan pengisi kimia tertentu (*Chemical Impregnant*) yang terendapkan pada permukaan dan struktur pori media. *Chemical Impregnant* ini bereaksi dengan kontaminan pada fase gas dan mengikatnya pada permukaan media. Contohnya ialah penggunaan bahan pengisi berupa asam (*Acid Impregnant*) untuk menghilangkan amonia dan basa lainnya dari suatu aliran udara (Donaldson Chemical Engineering, 2005).

## 2. Zeolit

Istilah Zeolit berasal dari kata Zein yang dalam bahasa Yunani berarti membuih dan lithos yang berarti batu. Nama ini sesuai dengan sifat yang membuih bila dipanaskan pada suhu 100°C. Zeolit merupakan senyawa aluminosilat yang terhidrasi dengan unsur utama terdiri dari kation alkali dan alkali tanah. Senyawa ini memiliki struktur tiga dimensi dan memiliki pori-pori yang dapat diisi dengan air. Selain itu zeolit memiliki kemampuan untuk menyerap dan melepaskan komponen yang terkandung serta dapat menukar berbagai jenis kation tanpa merubah struktur utama penyusunnya.

Zeolit merupakan batuan yang secara kimia termasuk bahan silikat yang dinyatakan sebagai aluminosilat terhidrasi, yang merupakan hasil produksi sekunder, baik dari hasil pelapukan ataupun sedimentasi. Batuan zeolit dengan struktur berongga sebagai suatu aluminosilat yang mempunyai struktur rongga dengan rongga-rongga di dalamnya terdapat ion-ion logam dan molekul-molekul air yang keduanya dapat bergerak sehingga dapat dipakai sebagai penukar ion dan dihidrasi secara reversible tanpa terjadi perubahan struktur (Barrers, 1978).

Menurut proses pembentukannya zeolit digolongkan menjadi dua kelompok, yaitu :

### 1. Zeolit Alam

Di alam banyak dijumpai zeolit dalam lubang-lubang lava, dan dalam batuan piroklasik berbutir halus (tuf). Berdasarkan proses pembentukannya zeolit alam dibagi menjadi dua kelompok yaitu :

- a. Zeolit yang terdapat di antara celah-celah atau di antara lapisan batuan. Zeolit jenis ini biasanya terdiri dari beberapa jenis mineral zeolit bersama-sama dengan mineral lain, seperti kalsit, kwarsa, renit, klorit, flourit, mineral sulfide dan lain-lain.
- b. Zeolit yang berupa batuan

Zeolit ini dapat dibedakan menjadi 7 (tujuh) kelompok, yaitu :

- Mineral zeolit yang terbentuk dari gunung api di danau asin yang tertutup.
- Mineral zeolit yang terbentuk di dalam danau air tawar atau di dalam lingkungan air tanah terbuka.

- Mineral zeolit yang terbentuk di lingkungan laut
- Mineral zeolit yang terbentuk karena proses metamorphose berderajat rendah, karena pengaruh timbunan.
- Mineral zeolit yang terbentuk oleh aktivitas hidrotermal atau air panas.
- Mineral zeolit yang terbentuk dari gunung api di dalam tanah yang bersifat alkali
- Mineral zeolit yang terbentuk dari batuan atau mineralisasi yang tidak menunjukkan bukti adanya hubungan langsung dengan kegiatan vulkanis

## 2. Zeolit Sintetis

Susunan atom maupun komposisi zeolit dapat dimodifikasi, maka dapat dibuat zeolit sintetis yang mempunyai sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Sifat zeolit sangat tergantung dari jumlah komponen Al dan Si dari zeolit tersebut. Oleh karena itu zeolit sintetis dikelompokkan sesuai dengan perbandingan kadar komponen Al dan Si dalam zeolit menjadi zeolit kadar Si rendah, zeolit kadar Si sedang dan zeolit kadar Si tinggi.

Zeolit mempunyai struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh sebab itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai: penyaring molekuler, penukar ion, penyerap bahan dan katalisator. Sifat zeolit meliputi :

### a. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit berpengaruh terhadap sifat adsorbsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam permukaan rongga yang menyebabkan medan listrik meluas kedalam rongga utama dan efektif berinteraksi dengan molekul yang diadsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang terbentuk apabila unit sel kristal tersebut dipanaskan

### b. Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada disekitar kation. Apabila kristal zeolit dipanaskan pada suhu  $300^{\circ}\text{C}$ - $400^{\circ}\text{C}$  maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat

berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Selain mampu menyerap gas atau zat, zeolit juga mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran dan kepolarannya.

c. Penukaran Ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini akan bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Penukaran kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan aktivitas katalis.

d. Katalis

Ciri khusus zeolit yang secara praktis menentukan sifat khusus mineral ini adalah adanya ruang kosong yang membentuk saluran di dalam struktur. Apabila zeolit digunakan pada proses penyerapan atau katalis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas di antara kristal. Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori besar dan permukaan yang maksimum.

e. Penyaring/ pemisah

Zeolit dapat memisahkan molekul gas atau zat lain dari campuran tertentu, karena mempunyai ruang hampa yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam (berkisar antara 2A-8A tergantung dari jenis zeolit). Volume dan ukuran ruang hampa dalam kisi-kisi kristal ini menjadi dasar kemampuan zeolit untuk bertindak sebagai penyaring.

Beberapa cara pengaktifan zeolit , antara lain :

1. Cara Pemanasan

Pemanasan di sini dimaksudkan untuk melepaskan molekul-molekul air yang terdapat pada zeolit yang nantinya akan digantikan oleh molekul yang diadsorpsi.

2. Cara Kimia

Pengaktifan cara kimia dilakukan dengan perendaman dan pengadukan dalam suatu larutan asam (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) atau basa (NaOH) dengan tujuan untuk

membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Selain itu juga dapat menggunakan  $\text{KmnO}_4$  1% untuk mengaktifkan zeolit tersebut.

### 2.9.3 Proses Biologis

Pengolahan limbah cair secara biologis merupakan pengolahan dengan memanfaatkan kegiatan mikroba untuk melakukan degradasi ataupun transformasi. Prinsip pengolahan air buangan secara biologis dipusatkan pada mikroorganisme yang menggunakan material limbah organik sebagai bahan makanannya untuk mendukung perkembangbiakan bakteri, pembentukan energi-energi esensial. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pertumbuhan bakteri dalam reaktor sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, seperti; jumlah oksigen terlarut, pH, suhu, adanya bahan-bahan toksik, jumlah dan material limbah, dan cahaya matahari.

Pengolahan air buangan secara biologi biasanya merupakan pengolahan sekunder, dimana pengolahan dilakukan dengan memanfaatkan kegiatan mikrobia untuk melakukan degradasi atau transformasi. Proses biologi ini dilakukan untuk menguraikan bahan organik melalui oksidasi biokimia. Pada prinsipnya pengolahan secara biologi merupakan pengembangan dari proses penjernihan air secara alami (*self purification*) (Mangunwijaya, 1994).

Pada penelitian ini, menggunakan sistem pengolahan biologis dengan tipe pertumbuhan bakteri melekat (*Attached Growth*) yang dilakukan pada kondisi aerob. Proses pengolahan dengan pertumbuhan melekat (*Attached Growth*) ialah suatu proses pengolahan biologis dimana mikroorganisme yang bertugas menguraikan bahan organik atau unsur lainnya yang ada pada air limbah menjadi gas dan jaringan sel tumbuh melekat pada media inert, seperti batu, keramik tau material keramik (Metcalf & Eddy, 1991).

Sebelum reaktor digunakan untuk mengolah limbah, terlebih dahulu dilakukan *seeding* (penumbuhan bakteri) pada reaktor dengan menggunakan media pertumbuhan berupa *styrofoam*. Proses *seeding* dilakukan selama 30 hari, dan suplai oksigen selama proses ini diperoleh dari *bubble aerator*. Adapun tujuan

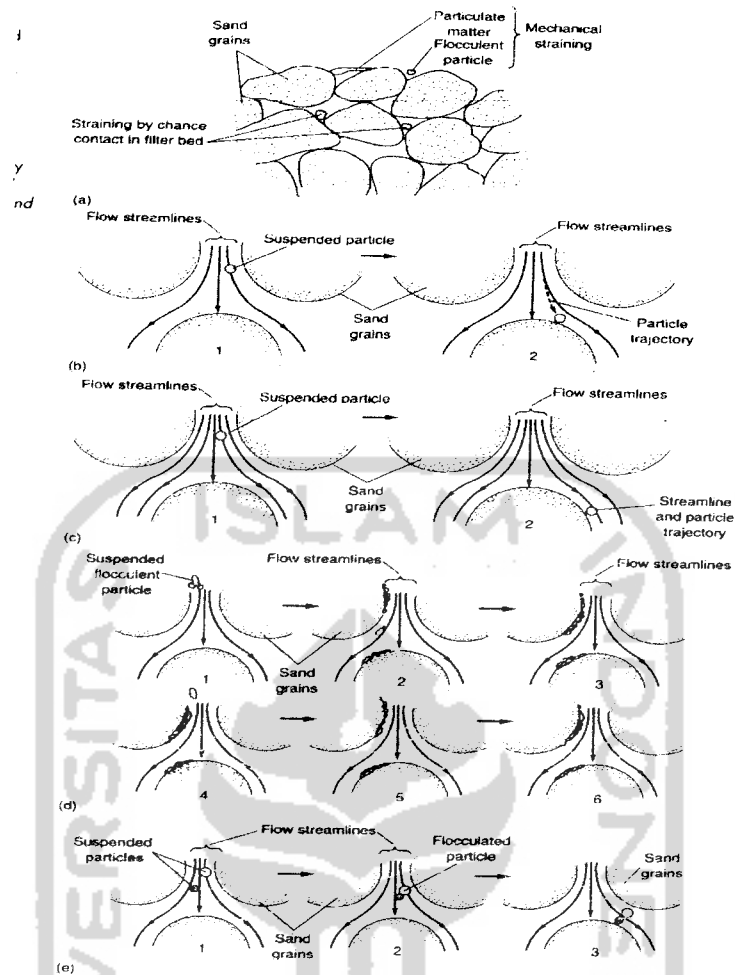


*seeding* ini ialah untuk memaksimalkan jumlah atau populasi bakteri yang tumbuh melekat pada media *styrofoam*. Populasi bakteri ini yang akan bertugas mendegradasi kandungan zat organik pada air limbah. Semakin banyak populasi bakteri, semakin banyak pula kandungan zat organik yang terdegradasi. Selanjutnya semakin banyak zat organik yang terdegradasi, menyebabkan konsentrasi COD pada air limbah menjadi semakin berkurang.

#### **2.9.4 Proses Filtrasi**

Filtrasi adalah suatu proses pemisahan zat padat dari fluida (cair maupun gas) yang membawanya menggunakan suatu media berpori atau bahan berpori lainnya untuk menghilangkan sebanyak mungkin zat padat halus yang tersuspensi dan koloid. Disamping ereduksi kandungan zat padat, filtrasi juga dapat mereduksi kandungan bakteri, menghilangkan warna, rasa, bau, besi dan mangan (Masduqi, A dan Agus S, 2002).

Pada proses filtrasi, penurunan nilai COD disebabkan karena adanya proses removal padatan organik dan anorganik baik yang tersuspensi maupun koloid pada air limbah. Mekanisme removal material organik ini meliputi; *Straining, Sedimentation, Interception, Adhesion*.



1045

Sumber: Metcalf and Eddy, 2003.

Gambar 2.9 Mekanisme Removal Pada Filtrasi; a. Melalui *Straining*, b. *Sedimentation*, c. *Interception*, d. *Adhesion*

Media filter yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir, hal ini dikarenakan memiliki nilai ekonomis yang rendah/murah. Pada umumnya pasir mempunyai senyawa kimia antara lain :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}$ , dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Senyawa yang terpenting dalam pasir sebagai media filter adalah kandungan  $\text{SiO}_2$ , yang tinggi, karena  $\text{SiO}_2$  yang tinggi memberikan kekerasan pasir semakin tinggi pula (Lewis, 1980).

Ada 4 faktor yang mempengaruhi efisiensi penyaringan, kualitas effluent penyaringan, serata masa operasi saringan, yaitu sebagai berikut:

- a. Kualitas air baku, senakin baik kualitas air baku yang diolah maka akan baik pula hasil penyaringan yang diperoleh.
- b. Suhu, Suhu yang baik yaitu antara 20-30 °C, temperatur akan mempengaruhi kecepatan reaksi-reaksi kimia.
- c. Kecepatan Penyaringan, Pemisahan bahan-bahan tersuspensi dengan penyaringan tidak dipengaruhi oleh kecepatan penyaringan. Berbagai hasil penelitian ternyata, kecepatan penyaringan tidak mempengaruhi terhadap kualitas effluen. Kecepatan penyaringan lebih banyak terhadap masa operasi saringan. (Huisman, 1975)
- d. 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.

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.

#### **2.10 Penelitian yang Pernah Dilakukan Sebelumnya**

Sebelum penelitian ini dilakukan, telah ada penelitian serupa yang menggunakan reaktor *Aerokarbonfilter*, yaitu penyisihan COD, TSS, dan warna pada limbah industri batik Nakula, Sleman yang dilakukan oleh Ahmad Nur (2006). Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui perbandingan efektifitas karbon aktif dan zeolit yang digunakan sebagai media adsorben dalam menurunkan parameter uji. Pemeriksaan parameter uji dilakukan pada inlet, outlet aerasi, outlet karbon aktif, dan outlet reaktor yang dilakukan pada menit ke 0, 30, 60, 90, dan 120.

Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa zeolit lebih efektif dalam menurunkan konsentrasi COD dibandingkan dengan karbon aktif. Angka efisiensi penurunannya dapat mencapai 87,16 %. Sedangkan jika menggunakan karbon aktif, angka efisiensi penurunannya hanya mencapai 59,87 %. Kedua nilai tersebut didapat pada saat pengambilan sampel pada menit ke 0. Selanjutnya pada menit ke 30 nilai tersebut mengalami penurunan, dan pada menit-menit berikutnya media adsorben sudah tidak dapat menurunkan konsentrasi parameter tersebut, bahkan cenderung terjadi kenaikan konsentrasi pada parameter yang diuji.

Untuk parameter TSS dan BOD penggunaan media karbon aktif justru lebih efektif dalam menurunkan konsentrasi parameter tersebut. Sama halnya pada pengujian COD, angka efisiensi penurunan terbesar terjadi pada menit ke 0 dan mengalami penurunan yang tidak stabil pada menit-menit berikutnya.

Pada penelitian terdahulu ini, tidak dapat diketahui titik/waktu jenuhnya, karena batasan waktunya yang relatif singkat. Untuk itu pada penelitian ini, akan dilakukan evaluasi terhadap reaktor sampai diketahui waktu jenuhnya dengan menambah waktu penelitiannya.

Pada penelitian kali ini juga akan dilakukan sedikit modifikasi, yaitu dengan cara menumbuhkan mikroorganisme didalam reaktor. Keterlibatan mikroorganisme tersebut diharapkan mampu meningkatkan efisiensi removal parameter uji, mengingat air baku yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah domestik, yang komponen utamanya berupa bahan organik dan fungsi dari mikroorganisme itu sendiri ialah untuk menguraikan bahan organik yang ada didalam air limbah.

### 2.11 Hipotesa

- Pada reaktor *Aerokarbonbiofilter* akan terjadi proses removal senyawa organik yang terkandung pada limbah, sehingga terjadi penurunan terhadap konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD).
- Reaktor *Aerokarbonbiofilter* akan mengalami kejenuhan setelah beberapa waktu digunakan untuk menurunkan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah domestik.



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII Yogyakarta.

### 3.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam penelitian eksperimen yang dilaksanakan dalam skala laboratorium.

### 3.3 Objek Penelitian

Obyek penelitian adalah limbah yang berasal dari *septic tank* FTSP (selatan kantin FTSP).

### 3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Variabel bebas (*Independent Variable*)
  - Debit air limbah yang digunakan
  - Waktu yang digunakan untuk analisa sampel sampai terjadi *clogging* pada Reaktor *Aerokarbonbiofilter*.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variabel*)

Parameter yang diteliti adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air limbah *septic tank* FTSP.

### 3.5 Desain Reaktor *Aerokarbonbiofilter*

Dalam penelitian ini akan digunakan reaktor yang terdiri sebagai berikut :

- a. Aerasi

Aerasi yang digunakan adalah tipe *multipletray* aerasi dengan tingkatan tray 4 buah dengan jarak tiap tray 0,1 m.

b. – Karbon aktif

Ketebalan karbon aktif dalam reaktor 30 cm.

c. Zeolit

Ketebalan zeolit yang digunakan adalah 20 cm.

d. Pasir

Media penyaring yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah pasir kuarsa dengan ketebalan 20 cm.

e. Media *seeding*

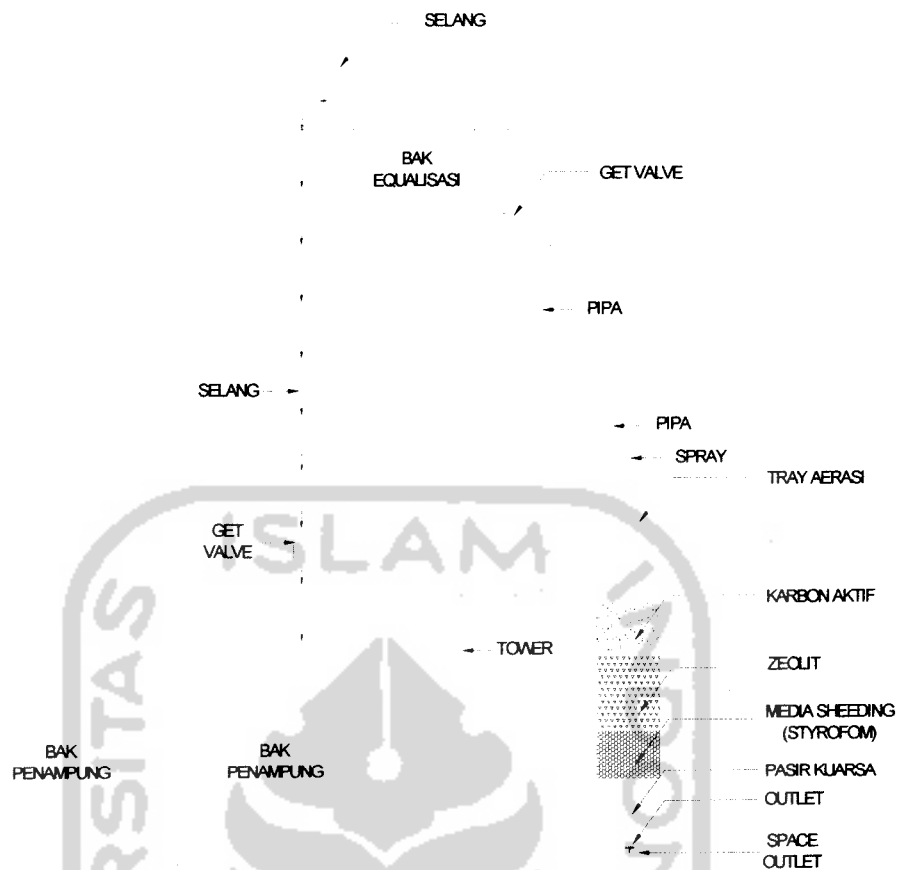
Media *seeding* sebagai tempat pertumbuhan melekat bagi mikroorganisme yang digunakan adalah *styrofoam* dengan ketebalan 20 cm.

**3.6 Dimensi Reaktor Aerokarbonbiofilter**

Reaktor yang direncanakan terbuat dari kaca. Reaktor yang digunakan adalah jenis reaktor bertingkat yang susunannya terdiri atas aerasi, karbon aktif, zeolit, media *seeding*, filter pasir, dan outlet. Perhitungan dimensi reaktor dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1. Dimensi Reaktor Aerokarbonfilter

Dimensi	Simbol	Hasil perhitungan	Satuan	Persamaan yang digunakan
Panjang	L	0,3	M	
Lebar	W	0,3	M	
Tinggi tray aerasi	Tt	4 x 0,1	M	
Tinggi karbon aktif	Tka	0,3	M	
Tinggi zeolit	Tz	0,2	M	
Tinggi media <i>seeding</i>	Tms	0,2	M	
Tinggi pasir	Tp	0,2	M	
Tinggi ruang outlet	Tro	0,1	M	
Luas	A	0,09	M <sup>2</sup>	L x W
Volum reaktor	Vr	0,13	M <sup>3</sup>	Ax(Tt+Tka+Tz+Tms+Tp+Tro)
Debit	Q	0,01	L/detik	



Gambar 3.1 Reaktor *Aerokarbonfilter*

### 3.7 Tahapan Penelitian

Tahapan pelaksanaan dalam penelitian ini dimulai dari persiapan media atau bahan, proses penumbuhan bakteri (*seeding*), pelaksanaan penelitian dan proses pemeriksaan sampel.

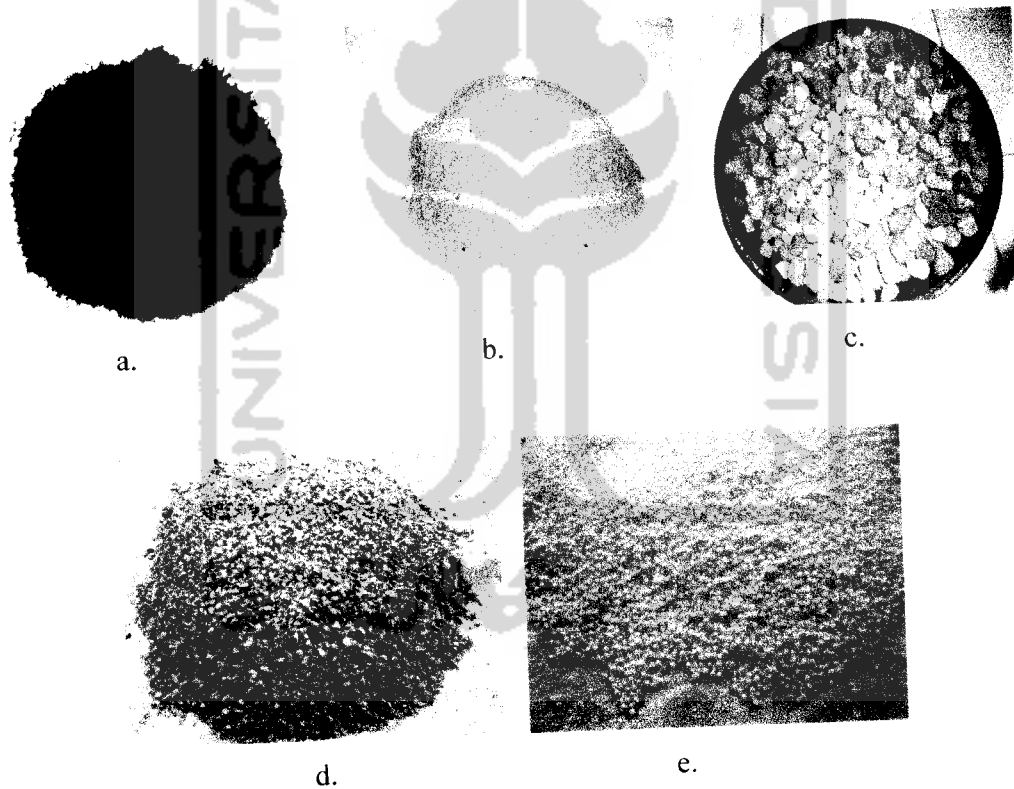
#### 3.7.1 Persiapan Media

Pada tahapan ini media-media yang akan digunakan pada penelitian dipersiapkan terlebih dahulu. Media-media yang digunakan meliputi pasir kuarsa sebagai media filter, kerikil, karbon aktif dan zeolit sebagai media adsorban, dan *styrofoam* sebagai media untuk proses *seeding*. Sebelum digunakan, bahan-bahan seperti pasir kuarsa dan kerikil dicuci dan dipanaskan/dijemur terlebih dahulu.



Pencucian dilakukan agar kotoran/debu yang menempel pada pasir atau kerikil hilang. Sedangkan pemanasan dilakukan dengan tujuan agar bahan-bahan tersebut steril.

Karbon aktif dan zeolit terlebih dahulu diaktivasi sebelum keduanya digunakan untuk mengolah limbah. Untuk karbon aktif, proses aktivasi dilakukan dengan cara merendamnya pada larutan garam selama 24 jam, kemudian dipanaskan dalam oven selama kurang lebih 2 jam. Sedangkan untuk zeolit, hanya dicuci dan dipanaskan dalam oven selama kurang lebih 2 jam. Proses aktivasi ini bertujuan untuk membuka pori-pori pada kedua media tersebut, sehingga nantinya kedua media ini mampu untuk mengadsorpsi kontaminan-kontaminan yang ada pada air limbah. Setelah media-media tersebut siap, barulah kemudian dimasukkan kedalam reaktor dengan ketebalan sesuai dengan desain perencanaan.



Gambar 3.2 Media-media Yang Digunakan (a. Karbon aktif; b. Pasir kuarsa; c. Kerikil; d. Zeolit; e. *Styrofoam*)

### 3.7.2 Penumbuhan Bakteri (*Seeding*)

Sebelum dilakukan proses pengaliran limbah (*running*), terlebih dahulu dilakukan *seeding* atau proses penumbuhan mikroorganisme pada reaktor. Pada penelitian ini proses *seeding*-nya ialah berupa *attached growth* atau proses penumbuhan mikroorganisme secara melekat, dengan media *styrofoam* sebagai tempat tumbuh mikroorganisme.

Proses *seeding* dilakukan dengan cara merendam *styrofoam* pada air limbah yang berasal dari *septic tank* dalam reaktor selama 40 hari. Selama proses *seeding*, suplai oksigen diperoleh dari *bubble aerator* dan suplai nutrisi dilakukan dengan cara menambahkan urea (kurang lebih 1 sendok makan) pada rendaman limbah tersebut.

Proses *seeding* dilakukan selama 40 hari dengan tujuan agar diperoleh waktu yang cukup untuk proses pembentukan lapisan biologis (*biofilm*). Lapisan ini merupakan kumpulan populasi mikroorganisme yang tumbuh melekat pada media *seeding*. Selanjutnya mikroorganisme inilah yang berperan dalam proses pendegradasian kontaminan pada limbah.

Pada proses *seeding* ini dilakukan pencampuran lumpur yang berasal dari kolam *facultative ponds* IPAL Sewon. Tujuannya ialah sebagai stimulus agar lapisan biologis dapat cepat terbentuk.

### 3.7.3 Pelaksanaan Penelitian

Setelah semua alat dan bahan telah disiapkan dan terpasang pada reaktor maka selanjutnya kegiatan penelitian dapat dilakukan. Cara kerja penelitian ini meliputi;

1. Limbah yang berasal dari *septic tank* diambil dengan pompa dan dimasukkan ke dalam jerigen.
2. Limbah dimasukkan ke dalam bak penampung. Biasanya setiap 3 hari persediaan limbah habis dan diambil tambahan limbah baru dari *septic tank*.
3. Limbah dipompa menuju reservoir yang terletak diatas.
4. Memeriksa kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) awal yang terkandung dalam air limbah sebelum dialirkan kedalam reaktor.

5. Mengalirkan air limbah kedalam reaktor dengan debit sebesar 2,75 L/jam.
6. Limbah mengalir melalui *spray*, sehingga limbah keluar memancar dan terjadi kontak dengan udara (aerasi).
7. Limbah jatuh pada media karbon aktif dan zeolit dan terjadi proses adsorpsi kontaminan-kontaminan yang ada pada air limbah.
8. Limbah mengalir menuju *styrofoam* (sebagai tempat media *seeding* mikroorganisme). Pada saat terjadi kontak antara air limbah dengan permukaan *styrofoam*, kontaminan-kontaminan yang ada pada air limbah akan didegradasi oleh mikroorganisme yang tumbuh melekat pada *styrofoam*.
9. Limbah mengalir menuju filter pasir dan terjadi penyaringan oleh media pasir dan keluar menuju pipa outlet
10. Mengambil sampel serta memeriksa parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada outlet reaktor. Kegiatan pengambilan dan pemeriksaan sampel dilakukan setiap 2 hari sekali.

#### 3.7.4 Pemeriksaan Sampel

Sampel dari inlet dan outlet reaktor *Aerokarbonbiofilter* diperiksa setiap 2 hari sekali di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Metode uji yang digunakan pada kegiatan analisa parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) ini ialah metode Refluks Terbuka Secara Titrimetri berdasarkan SNI-06-6989.15-2004 (lihat lampiran).

Metode ini digunakan untuk penentuan kadar kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) dalam air dan air limbah secara refluks terbuka dengan kisaran kadar KOK 50 mg/L O<sub>2</sub> sampai dengan 900 mg/L O<sub>2</sub>. Metode ini tidak berlaku bagicontoh uji air yang mengandung ion klorida lebih dari 2000 mg/L.

Prinsip dari metode ini ialah zat organik dioksidasi dengan campuran mendidih asam sulfat dan kalium dikromat yang diketahui normalitasnya dalam suatu refluks selama 2 jam. Kelebihan kalium dikromat yang tidak tereduksi, dititrasi dengan larutan ferro ammonium sulfat (FAS).

Bahan serta peralatan yang dibutuhkan dalam metode uji ini meliputi;

a. Bahan

- Larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ )
- Larutan asam sulfat-perak sulfat ( $Ag_2SO_4-H_2SO_4$ )
- Larutan ferro ammonium sulfat (FAS)
- Larutan indikator ferroin

b. Peralatan

- Tabung refluks
- Labu ukur 100 mL dan 1000 mL
- Buret 25 mL atau 50 mL
- Pipet volume 5 mL; 10 mL; 15 mL; dan 50 mL
- Erlenmeyer 250 mL

Cara kerja pengujian COD berdasarkan metode ini dimulai dengan membilas tabung refluks dengan larutan  $H_2SO_4$  20 % terlebih dahulu. Tabung refluks didisi dengan sampel yang akan diujikan sebanyak 2.5 mL. Kemudian ditambah dengan larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) sebanyak 1.5 mL dan larutan asam sulfat-perak sulfat ( $Ag_2SO_4-H_2SO_4$ ) sebanyak 3.5 mL. Pada saat penambahan larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ), terjadi perubahan warna pada sampel yakni menjadi berwarna kuning kehijauan. Selanjutnya tabung refluks tersebut dimasukkan kedalam Thermoreaktor dengan suhu  $148^{\circ}C$  selama 2 jam. Setelah 2 jam, sampel ditambahkan dengan indikator ferroin dan dititrasi.

Penentuan nilai COD diperoleh melalui perhitungan sebagai berikut;

a. Normalitas Larutan

$$\text{Normalitas FAS} = \frac{V_1 \times N_1}{V_2}$$

Dengan pengertian;

$V_1$  adalah volume larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) yang digunakan, mL;

$V_2$  adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan, mL;

$N_1$  adalah Normalitas larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ).

b. Kadar KOK

$$\text{KOK (mg/L O}_2) = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{\text{mL contoh} - \text{uji}}$$

Dengan pengertian;

A adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blanko, mL;

B adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk contoh, mL;

N adalah Normalitas larutan FAS.

### 3.8 Analisa Data

Setelah dilakukan pemeriksaan terhadap parameter uji, maka untuk mengetahui tingkat efisiensi reaktor *Aerokarbonfilter* dalam menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dihitung dengan cara membandingkan kadar COD dititik inlet dan outlet reaktor dan dinyatakan dalam persen.

Perhitungan efisiensi :

$$E = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

Dimana :

E = Efisiensi

C<sub>1</sub> = Kadar COD sebelum *treatment*

C<sub>2</sub> = Kadar COD sesudah *treatment*

Data mengenai tingkat efisiensi reaktor yang diperoleh dari hasil penelitian kemudian diujikan secara statistik dengan menggunakan metode statistik Paired Sample T-test. Tujuan analisa data menggunakan metode statistik ini ialah untuk mengetahui apakah terjadi perbedaan penurunan yang signifikan atau tidak terhadap konsentrasi COD sebelum dan sesudah pengolahan (*treatment*). Metode statistik Paired Sample T-test digunakan untuk analisa perbandingan untuk dua sampel yang berpasangan. Dua sampel berpasangan diartikan sebagai sebuah sampel dengan subjek yang sama namun mengalami dua perlakuan atau pengukuran yang berbeda.

Pada penelitian ini terdiri atas dua sampel yang berhubungan atau berpasangan satu dengan yang lain, yaitu sampel sebelum mengalami pengolahan (dititik inlet) dan sampel yang sudah mengalami pengolahan (dititik outlet).

Adapun hipotesisnya ialah sebagai berikut;

$H_0$ = Kedua rata-rata populasi adalah identik (rata-rata konsentrasi COD sebelum dan sesudah mengalami pengolahan adalah sama/tidak berbeda secara nyata).

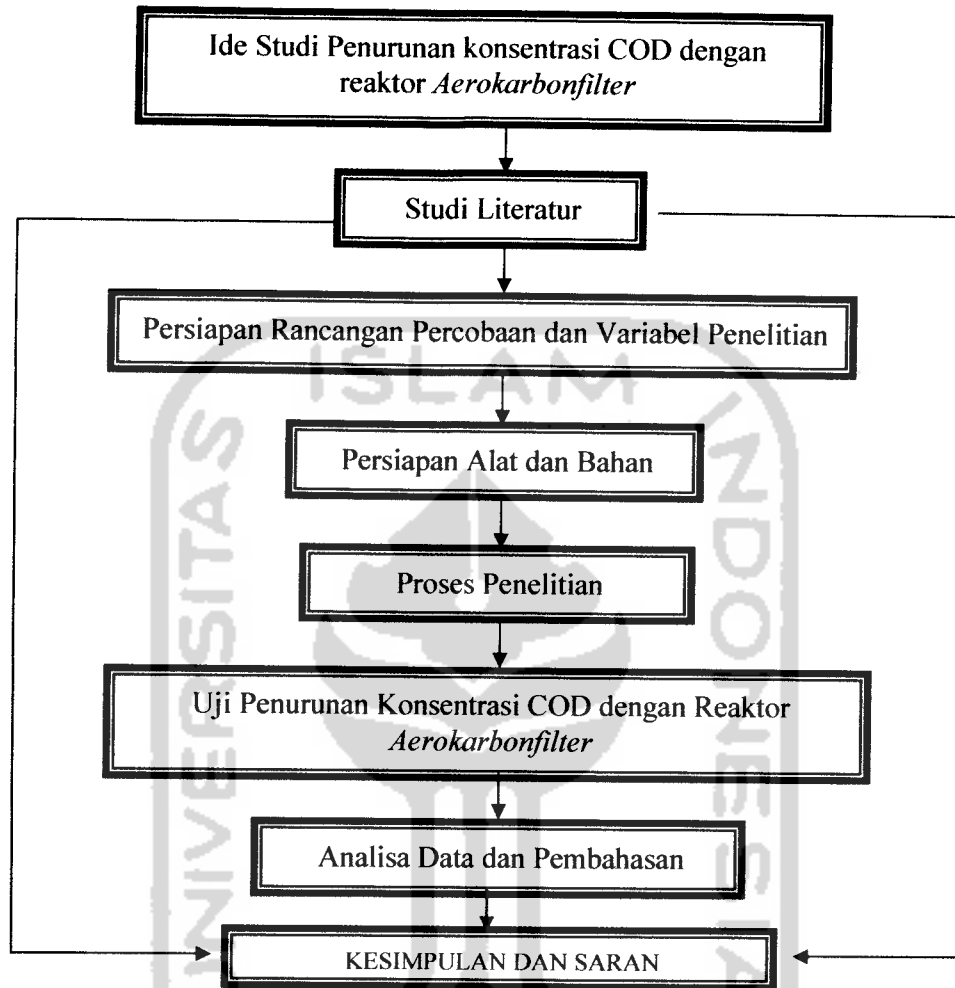
$H_1$ = Kedua rata-rata populasi adalah tidak identik (rata-rata konsentrasi COD sebelum dan sesudah mengalami pengolahan adalah tidak sama/berbeda secara nyata).

Dengan syarat jika taraf signifikansi ( $\alpha$ ) > 0.05 maka  $H_0$  diterima



### 3.9 Diagram Penelitian

Secara garis besar tahapan-tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut :



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian menggunakan reaktor *Aerokarbonbiofilter* ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tingkat efisiensi dari reaktor tersebut, dalam hal menurunkan konsentrasi parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada limbah domestik serta mengetahui waktu jenuh dari reaktor tersebut dalam menurunkan konsentrasi COD.

Penelitian ini dimulai dengan melakukan proses penumbuhan bakteri, atau yang dikenal dengan proses *seeding*. Proses *seeding* sendiri bertujuan untuk memaksimalkan jumlah bakteri yang berperan dalam proses degradasi zat organik. Proses *seeding* pada penelitian ini dilakukan dengan cara merendam media *seeding* (media tempat tumbuh bakteri), yakni *styrofoam* selama 40 hari dalam limbah domestik yang diambil dari *septictank* kampus Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pemilihan media *styrofoam* dikarenakan media ini memiliki luas permukaan yang sangat banyak, mengingat bentuknya yang berupa butiran-butiran kecil dengan diameter kira-kira 50 mm. Luas permukaan yang banyak ini akan memberikan kesempatan bagi banyak bakteri tumbuh melekat pada media. Pada hari ke-30, ditambahkan *sludge* (lumpur) yang berasal dari bak *aerated pond* IPAL Sewon sebanyak 5 % dari volume media *seeding*, yakni sekitar 0.9 Lt. Penambahan *sludge* ini bertujuan untuk mempercepat/menstimulus pembentukan lapisan biologis (*biofilm*) atau pertumbuhan bakteri.

Proses *seeding* pada penelitian ini bertujuan untuk mengembangbiakkan bakteri aerob, sehingga dibutuhkan adanya suplai oksigen. Suplai oksigen ini diperoleh dari *bubble aerator*, yang terpasang pada bak tempat proses *seeding*. Selain suplai oksigen, diberikan juga suplai nutrisi yang berupa urea yang diberikan setiap 3 hari sekali, sebanyak kurang lebih 1 sendok makan.

Ada beberapa cara dalam mengetahui kondisi bakteri hasil proses *seeding*, yakni dengan cara pengamatan visual, uji terhadap koloni bakteri, dan uji coba



pengaliran limbah (*running*) untuk mengetahui efisiensi removalnya. Secara visual, bakteri dikatakan telah siap dipakai (*steady*) apabila telah terbentuk lapisan *biofilm* pada media *seeding*. Sedangkan berdasarkan uji koloni bakteri, bakteri dikatakan telah siap dipakai (*steady*) apabila telah terdapat bakteri dalam jumlah besar. Selanjutnya, dengan cara uji coba pengaliran limbah (*running*), bakteri dikatakan telah siap dipakai (*steady*) apabila proses biologis tersebut telah mampu meremoval kontaminan yang terkandung dalam limbah pada tingkat removal yang cukup tinggi (lebih dari 50 %).

Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk mengetahui kondisi dari bakteri hasil proses *seeding* ialah menggunakan metode yang ketiga, yakni dengan cara uji coba pengaliran limbah (*running*).

Pada hari ke-40 dilakukan uji coba terhadap kondisi bakteri, yaitu dengan cara mengalirkan limbah secara kontinyu kedalam bak tempat proses *seeding* berlangsung. Tujuannya ialah untuk mengetahui apakah bakteri (proses biologisnya) sudah mampu meremoval kontaminan zat organik dalam limbah atau belum. Dari hasil analisa laboratorium diketahui bahwa bakteri tersebut sudah mampu menurunkan konsentrasi COD dengan efisiensi removal mencapai 73.5 %. Konsentrasi COD awal pada inlet sebesar 191.084 mg/L, dan konsentrasi COD pada efluen proses biologis tersebut ialah sebesar 50.56 mg/L. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kondisi bakteri sudah *steady* dan siap untuk digunakan. Seperti yang telah disebutkan diatas, ciri lain yang menunjukkan bahwa kondisi bakteri sudah *steady* ialah adanya lapisan *biofilm* pada permukaan *styrofoam*, berkurangnya bau pada rendaman limbah, yang ditimbulkan akibat tingginya kandungan konsentrasi amoniak. Adanya populasi bakteri pada reaktor mampu meremoval kandungan amoniak pada air limbah, sehingga dapat menyebabkan berkurangnya bau pada air limbah.

#### 4.1 Hasil Penelitian

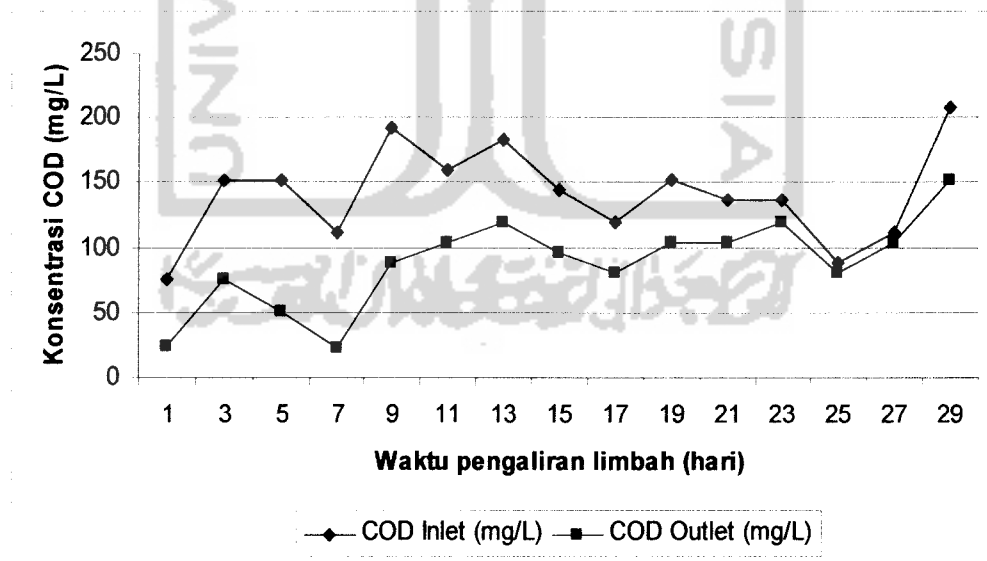
Pada penelitian ini dilakukan pengukuran COD (*Chemical Oxygen Demand*) setiap 2 hari sekali selama kurun waktu 1 bulan. Titik sampling yang diukur yaitu inlet dan outlet reaktor *Aerokarbonbiofilter*. Berdasarkan hasil

penelitian di laboratorium selama 1 bulan, diperoleh data hasil pengukuran terhadap konsentrasi COD di inlet dan outlet, serta efisiensi removalnya sebagai berikut:

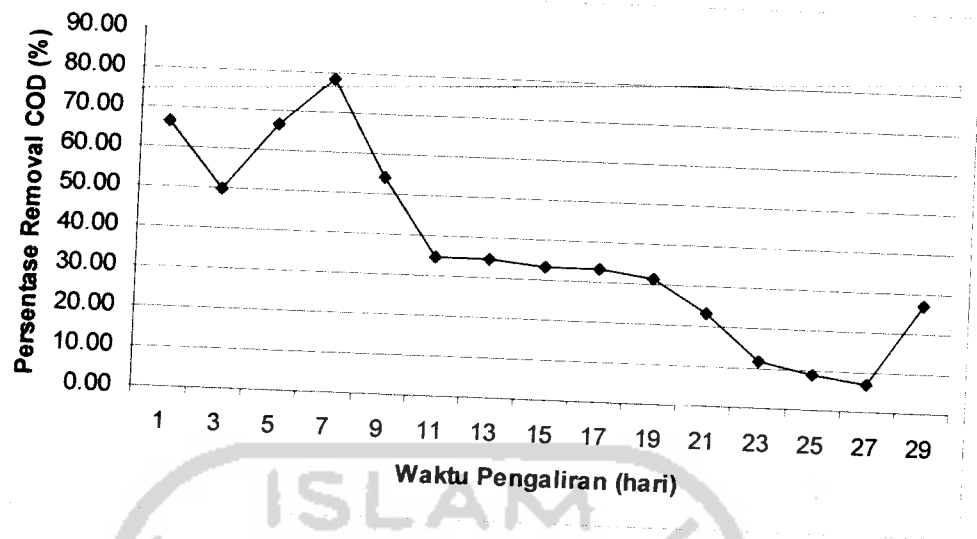
Tabel 4.1 Data Pengukuran Konsentrasi COD dan Efisiensi Removalnya

Hari ke	COD Inlet mg/L	COD Outlet mg/L	% Removal
1	75.84	25.28	66.67
3	151.68	75.84	50.00
5	151.68	50.56	66.67
7	112	24	78.57
9	192	88	54.17
11	160	104	35.00
13	184	120	34.78
15	144	96	33.33
17	120	80	33.33
19	152	104	31.58
21	136	104	23.53
23	136	120	11.76
25	88	80	9.09
27	112	104	7.14
29	208	152	26.92

Data hasil pengukuran konsentrasi COD dan efisiensi removalnya disajikan juga dalam bentuk grafik berikut;



Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi COD di Inlet dan Outlet



Gambar 4.2 Grafik Persentase Efisiensi Removal COD

Dilihat dari data hasil pengukuran COD pada Tabel 4.1 diatas, dapat diketahui bahwa konsentrasi COD di titik inlet berfluktuasi setiap harinya. Rata-rata konsentrasi COD di inlet ialah sebesar 141.546 mg/L. Perbedaan konsentrasi COD tersebut disebabkan karena perbedaan waktu pengambilan limbah. Perbedaan waktu ini menyebabkan kondisi limbah berbeda-beda. Kondisi limbah tersebut berkaitan erat dengan besarnya beban pencemar yang diterima oleh sumber limbah (*septic tank*). Dalam penelitian ini pengambilan limbah dilakukan setiap 3 hari sekali. Hal ini disebabkan karena keterbatasan volume bak penampung limbah. Selain disebabkan karena perbedaan waktu pengambilan limbah, terjadinya fluktuasi konsentrasi COD di inlet juga disebabkan karena adanya aerasi yang dihasilkan dari pompa pada bak penampung serta jenis bahan bak penampung, dalam hal ini bak penampung terbuat dari plastik. Adanya aerasi pada bak penampung menyebabkan konsentrasi COD di inlet berkurang. Adanya kontak antara bahan plastik dan kontaminan organik juga dapat menyebabkan konsentrasi COD berkurang.

Konsentrasi COD inlet terendah terjadi pada hari pertama, yaitu sebesar 75.84 mg/L, sedangkan konsentrasi COD tertinggi terjadi pada hari ke-29, yaitu sebesar 208 mg/L. Fluktuasi konsentrasi COD tidak hanya terjadi pada titik inlet,

akan tetapi terjadi pula pada titik outlet. Rata-rata konsentrasi COD di outlet ialah sebesar 88.512 mg/L. Konsentrasi COD terendah terjadi pada hari ke-7, yaitu sebesar 24 mg/L, sedangkan konsentrasi tertinggi terjadi pada hari ke-29, yaitu sebesar 152 mg/L.

Dari grafik efisiensi removal diatas, dapat diketahui bahwa persentase removal mengalami fluktuasi pada hari pertama sampai hari ke-4. Pada hari ke-5 sampai ke-27 persentase removalnya mengalami penurunan dari hari ke hari dan terjadi kenaikan lagi pada hari ke-29. Akan tetapi secara garis besar, grafik tersebut menggambarkan suatu *trend* yang menunjukkan adanya kecenderungan penurunan efisiensi removal dari hari ke hari. Penurunan yang cukup signifikan terjadi pada hari ke-11. Pada hari ke-11 sampai ke-21 tingkat efisiensi removalnya cukup kecil, rata-ratanya hanya mencapai 31.93 %, dan pada hari ke-22 sampai ke-27 tingkat efisiensinya menjadi sangat kecil, rata-ratanya hanya mencapai 9.33 %. Kecilnya tingkat efisiensi removal yang terjadi mulai hari ke-11 sampai ke-27 mengindikasikan bahwa media-media yang terdapat dalam reaktor sudah mengalami kejenuhan (*clogging*). Uraian mengenai penyebab terjadinya *clogging* serta tanda-tandanya akan dijelaskan pada subBab berikutnya.

Berdasarkan Keputusan KepMenLH 112/2003 tentang pedoman penetapan Baku Mutu Limbah Domestik, untuk parameter BOD batas maksimum yang diperbolehkan tidak boleh dari 100 mg/L, sedangkan perbandingan antara BOD/COD adalah 0,4-0,6 (Metode Penelitian Air) maka untuk parameter COD batas maksimum yang diperbolehkan tidak boleh lebih dari 200 mg/l (BOD/COD=0,5). Dengan melihat hasil pengukuran konsentrasi COD diinlet dan di outlet, diketahui bahwa reaktor *Aerokarbonbiofilter* telah mampu memberikan suatu penurunan terhadap konsentrasi COD secara efektif. Meskipun sebenarnya konsentrasi COD awal sendiri sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

#### 4.2 Analisa Statistik

Data hasil penelitian menggunakan reaktor *Aerokarbonbiofilter* (Tabel 4.1) diujikan secara statistik dengan metode Uji T-Test Berpasangan (*Paired Sample T-Test*). Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi perbedaan

penurunan yang signifikan atau tidak terhadap konsentrasi COD pada titik inlet dan outlet (sebelum dan sesudah mengalami pengolahan).

#### 4.2.1 Hipotesis

$H_0$  = Kedua rata-rata populasi adalah identik (rata-rata konsentrasi COD sebelum dan sesudah mengalami pengolahan adalah sama/tidak berbeda secara nyata).

$H_1$  = Kedua rata-rata populasi adalah tidak identik (rata-rata konsentrasi COD sebelum dan sesudah mengalami pengolahan adalah tidak sama / berbeda secara nyata).

#### 4.2.2 Pengambilan Keputusan

Pengambilan keputusan pada uji statistik ini diambil berdasarkan nilai probabilitasnya,

- Jika probabilitas  $> 0.05$ , maka  $H_0$  diterima
- Jika probabilitas  $< 0.05$ , maka  $H_0$  ditolak

Dengan tingkat keyakinan atau *Confidence Interval* ( $\alpha = 0.05$ ), berikut ialah hasil output dari uji *T-paired* (lihat Lampiran).

1. Pada output bagian pertama terlihat ringkasan statistik dari kedua sampel. Untuk konsentrasi COD sebelum mengalami pengolahan (pada titik inlet), konsentrasi rata-ratanya 141.5467 mg/L dan setelah mengalami pengolahan konsentrasi rata-ratanya 88.5120 mg/L.
2. Output bagian kedua merupakan hasil korelasi antara kedua variabel, yang menghasilkan angka 0.641 dengan nilai probabilitas jauh dibawah 0.05 (lihat nilai signifikansi output yang 0.010). Hal ini menyatakan bahwa korelasi antara konsentrasi COD sebelum dan sesudah mengalami pengolahan adalah sangat erat dan benar-benar berhubungan secara nyata.
3. Pada output bagian ketiga dapat diketahui bahwa nilai  $t$  hitung yang diperoleh ialah sebesar 6.770 dengan probabilitas 0.000. Oleh karena probabilitas  $< 0.05$ , maka  $H_0$  ditolak, atau konsentrasi COD sebelum dan sesudah pengolahan tidak sama/berbeda secara nyata.

Berdasarkan hasil uji statistik diatas, dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa terjadi penurunan konsentrasi COD yang cukup efektif setelah mengalami proses pengolahan menggunakan reaktor *Aerokarbinbiofilter*. Dengan kata lain, reaktor *Aerokarbinbiofilter* efektif dalam menurunkan konsentrasi COD secara nyata.

#### **4.3 Pembahasan Hasil Penelitian**

##### **4.3.1 Proses Aerasi**

Pada penelitian ini menggunakan teknik aerasi *Tray Aeration* yang tersusun atas empat *tray*. Pada tiap *tray* terdapat lubang-lubang untuk memperluas permukaan air sehingga oksigen yang terlarut diharapkan akan lebih banyak. Berdasarkan sifat operasinya aerasi jenis ini digolongkan kedalam *Gravity Aeration*. Operasi aerasi dengan sistem ini, dilakukan dengan memompa air pada ketinggian tertentu kemudian dilepaskan pada titik pancaran pada bagian paling atas dari alat. Suhu udara dan kecepatan angin sangat berpengaruh pada laju aerasi. Waktu kontak ditentukan oleh tinggi jatuhan dan kapasitas aliran air yang direncanakan (Masduqi, A dan Agus S, 2002).

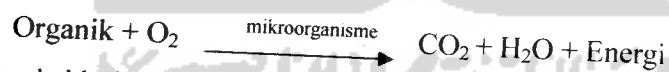
Aerasi didefinisikan sebagai perpindahan gas dari fase gas ke fase cair. Aerasi melibatkan adanya kontak antara udara atau gas lain dengan air yang menyebabkan berpindahnya suatu senyawa dari fase gas ke fase cair. Perpindahan massa zat dari fase gas ke fase cair atau sebaliknya (absorpsi-desorpsi), terjadi bila ada kontak antar permukaan cairan dengan gas atau udara. Mekanisme ini terjadi secara difusi. Gaya penggerak perpindahan massa dari udara ke dalam air atau sebaliknya dikendalikan oleh perbedaan konsentrasi zat dalam larutan dan keluaran gas pada kondisi tertentu (Masduqi, A dan Agus S, 2002).

Aplikasi utama proses aerasi ialah untuk mensuplai oksigen pada pengolahan limbah secara biologis (Droste, 1997). Sedangkan menurut (Masduqi, A dan Agus S, 2002) fungsi utama aerasi dalam pengolahan air limbah adalah melarutkan oksigen kedalam air untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air.

Pada penelitian ini, air limbah terlebih dahulu ditampung pada bak penampung. Kemudian dipompa keatas menuju bak equalisasi, dan dialirkan menggunakan *spray*. Dari *spray* limbah akan jatuh pada *tray aerator* yang tersusun bertingkat. Tujuan penggunaan *spray* ialah agar limbah dapat jatuh secara merata pada seluruh permukaan *tray*, sehingga turut membantu dalam optimalisasi proses aerasi pada zona *tray* tersebut. Selain itu, butiran-butiran air yang kecil yang dihasilkan dari *spray* ini dapat memberikan luas kontak yang lebih besar dengan udara.

COD menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimia, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sulit didegradasi secara biologis (*nonbiodegradable*) menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (Boyd, dalam Effendi, H, 2003). Sedangkan menurut Metcalf and Eddy (2003), COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia.

Pada prinsipnya, dengan adanya proses aerasi ini dapat menyebabkan kandungan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) pada air limbah meningkat. *Dissolved Oxygen* ini digunakan untuk mengoksidasi senyawa-senyawa organik yang ada pada air limbah dan menguraikannya menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ . Menurut Fardiaz (1976), pada reaksi oksigen ini hampir semua zat yaitu sekitar 85% dapat teroksidasi menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dalam suasana asam dengan reaksi sebagai berikut;



Reaksi oksidasi kimia tersebut menyebabkan jumlah senyawa organik yang terkandung dalam limbah menjadi turun. Turunnya jumlah senyawa organik, secara langsung dapat menyebabkan turunnya nilai COD pada air limbah. Semakin banyak suplai oksigen yang masuk pada air limbah, semakin banyak pula kandungan *Dissolved Oxygen*nya. Hal ini menyebabkan jumlah senyawa organik semakin berkurang, dan secara langsung berdampak pada semakin turunnya nilai COD.

Adanya penurunan tingkat efisiensi removal reaktor yang terjadi terus menerus hingga hari ke-27, salah satunya ialah disebabkan karena terjadinya penyumbatan pada lubang-lubang *spray*. Ini dibuktikan dengan adanya endapan-endapan yang menutupi sebagian ruang dari lubang-lubang *spray* tersebut. Berkurangnya volume ruang lubang *spray* tersebut menyebabkan debit air yang keluar dari lubang *spray* berkurang, karena terhalang oleh endapan-endapan tersebut. Hal ini menyebabkan kurangnya kontak antara air yang keluar dari *spray* dengan permukaan *tray*. Serta air jatuh tidak merata mengenai seluruh permukaan *tray*, hanya sebagian dari *tray* yang terlewati. Sehingga berdampak pada kurang optimalnya proses aerasi.

Pada akhir penelitian, terjadi kenaikan lagi terhadap nilai efisiensi removal reaktor. Hal ini disebabkan karena faktor lingkungan sekitar, seperti temperatur, sinar matahari dan angin. Seperti yang dijelaskan oleh Hikmawati (2006) bahwa, terjadinya perubahan turun naiknya konsentrasi kontaminan sangat dipengaruhi oleh oksigen terlarut yang ada didalam air. Temperatur juga berpengaruh dalam proses ini, dimana dengan temperatur yang cukup tinggi maka proses oksidasi akan berlangsung dengan cepat. Temperatur sangat dipengaruhi oleh adanya penyinaran matahari selama berlangsungnya penelitian ini. Untuk faktor lain yang berpengaruh dimungkinkan karena adanya tiupan angin yang akan berpengaruh pada jumlah oksigen terlarut yang akan masuk kedalam air. Kemungkinan pada akhir penelitian ini, temperatur, sinar matahari yang masuk, serta tiupan anginnya cukup besar sehingga turut membantu dalam proses removal kontaminan organik yang ada pada limbah.

#### 4.3.2 Proses Adsorpsi Karbon Aktif dan Zeolit

Pada penelitian menggunakan reaktor *Aerokarbonbiofilter* ini terdapat proses adsorpsi, dengan karbon aktif dan zeolit sebagai adsorbannya. Karbon aktif dan zeolit biasa digunakan sebagai adsorban dalam pengolahan air limbah karena keduanya memiliki pori atau permukaan yang bercelah. Zeolit merupakan senyawa alumina silikat tetrahidrat dengan struktur sel berpori dan mempunyai



sisi aktif bermuatan negatif yang dapat menyebabkan zeolit memiliki kemampuan sebagai penukar ion, adsorban, dan katalis.

Fungsi utama adsorpsi karbon ialah untuk menghilangkan senyawa organik, senyawa anorganik seperti nitrogen, sulfida, dan logam berat. Aplikasi lainnya ialah untuk menghilangkan senyawa yang dapat menyebabkan rasa dan bau pada air limbah.

(Metcalf & Eddy, 2003).

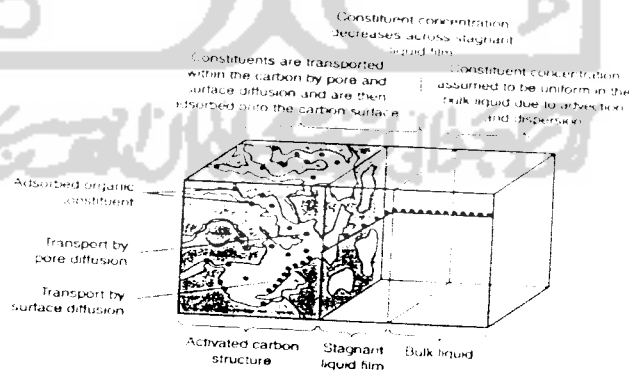
Pada proses adsorpsi ini, kontaminan (senyawa organik) yang ada pada air limbah terserap (teradsorpsi) oleh karbon aktif dan zeolit. Senyawa organik ini akan berpindah ke permukaan karbon aktif dan zeolit (adsorban). Sebagaimana yang disebutkan oleh Metcalf and Eddy mengenai definisi adsorpsi; ialah proses perpindahan massa dimana konstituen pada fase liquid dipindahkan pada fase solid.

Proses adsorpsi terdiri dari 2 proses, yaitu proses adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika ialah suatu mekanisme dimana kontaminan organik akan terremoval dari air limbah. Melalui gaya Van Der Waal's suatu kontaminan akan terjebak didalam, dan tertahan oleh struktur pori media adsorben. Mekanisme ini sangat efektif untuk menghilangkan kontaminan organik. Sedangkan adsorpsi kimia ialah suatu mekanisme dimana kontaminan yang lebih kecil dan lebih ringan (yang sukar teradsorpsi secara fisik) dapat dihilangkan dari air limbah. Media adsorban terisi secara kimia, maksudnya ialah media diberi bahan-bahan pengisi kimia tertentu (*Chemical Impregnant*) yang terendapkan pada permukaan dan struktur pori media. *Chemical Impregnant* ini bereaksi dengan kontaminan pada fase gas dan mengikatnya pada permukaan media. Contohnya ialah penggunaan bahan pengisi berupa asam (*Acid Impregnant*) untuk menghilangkan amonia dan basa lainnya dari air limbah (Donaldson Chemical Engineering, 2005).

Senyawa organik yang mengalir bersama aliran air limbah akan teradsorpsi mengisi pori-pori dan menempel pada permukaan sorpsi karbon aktif dan zeolit. Melalui pori ini, molekul lain yang memiliki ukuran lebih kecil dari ukuran porinya dapat terserap. Mayoritas molekul teradsorpsi dalam pori pada

bagian dalam partikel karbon dan hanya sebagian kecil molekul teradsorpsi pada permukaan luar partikel karbon. Perpindahan zat terlarut dari larutan ke adsorban berjalan terus sampai konsentrasi zat terlarut yang tersisa pada larutan sama dengan konsentrasi zat terlarut yang teradsorpsi oleh adsorben (Benefield, 1982). Adanya mekanisme adsorpsi kontaminan (senyawa organik) tersebut, menyebabkan terjadinya penurunan pada nilai COD pada air limbah.

Proses adsorpsi dibagi kedalam 4 langkah (seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.3), yaitu: (1) *Bulk Solution Transport* (2) *Film Diffusion Transport* (3) *Pore Transport* (4) *Adsorption (Sorption)*. *Bulk Solution Transport* meliputi pergerakan material organik yang teradsorpsi dari limbah menuju *fixed film* yang terdapat disekitar adsorban, dengan cara adveksi dan dispersi. *Film Diffusion Transport* meliputi perpindahan material organik secara difusi melalui *stagnant film* menuju pori-pori adsorban. *Pore Transport* meliputi perpindahan material teradsorpsi melalui pori dengan cara kombinasi antara difusi molekular dalam pori dan difusi pada permukaan adsorban. Sedangkan *Adsorption (Sorption)* meliputi penempelan (*attachment*) material teradsorpsi terhadap adsorban pada permukaan adsorpsi yang tersedia (Snoeyink and Summer, 1991). Adsorpsi dapat terjadi pada permukaan terluar adsorban dan pada makropori, mesopori, mikropori dan submikropori, akan tetapi luas permukaan makro dan mesopori lebih kecil jika dibandingkan dengan luas permukaan mikro dan submikropori dan jumlah material yang teradsorpsinya sangat sedikit (Crittenden, 1999).



Sumber: Crittenden, 1999 dalam Metcalf and Eddy, 2003).

Gambar 4.3 Skema Proses Adsorpsi Kontaminan Pada Air Limbah.

11

Karbon aktif dan zeolit memiliki kemampuan dalam mengadsorpsi kontaminan, dikarenakan kedua adsorban ini memiliki celah atau pori pada struktur partikelnya. Pori-pori ini dihasilkan dari proses aktivasi. Sebelum kedua adsorban ini digunakan, terlebih dahulu dilakukan proses aktivasi dengan cara merendam karbon aktif pada larutan garam dan memanaskannya pada oven. Sedangkan untuk zeolit hanya dipanaskan dalam oven saja, tidak dilakukan perendaman pada air garam. Melalui proses inilah maka terbentuk celah atau pori pada kedua adsorben tersebut. Beberapa material *noncarbonaceous* dan bahan organik volatil juga dapat terremoval dari proses ini (Metcalf & Eddy, 2003). Banyaknya jumlah pori pada media adsorben turut menentukan kapasitas adsorbnya. Semakin banyak jumlah pori pada media adsorben, semakin besar kapasitas adsorbsinya. Dengan demikian, semakin banyak pula kontaminan yang teradsorpsi dan semakin efektif dalam menurunkan nilai COD pada air limbah.

Terjadinya kecenderungan penurunan nilai efisiensi removal yang terjadi terus menerus hingga hari ke-27, disebabkan karena media karbon aktif dan zeolit sudah mengalami kejenuhan (*clogging*). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa, telah terjadi sumbatan pada lubang-lubang *spray* berakibat pada kurang optimalnya pemerataan air limbah yang jatuh pada *tray*. Penyebaran air limbah yang tidak merata ini membuat hanya sebagian dari media karbon aktif yang terus-menerus dialiri oleh air limbah. Hal ini menyebabkan media karbon aktif yang terus-menerus dialiri oleh air limbah cepat jenuh (*clogging*). *Clogging* terjadi ketika jumlah molekul terlarut pada limbah sama dengan molekul terlarut yang terserap pada adsorban (karbon aktif). Banyaknya molekul yang terakumulasi pada partikel karbon membuat pori karbon tersumbat serta tidak mampu lagi menyerap molekul lain yang terus terbawa bersama aliran limbah. Penurunan tingkat adsorpsi molekul disebabkan karena terjadinya penyempitan pori pada permukaan adsorben atau dapat dikatakan diameter pori adsorban semakin kecil. Semakin kecilnya diameter pori, akan mengakibatkan molekul-molekul yang lebih kecil dari pori tersebut akan lolos. Molekul-molekul yang lolos ini akan teradsorpsi pada media zeolit. Semakin banyak molekul yang lolos dari proses adsorpsi karbon aktif menyebabkan beban zeolit dalam mengadsorpsi

molekul-molekul tersebut semakin besar. Selanjutnya hal ini akan menyebabkan media zeolit juga cepat jenuh.

Penurunan tingkat adsorpsi juga disebabkan karena kondisi dari limbah itu sendiri. Pekat atau tidaknya limbah yang digunakan berpengaruh pada kemampuan adsorpsi suatu adsorban. Bila limbah terlalu encer maka jarak antara molekul-molekul semakin besar sehingga kontak antara bahan penyerap dengan bahan yang akan diserap kurang baik. Pada jarak tertentu antara permukaan penyerap dan bahan yang diserap, penyerap tidak mampu menarik bahan yang akan diserap, sehingga penyerapan tidak terjadi. Sebaliknya jika limbah terlalu pekat, maka jarak antara partikel-partikel bahan yang akan diserap terlalu dekat, sehingga gaya tarik menarik antara penyerap dan bahan yang akan diserap cukup besar dan terjadi penarikan serentak terhadap bahan yang akan diserap, sehingga terjadi penarikan secara bersama-sama, hal ini dapat menutupi pori media adsorban, dan menyebabkan efisiensi penyerapannya kecil (Hikmawati, 2006).

Pada akhir penelitian, terjadi kenaikan nilai efisiensi removal reaktor dari sebelumnya. Hal ini kemungkinan disebabkan karena pada saat itu limbah dapat mengalir secara merata pada permukaan karbon aktif dan zeolit seperti semula. Sehingga permukaan karbon aktif dan zeolit yang jarang dialiri (dilewati) limbah mampu mengadsorpsi senyawa organik dalam jumlah yang lebih banyak dari sebelumnya.

#### **4.3.3 Proses Biologis**

Pengolahan limbah secara biologis efektif dalam menghilangkan polutan dalam air limbah, yang meliputi zat organik terlarut dan tidak terlarut apabila tersedia lingkungan yang baik bagi kehidupan mikroorganisme yang berperan pada proses pendegradasian polutan (Benefield, 1980).

Pengolahan biologis merupakan suatu proses alami. Bahan organik yang ada pada air akan terurai secara alami akibat adanya mikroorganisme pada badan air penerima. Pengolahan biologis didesain untuk mempercepat proses penguraian secara alami dan menetralkan limbah sebelum akhirnya dibuang pada badan air penerima (Droste, 1997).

Secara keseluruhan, tujuan pengolahan limbah secara biologis pada limbah domestik ialah (1) mengubah (mengoksidasi) unsur terlarut dan partikel *biodegradable* kedalam bentuk akhir yang cocok (2) menangkap dan menggabungkan padatan tersuspensi dan padatan koloid yang sulit diendapkan pada lapisan biofilm (3) mengubah atau menghilangkan nutrien, seperti nitrogen dan fosfor (4) pada beberapa kasus, menghilangkan unsur dan senyawa trace organik spesifik (Metcalf & Eddy, 2003).

Pada penelitian ini, menggunakan sistem pengolahan biologis dengan tipe pertumbuhan bakteri melekat (*Attached Growth*) yang dilakukan pada kondisi aerob. Proses pengolahan dengan pertumbuhan melekat (*Attached Growth*) ialah suatu proses pengolahan biologis dimana mikroorganisme yang bertugas menguraikan bahan organik atau unsur lainnya yang ada pada air limbah menjadi gas dan jaringan sel tumbuh melekat pada media inert, seperti batu, keramik tau material keramik (Metcalf & Eddy, 2003).

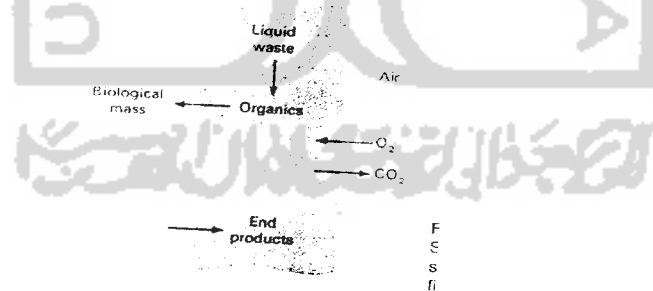
Sebelum reaktor digunakan untuk mengolah limbah, terlebih dahulu dilakukan *seeding* (penumbuhan bakteri) pada reaktor dengan menggunakan media pertumbuhan berupa *styrofoam*. Proses *seeding* dilakukan selama 40 hari, dan suplai oksigen selama proses ini diperoleh dari *bubble aerator*. Adapun tujuan *seeding* ini ialah untuk memaksimalkan jumlah atau populasi bakteri yang tumbuh melekat pada media *styrofoam*. Populasi bakteri ini yang akan bertugas mendegradasi kandungan zat organik pada air limbah. Semakin banyak populasi bakteri, semakin banyak pula kandungan zat organik yang terdegradasi. Sehingga proses removal COD-nya pun lebih maksimal.

Ketika kontaminan yang mengandung senyawa organik kontak dengan organisme, material organik akan dihilangkan / didegradasi oleh mikroorganisme melalui proses metabolik. Senyawa organik dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk membentuk sel baru atau menghasilkan energi yang dibutuhkan organisme untuk sistem kehidupannya. Menurut Tabak et. Al (1981); Kincannon dan Stover (1981); Kincannon, Stover dan Chung (1981); dan Kincannon et. Al (1981;1982), banyak senyawa organik toksik dapat didegradasi oleh organisme jika lingkungannya sesuai (Canter, W and R. C. Knox, 1985).

Mekanisme penurunan nilai COD pada proses biologis ini dijelaskan sebagai berikut. Bahan-bahan organik yang terdapat pada air limbah didegradasi oleh populasi mikroorganisme yang melekat pada media *styrofoam*. Bahan-bahan organik yang berasal dari air limbah teradsorpsi pada lapisan biologis atau *slime layer* atau *biofilm*. Perpindahan bahan-bahan organik, nutrien, elektron dan akseptor dari atau menuju mikroorganisme dalam *slime layer* terjadi dengan cara difusi molekuler. Pada lapisan terluar dari *slime layer* (0.1-0.2 mm) bahan-bahan organik didegradasi oleh mikroorganisme aerobik. Proses removal dan stabilisasi bahan organik terlarut dan partikel karbon pada air limbah dilakukan secara biologis menggunakan berbagai macam mikroorganisme, terutama bakteri. Mikroorganisme digunakan untuk mengoksidasi (merubah) bahan organik terlarut dan partikel karbon menjadi produk akhir yang sederhana dan biomassa tambahan, seperti yang ditampilkan pada persamaan berikut;

Material organik + O<sub>2</sub> + NH<sub>3</sub> + PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>  $\xrightarrow{\text{mikroorganisme}}$  sel baru + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

Oksigen, amonia, dan pospat pada persamaan diatas digunakan untuk menggambarkan nutrien yang dibutuhkan untuk mengubah bahan organik menjadi produk akhir yang sederhana (yaitu CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O). Tanda panah pada persamaan diatas digunakan untuk menunjukkan bahwa mikroorganisme dibutuhkan untuk melakukan proses oksidasi. Istilah "sel baru" digunakan untuk menggambarkan biomassa yang diproduksi sebagai hasil dari proses oksidasi bahan organik. Proses penguraian tersebut menyebabkan nilai COD pada air limbah turun.



Sumber: Benefield, 1980.

Gambar 4.4 Skema *Slime Layer* Pada Pengolahan Biologis *Attached Growth*

Seiring dengan pertumbuhan mikroorganisme, ketebalan *slime layer* bertambah, dan difusi oksigen dikonsumsi sebelum mencapai lapisan *slime layer* yang terdalam. Oleh karena itu, kondisi anaerobik terbentuk disekitar permukaan media *seeding*. Ketika ketebalan dari *slime layer* terus meningkat, bahan organik yang teradsorpsi dimetabolisme sebelum bahan organik tersebut mencapai mikroorganisme yang berada didekat permukaan media. Akibatnya tidak tersedia sumber organik eksternal, mikroorganisme tersebut memasuki fase *endogenous phase* atau *death phase* dan kehilangan kemampuan untuk melekat pada permukaan media *seeding*. Pertumbuhan mikroorganisme tersebut mengikuti pola kurva pertumbuhan yang terdiri dari; *log phase*, *exponensial phase*, *stationary phase*, dan selanjutnya *death phase*. Kemudian aliran limbah yang terus mengalir akan mengikis lapisan *slime layer* dan akan terbentuk lapisan yang baru. Fenomena kehilangan lapisan ini disebut *sloughing* (Metcalf & Eddy, 2003).

Lingkungan fisik tempat hidup mikroorganisme turut mempengaruhi tingkat proses pertumbuhannya. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan efisiensi pengolahan, lingkungan yang cocok harus tersedia dalam proses pengolahan secara biologis. Dalam hal ini perlu diperhatikan temperatur, kebutuhan oksigen dan pH.

#### 1. Pengaruh Temperatur

Seluruh proses pertumbuhan mikroorganisme tergantung pada reaksi kimia, dan tingkat reaksi tersebut dipengaruhi oleh temperatur. Oleh karena itu, tingkat pertumbuhan mikroba dan jumlah total pertumbuhan mikroba dapat dipengaruhi oleh temperatur. Dengan adanya kenaikan temperatur yang lebih tinggi menyebabkan komponen sel yang sensitif terhadap panas seperti enzim tidak dapat dipakai dan tingkat pertumbuhan menurun secara pesat.

#### 2. Kebutuhan Oksigen

Organisme *obligat aerob* tidak dapat tumbuh tanpa adanya oksigen, dan organisme *obligat anaerob* teracuni oleh adanya oksigen. Sebagian kecil mikroorganisme tumbuh optimal pada konsentrasi oksigen sangat rendah. Mikroorganisme ini disebut *microaerophiles*.

#### 3. Pengaruh pH

82

Bagi kebanyakan bakteri dan bagi kebanyakan proses pengolahan air limbah, pH-nya berkisar antara 4 dan 9. pH optimum bagi pertumbuhan bakteri pada umumnya berkisar antara 6.5 dan 7.5. Wilkinson (1975) menyatakan bahwa bakteri dapat tumbuh dengan baik pada pH sedikit basa, sedangkan alga dan jamur tumbuh dengan baik pada pH sedikit asam (Benefield, 1980).

Pada akhir penelitian, terjadi kenaikan nilai efisiensi removal reaktor dari sebelumnya. Hal ini disebabkan karena pada saat itu telah terbentuk lapisan *slime layer* baru, atau dengan kata lain telah terjadi regenerasi mikroorganisme. Seperti yang telah dijelaskan diatas, pertumbuhan mikroorganisme mengikuti suatu pola yang terdiri dari *log phase*, *exponensial phase*, *stationary phase*, dan selanjutnya *death phase*. Adanya mikroorganisme baru yang tumbuh menyebabkan proses removal senyawa organik semakin efektif.

#### 4.3.4 Proses Filtrasi

Filtrasi adalah suatu proses pemisahan zat padat dari fluida (cair maupun gas) yang membawanya menggunakan suatu medium berpori atau bahan berpori lain untuk menghilangkan sebanyak mungkin zat padat halus yang tersuspensi dan koloid (Masduqi, A dan Agus S, 2002).

Pada penelitian ini digunakan filtrasi jenis *single media* dengan media filter berupa pasir kuarsa. Media ini paling sering digunakan dibandingkan dengan media lain yang berupa pecahan antrasit, magnetite, garnet, dan media sintetik. Ukuran dari media dan pori-pori merupakan karakteristik penting yang mempengaruhi tingkat removal. Tingkat removal pada proses filtrasi sangat bergantung pada luas permukaan dari partikel media.

Pada pengolahan air limbah, filtrasi *single media* lebih sering digunakan daripada filtrasi *dual media*. Proses removal padatan (solid) pada filtrasi *single media* kebanyakan terjadi pada lapisan filter bagian atas. Media filter pada bagian paling bawah tidak digunakan secara efektif (Droste, 1997).

Proses filtrasi pada penelitian ini merupakan tahapan terakhir dari seluruh mekanisme pengolahan limbah domestik dengan menggunakan reaktor



*Aerokarbonbiofilter*. Filtrasi dapat berfungsi secara efektif dalam menurunkan tingkat kekeruhan pada air, menghilangkan bakteri dan mikroba lainnya.

Pada proses filtrasi, penurunan nilai COD disebabkan karena adanya proses removal padatan organik dan anorganik baik yang tersuspensi maupun koloid pada air limbah. Pada saat limbah melewati *filter bed*, bahan organik yang ada pada air limbah dihilangkan melalui beberapa mekanisme removal yang dijelaskan sebagai berikut;

1. *Straining*, terdiri dari;
  - a. *Mechanical*  
Partikel yang berukuran lebih besar dari pori media filter akan tersaring secara mekanis.
  - b. *Chance Contact*  
Partikel yang berukuran lebih kecil dari pori media filter akan terjebak pada *filter bed*.
2. *Sedimentation*  
Partikel mengendap pada media filter dalam *filter bed*.
3. *Impaction*  
Partikel yang berat bergerak tidak mengikuti aliran air atau *stream line*.
4. *Interception*  
Beberapa partikel yang bergerak disepanjang *stream line* akan terremoval ketika terjadi kontak dengan permukaan media filter.
5. *Adhesion*  
Partikel melekat pada permukaan media filter pada saat melewatinya. Hal ini disebabkan karena adanya tekanan dari aliran air, beberapa partikel akan terlepas sebelum benar-benar melekat dengan kuat pada permukaan media filter. Partikel-partikel tersebut terdorong menuju lapisan *filter bed* yang lebih dalam.
6. *Flocculation*  
Flokulasi terjadi didalam celah-celah media filter. Partikel dengan ukuran lebih besar akan terbentuk oleh adanya gradien kecepatan.
7. *Chemical and Physical Adsorption*

Proses adsorpsi fisik maupun kimia terjadi pada saat partikel-partikel pada air limbah kontak dengan permukaan media filter. Proses adsorpsi ini berfungsi agar partikel-partikel tersebut tertahan pada permukaan media filter.

#### 8. *Biological Growth*

Pertumbuhan biologis pada media filter dapat menyebabkan volume pori media filter berkurang dan dapat menyebabkan tingkat removal partikel semakin tinggi. Pertumbuhan biologis pada filter dapat berpengaruh secara signifikan terhadap performa dari media filter serta mempengaruhi mekanisme removal yang mendominasi (Metcalf & Eddy, 2003). Keseluruhan mekanisme proses removal diatas diilustrasikan pada Gambar 2.9 (lihat Tinjauan Pustaka).

Terjadinya kecenderungan penurunan nilai efisiensi removal yang terjadi terus menerus hingga hari ke-27 disebabkan karena adanya penyempitan pori-pori media filter (pasir). Hal ini menyebabkan pasir kurang efektif dan pada akhirnya tidak mampu lagi menyaring bahan-bahan organik yang ada pada air limbah. Diperkirakan media filter ini lebih cepat mengalami kejenuhan atau *clogging* dibandingkan dengan media-media lainnya. Hal ini disebabkan karena sebelum kegiatan *running* dimulai, media filter (pasir) telah terlebih dahulu ikut digunakan dalam kegiatan *seeding*. Pasir yang direndam selama kurang lebih 40 hari pada proses *seeding* menyebabkan media ini cepat jenuh.

Secara keseluruhan, proses yang dominan dalam mekanisme removal COD ini meliputi proses aerasi, adsorpsi karbon aktif dan zeolit, dan proses biologis. Sedangkan untuk proses filtrasi dengan media pasir tidak terlalu efektif dalam menurunkan konsentrasi COD pada air limbah. Hal ini diungkapkan oleh Ahmad Nur (2006) pada penelitian yang serupa.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Reaktor *Aerokarbonbiofilter* yang terdiri atas proses aerasi, adsorpsi karbon aktif dan zeolit, aktivitas biologis, dan filtrasi media pasir, mampu menurunkan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air limbah domestik. Besarnya rata-rata persentase penurunan konsentrasi COD ini ialah 37.50 %. Persentase penurunan konsentrasi COD terbesar ialah 78.57 %, dan persentase penurunan konsentrasi COD terkecil adalah 7.14 %. Berdasarkan uji statistik terhadap data konsentrasi COD di inlet dan outlet, diketahui bahwa konsentrasi COD di inlet dan outlet berbeda secara nyata. Dengan kata lain, reaktor *Aerokarbonbiofilter* cukup efektif dalam menurunkan konsentrasi COD pada limbah domestik.
2. Reaktor *Aerokarbonbiofilter* mulai mengalami kejenuhan (clogging) pada hari ke-11. Hal ini dibuktikan dengan terus menurunnya nilai efisiensi penurunan COD dari hari ke hari.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan dan kesimpulan di atas maka perlu diajukan beberapa saran sebagai berikut :

1. Bagi peneliti selanjutnya, dapat menggunakan media *seeding* jenis lain. Pada saat memilih media *seeding*, pilihlah media yang mempunyai permukaan kasar, tidak licin atau halus karena hal ini akan menyulitkan mikroba untuk tumbuh dan melekat pada media.
2. Bagi peneliti selanjutnya, perlu menggunakan media pasir dengan diameter lebih kecil. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efektifitas penyaringan.

3. Perlu dilakukan pengukuran terhadap konsentrasi parameter uji pada inlet dan outlet masing-masing proses (yaitu outlet proses aerasi, adsorpsi, dan biofiltrasi). Sehingga dapat diketahui efektifitas dan waktu jenuh dari masing-masing proses dalam menurunkan konsentrasi parameter yang akan uji.



## DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts G., dan S.S Santika., 1984, *Metode Penelitian Air*, Usaha Nasional, Surabaya.
- Anonim, 1991, *Kumpulan SNI Kualitas Air*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim, 2000, *Benarkah Kemasan "Styrofoam" Karsinogenik?*,  
<http://www.kompas.com/kompas-cetak/0006/14/ipetek/bena07.htm>  
(diakses 2 Juli 2007).
- Anonim, 2001, *Residu Styrofoam Semakin Berbahaya bagi Kesehatan*,  
<http://www.gizi.net/gayahidup/index.shtml>  
(diakses 2 Juli 2007).
- Anonim, 2006, *Menyulap Sampah Menjadi Nafkah*,  
[http://www.pikiran\\_rakyat.com/cetak/2006/062006/22/99suratpem\\_baca.htm](http://www.pikiran_rakyat.com/cetak/2006/062006/22/99suratpem_baca.htm).  
(diakses 2 Juli 2007).
- Benfield D. L and Judkins, Jr, *Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment*, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Djajadiningrat, A.H, 1992, *Pengendalian Pencemaran Limbah Industri*, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITB.
- Droste, Ronald L, 1997, *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, John Wiley and Sons, Inc.

- Effendi, H, 1995, *Telaah Kualitas Air*, Kanisius, Yogyakarta.
- Fardiaz, S, 1992, *Polusi Air dan Udara*, Kanisius, Yogyakarta.
- Jenie, B. S. L, dan Winiati, P. R., 1995, *Penanganan Limbah Industri Pangan*, Kanisius, Yogyakarta.
- Las. T, 1991, *Zeolit Untuk Industri*, Proceed Seminar/Kolokium Lembaga Ilmu Dasar ITI, Institut Teknologi Indonesia, Serpong.
- Mahida U.N, 1984, *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah industri*, Rajawali, Jakarta.
- Mangunwidjaja, D. dan Suryani, A, 1994, *Teknologi Bioproses*, Swadaya, Jakarta
- Mara, D, 1976, *Sewage Treatment in Hot Climate*, Jhon Wiley and Sons Chichester .
- Masduqi, A dan Agus S, 2002, *Satuan Operasi Untuk Pengolahan Air*, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITS.
- Metcalf and Eddy, 2003, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, New York.
- Nur, A, 2006, *Penurunan Kadar COD, Warna, dan Kekeruhan Pada Limbah Cair Industri Batik Dengan Menggunakan Aerokarbonfilter*, Skripsi, Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- Prescott, L. M., Harley, J. P., and Klein, D. A, 1999, *Microbiology*, McGraw-Hill Companies, USA.

- Reynolds, Tom D., 1982. *Unit Operations and Process in Environmental Engineering*, Texas A&M University, Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, California, USA.
- Sawyer, C.N, and McCarty, P.L, 1978, *Chemistry for Environmental Engineering*. 3<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill Book Company, Tokyo.
- Slamet, J,S., 1994, *Kesehatan Lingkungan*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sugiharto, 1987, *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*, Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Tchobanoglous, G, 1991, *Waste Water Engineering. Treatment, Disposal, and Reuse*. 3<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, Inc New York.
- Tebbut, T.H.Y, 1970, *Principle of Water Quality Control*. 3<sup>th</sup> Edition, Permagnon Press, Oxford.
- Tinsley, 1979, *Chemical Concept in Pollutant Behavior*, Oregon State University, Carvallis.
- Tjokrokusumo, K.R.T., 1995, *Konsep Teknologi Bersih*, STTL, Jogjakarta.
- Wagner, C, 2003, *Evaluation Of Static Density Media Filter For Use In Domestic Waste Water Treatment*, Tesis, Environmental Engineering, Louisiana state University.
- Wardhana, 1995, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Webar, W. M, 1972, *Adsorption in Heterogenes Aqua in System*, Jaour AWWA.

Yulia, N, 2006, *Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) dan E-coli pada Air Limbah Domestik dengan Menggunakan Reaktor Fluidized Bed Media Styrofoam Saat Start Up*, Skripsi, Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.





# LAMPIRAN 1



Tabel Hasil Output Analisa Statistik Dengan Metode Paired Sample T-Test

**Paired Samples Statistics**

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 SEBELUM	141.5467	15	36.7243	9.4822
SESUDAH	88.5120	15	34.7804	8.9803

**Paired Samples Correlations**

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 SEBELUM & SESUDAH	15	.641	.010

**Paired Samples Test**

	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Paired Differences		t	df	Sig. (2-tailed)		
				Mean	Std. Deviation				95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Pair 1 SEBELUM - SESUDAH	53.0347	30.3399	7.8337	36.2330	69.8363	6.770	14	.000		

# LAMPIRAN 2

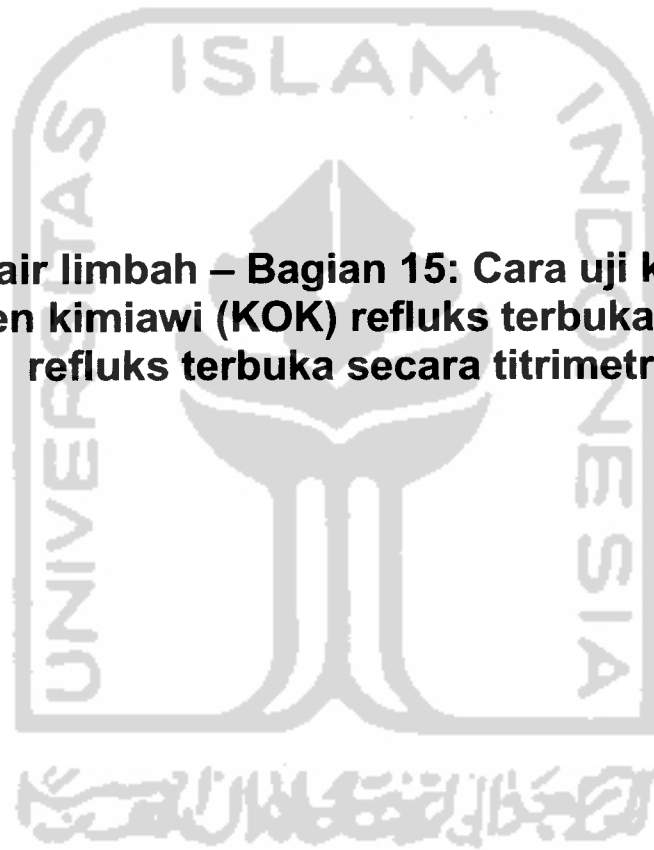
**SNI 06-6989.15-2004**

**Mengenai Cara Uji COD dengan Metode**

**Refluks Terbuka Secara Titrimetri**



**Air dan air limbah – Bagian 15: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) refluks terbuka dengan refluks terbuka secara titrimetri**



## Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata .....	ii
1 Ruang lingkup .....	1
2 Istilah dan definisi.....	1
3 Cara uji.....	1
3.1 Prinsip.....	1
3.2 Bahan .....	1
3.3 Peralatan .....	2
3.4 Persiapan dan pengawetan contoh uji.....	2
3.5 Persiapan pengujian .....	2
3.6 Perhitungan .....	3
4 Jaminan mutu dan pengendalian mutu.....	4
4.1 Jaminan mutu .....	4
4.2 Pengendalian mutu.....	4
5 Rekomendasi.....	4
Lampiran A Pelaporan.....	5
Bibliografi .....	6



## Prakata

Dalam rangka menyeragamkan teknik pengujian kualitas air dan air limbah sebagaimana telah ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air, Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 02 Tahun 1988 tentang Baku Mutu Air dan Nomor 37 Tahun 2003 tentang Metode Analisis Pengujian Kualitas air Permukaan dan Pengambilan Contoh Air Permukaan, maka dibuatlah Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk pengujian parameter-parameter kualitas air dan air limbah sebagaimana yang tercantum didalam Keputusan Menteri tersebut.

Metode ini merupakan hasil kaji ulang dari SNI yang telah kadaluarsa dan menggunakan referensi dari metode standar internasional Standard Methods. Metode ini telah melalui uji coba di laboratorium pengujian dalam rangka validasi dan verifikasi metode serta di konsensuskan oleh Sub Pantek Kualitas Air, Panitia Teknis 207S, Bidang Manajemen Lingkungan dengan para pihak terkait.

Standar ini telah disepakati dan disetujui dalam rapat konsensus dengan peserta rapat yang mewakili produsen, konsumen, ilmuwan, instansi teknis, pemerintah terkait dari pusat maupun daerah pada tanggal 31 Januari 2004 di Serpong, Tangerang – Banten.

Metode ini berjudul *Air dan air limbah – Bagian 15: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) refluks terbuka dengan refluks terbuka secara titrimetri* yang merupakan revisi dari SNI 19-1423-1989 dengan judul *Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi air limbah*.



## Air dan air limbah – Bagian 15: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) refluks terbuka dengan refluks terbuka secara titrimetri

### 1 Ruang lingkup

Metode ini digunakan untuk penentuan kadar kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) dalam air dan air limbah secara refluk terbuka dengan kisaran kadar KOK antara 50 mg/L O<sub>2</sub> sampai dengan 900 mg/L O<sub>2</sub>.

Metode ini tidak berlaku bagi contoh uji air yang mengandung ion klorida lebih besar dari 2000 mg/L

### 2 Istilah dan definisi

#### 2.1

**larutan baku kalsium hidrogen phthalat, HOCC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>COOK (KHP)**

larutan yang dibuat dari kristal KHP, dan mempunyai kadar KOK 500 mg/L O<sub>2</sub>

#### 2.2

**blind sample**

larutan baku dengan kadar tertentu

#### 2.3

**spike matrix**

contoh uji yang diperkaya dengan larutan baku dengan kadar tertentu

#### 2.4

**Certified Reference Material (CRM)**

bahan standar bersertifikat yang tertelusur ke sistem nasional atau internasional

#### 2.5

**Standard Reference Material (SRM)**

bahan standar yang mampu telusur ke sistim nasional atau internasional

### 3 Cara uji

#### 3.1 Prinsip

Zat organik dioksidasi dengan campuran mendidih asam sulfat dan kalium dikromat yang diketahui normalitasnya dalam suatu refluk selama 2 jam. Kelebihan kalium dikromat yang tidak tereduksi, dititrasi dengan larutan ferro ammonium sulfat (FAS).

#### 3.2 Bahan

- a) larutan baku kalium dikromat 0,25 N.  
Larutkan 12,259 g K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (yang telah dikeringkan pada 150°C selama 2 jam) dengan air suling dan tepatkan sampai 1000 mL.
- b) larutan asam sulfat – perak sulfat.  
Tambahkan 5,5 g Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kedalam 1 kg asam sulfat pekat atau 10,12 g Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dalam 1000 mL asam sulfat pekat, aduk dan biarkan 1 hari sampai 2 hari untuk melarutkan.

- c) larutan indikator ferroin.  
Larutkan 1,485 g 1,10 phenanthrolin monohidrat dan 0,695 g  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dalam air suling dan encerkan sampai 100 mL.
- d) larutan ferro ammonium sulfat (FAS) 0,1 N.  
Larutkan 39,2 g  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dalam air suling, tambahkan 20 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat, dinginkan dan tepatkan sampai 1000 mL.  
Bakukan larutan ini dengan larutan baku kalium dikromat 0,25 N.
- e) larutan baku potasium hidrogen phthalat (KHP).  
Larutkan 425 mg KHP (yang telah dihaluskan dan dikeringkan pada  $110^\circ\text{C}$ ), dalam air suling dan tepatkan sampai 1000 mL. Larutan ini mempunyai kadar KOK 500 mg/L  $\text{O}_2$ . Bila disimpan dalam refrigerator dapat digunakan sampai 1 minggu selama tidak ada pertumbuhan mikroba.
- f) asam sulfamat.  
Hanya digunakan jika ada gangguan nitrit, 10 mg asam sulfamat untuk 1 mg nitrit
- g) serbuk merkuri sulfat,  $\text{HgSO}_4$ .

### 3.3 Peralatan

- a) peralatan reflus, yang terdiri dari labu erlenmeyer, pendingin *Liebig* 30 cm;
- b) *hot plate* atau yang setara;
- c) labu ukur 100 mL dan 1000 mL;
- d) buret 25 mL atau 50 mL;
- e) pipet volum 5 mL; 10 mL; 15 mL dan 50 mL;
- f) erlenmeyer 250 mL (labu refluk); dan
- g) timbangan analitik.

### 3.4 Persiapan dan pengawetan contoh uji

- a) Aduk contoh uji hingga homogen dan segera lakukan analisis.
- b) Contoh uji diawetkan dengan menambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sampai pH lebih kecil dari 2,0 dan contoh uji disimpan pada pendingin  $4^\circ\text{C}$  dengan waktu simpan 7 hari.

### 3.5 Prosedur

- a) Pipet 10 mL contoh uji, masukkan kedalam erlenmeyer 250 mL.
- b) Tambahkan 0,2 g serbuk  $\text{HgSO}_4$  dan beberapa batu didih.
- c) Tambahkan 5 mL larutan kalium dikromat,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,25 N.
- d) Tambahkan 15 mL pereaksi asam sulfat – perak sulfat perlahan-lahan sambil didinginkan dalam air pendingin.
- e) Hubungkan dengan pendingin *Liebig* dan didihkan diatas *hot plate* selama 2 jam.
- f) Dinginkan dan cuci bagian dalam dari pendingin dengan air suling hingga volume contoh uji menjadi lebih kurang 70 mL.



- g) Dinginkan sampai temperatur kamar, tambahkan indikator ferroin 2 sampai dengan 3 tetes, titrasi dengan larutan FAS 0,1 N sampai warna merah kecoklatan, catat kebutuhan larutan FAS.
- h) Lakukan langkah 3.5 a) sampai dengan 3.5 g) terhadap air suling sebagai blanko. Catat kebutuhan larutan FAS. Analisis blanko ini sekaligus melakukan pembakuan larutan FAS dan dilakukan setiap penentuan KOK.

### 3.6 Perhitungan

#### 3.6.1 Normalitas larutan FAS

$$\text{Normalitas FAS} = \frac{(V1)(N1)}{V2}$$

dengan pengertian :

$V_1$  adalah volume larutan  $K_2Cr_2O_7$  yang digunakan, mL;

$V_2$  adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan, mL;

$N_1$  adalah Normalitas larutan  $K_2Cr_2O_7$ .

#### 3.6.2 Kadar KOK

$$\text{KOK (mg/L O}_2) = \frac{(A - B)(N)(8000)}{\text{mL. contoh} - \text{uji}}$$

dengan pengertian :

A adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blanko, mL;

B adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk contoh, mL;

N adalah normalitas larutan FAS.

#### 3.6.3 Persen temu balik (% Recovery)

Pembuatan *spike matrix*:

a) pipet 25 mL contoh uji dan tambahkan 25 mL larutan baku KHP.

b) lakukan langkah 3.5 a) sampai dengan 3.5 g).

$$\% \text{ Recovery} = \frac{(D - E)(100\%)}{F}$$

dengan pengertian:

D adalah kadar contoh uji yang di *spike*, mg/L;

E adalah kadar contoh uji yang tidak di *spike*, mg/L;

F adalah kadar standar yang ditambahkan (*target value*), mg/L.

dimana,

$$F = (y)(z) / v$$

y adalah volume larutan baku yang ditambahkan, mL;

z adalah kadar larutan baku, mg/L;

v adalah volume akhir contoh uji yang *spike*, mL.

#### 4 Jaminan mutu dan pengendalian mutu

##### 4.1 Jaminan mutu

- a) Gunakan bahan kimia berkualitas pro analisis (p.a).
- b) Gunakan alat gelas bebas kontaminasi.
- c) Gunakan alat ukur yang terkalibrasi.
- d) Lakukan analisis dalam jangka waktu yang tidak melampaui batas waktu simpan maksimum 7 hari .

##### 4.2 Pengendalian mutu

Lakukan analisis duplo untuk kontrol ketelitian. Dengan RPD (*Relative Percent Different*) kurang dari 5%.

#### 5 Rekomendasi

Kontrol akurasi dapat dilakukan dengan salah satu dari berikut ini:

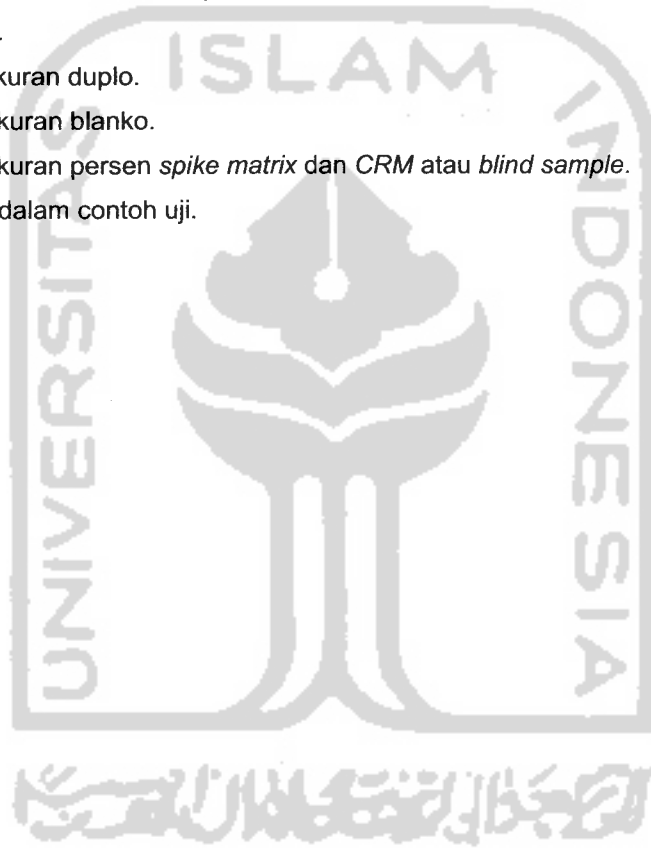
- a) Analisis CRM atau SRM  
lakukan analisis CRM (*Certified Reference Material*) atau SRM (*Standard Reference Material*) untuk kontrol akurasi.
- b) Analisis *blind sample*.
- c) Analisis contoh *spike* dengan kisaran temu balik (% *recovery*) 85% sampai dengan 115%. Buat kartu kendali (*control chart*).



**Lampiran A**  
(normatif)  
**Pelaporan**

Catat pada buku kerja hal-hal sebagai berikut :

- 1) Parameter yang dianalisis.
- 2) Nama analis dan tanda tangan.
- 3) Tanggal analisis.
- 4) Rekaman kurva kalibrasi.
- 5) Nomor contoh uji.
- 6) Tanggal penerimaan contoh uji.
- 7) Perhitungan.
- 8) Hasil pengukuran duplo.
- 9) Hasil pengukuran blanko.
- 10) Hasil pengukuran persen *spike matrix* dan *CRM* atau *blind sample*.
- 11) Kadar KOK dalam contoh uji.



**Bibliografi**

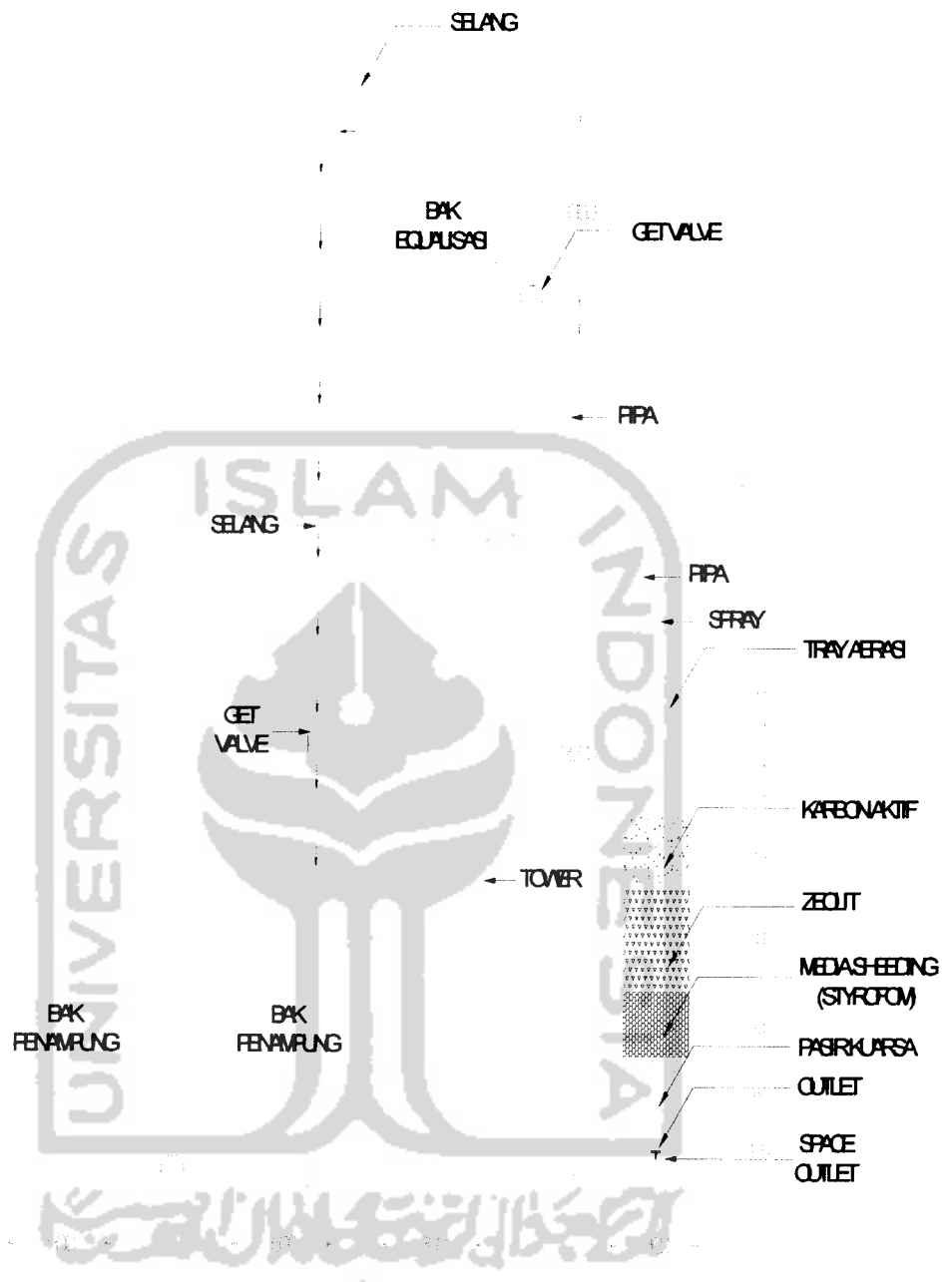
Lenore S. Clesceri et al. 1998, *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water 5220B*, 20<sup>th</sup> Edition, Washington DC : APHA, AWWA, WEF



# LAMPIRAN 3

**Gambar Reaktor Aerokarbonbiofilter**





# LAMPIRAN 4

**Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup**

**Nomor 112 Tahun 2003**



**KEPUTUSAN  
MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP  
NOMOR 112 TAHUN 2003**

**TENTANG  
BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK  
MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP,**

Menimbang :

bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 21 ayat (1) Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, maka dipandang perlu menetapkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik;

Mengingat :

1. Undang-undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup (Lembaran Negara Tahun 1997 Nomor 68, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3699);
2. Undang-undang Nomor 22 Tahun 1999 tentang Pemerintahan Daerah (Lembaran Negara Tahun 1999 Nomor 60, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3839);
3. Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 1999 tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup (Lembaran Negara Tahun 1999 Nomor 59, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3838);
4. Peraturan Pemerintah Nomor 25 Tahun 2000 tentang Kewenangan Pemerintah dan Kewenangan Provinsi Sebagai Daerah Otonom (Lembaran Negara Tahun 2000 Nomor 54, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3952);
5. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Lembaran Negara Tahun 2001 Nomor 153, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4161);
6. Keputusan Presiden Nomor 2 Tahun 2002 tentang Perubahan Atas Keputusan Presiden Nomor 101 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, Dan Tata Kerja Menteri Negara;

**MEMUTUSKAN :**

**Menetapkan :**

**KEPUTUSAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP TENTANG  
BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK.**

Pasal 1

Dalam Keputusan ini yang dimaksud dengan :

1. Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restauran), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama;
2. Baku mutu air limbah domestik adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah domestik yang akan dibuang atau dilepas ke air permukaan;
3. Pengolahan air limbah domestik terpadu adalah sistem pengolahan air limbah yang dilakukan secara bersama-sama (kolektif) sebelum dibuang ke air permukaan;



4. Menteri adalah Menteri yang ditugasi untuk mengelola lingkungan hidup dan pengendalian dampak lingkungan.

Pasal 2

- (1) Baku mutu air limbah domestik berlaku bagi usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restauran), perkantoran, perniagaan dan apartemen.
- (2) Baku mutu air limbah domestik sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) berlaku untuk pengolahan air limbah domestik terpadu.

Pasal 3

Baku mutu air limbah domestik adalah sebagaimana tercantum dalam lampiran Keputusan ini.

Pasal 4

Baku mutu air limbah domestik dalam keputusan ini berlaku bagi :

- a. semua kawasan permukiman (*real estate*), kawasan perkantoran, kawasan perniagaan, dan apartemen;
- b. rumah makan (restauran) yang luas bangunannya lebih dari 1000 meter persegi; dan
- c. asrama yang berpenghuni 100 (seratus) orang atau lebih.

Pasal 5

Baku mutu air limbah domestik untuk perumahan yang diolah secara individu akan ditentukan kemudian.

Pasal 6

- (1) Baku mutu air limbah domestik daerah ditetapkan dengan Peraturan Daerah Provinsi dengan ketentuan sama atau lebih ketat dari ketentuan sebagaimana tersebut dalam Lampiran Keputusan ini.
- (2) Apabila baku mutu air limbah domestik daerah sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) belum ditetapkan, maka berlaku baku mutu air limbah domestik sebagaimana tersebut dalam Lampiran Keputusan ini.

Pasal 7

Apabila hasil kajian Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup atau hasil kajian Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantauan Lingkungan dari usaha dan atau kegiatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 mensyaratkan baku mutu air limbah domestik lebih ketat, maka diberlakukan baku mutu air limbah domestik sebagaimana yang dipersyaratkan oleh Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup atau Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantauan Lingkungan .

Pasal 8

Setiap penanggung jawab usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restauran), perkantoran, perniagaan dan apartemen wajib :

- a. melakukan pengolahan air limbah domestik sehingga mutu air limbah domestik yang dibuang ke lingkungan tidak melampaui baku mutu air limbah domestik yang telah ditetapkan;
- b. membuat saluran pembuangan air limbah domestik tertutup dan kedap air sehingga tidak terjadi perembesan air limbah ke lingkungan.

c. membuat sarana pengambilan sample pada *outlet* unit pengolahan air limbah.

Pasal 9

- (1) Pengolahan air limbah domestik sebagaimana dimaksud dalam Pasal 8 dapat dilakukan secara bersama-sama (kolektif) melalui pengolahan limbah domestik terpadu.
- (2) Pengolahan air limbah domestik terpadu harus memenuhi baku mutu limbah domestik yang berlaku.

Pasal 10

- (1) Pengolahan air limbah domestik terpadu sebagaimana dimaksud dalam Pasal 8 menjadi tanggung jawab pengelola.
- (2) Apabila pengolahan air limbah domestik sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) tidak menunjuk pengelola tertentu, maka tanggung jawab pengolahannya berada pada masing-masing penanggung jawab kegiatan.

Pasal 11

Bupati/Walikota wajib mencantumkan persyaratan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 6 dalam izin pembuangan air limbah domestik bagi usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restauran), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama.

Pasal 12

Menteri meninjau kembali baku mutu air limbah domestik sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 secara berkala sekurang-kurangnya sekali dalam 5 (lima) tahun.

Pasal 13

Apabila baku mutu air limbah domestik daerah telah ditetapkan sebelum keputusan ini :

- a. lebih ketat atau sama dengan baku mutu air limbah sebagaimana dimaksud dalam Lampiran Keputusan ini, maka baku mutu air limbah domestik tersebut tetap berlaku;
- b. lebih longgar dari baku mutu air limbah sebagaimana dimaksud dalam Lampiran Keputusan ini, maka baku mutu air limbah domestik tersebut wajib disesuaikan dengan Keputusan ini selambat-lambatnya 1 (satu) tahun setelah ditetapkannya Keputusan ini.

Pasal 14

Pada saat berlakunya Keputusan ini semua peraturan perundang-undangan yang berkaitan dengan baku mutu air limbah domestik bagi usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restauran), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama yang telah ada, tetap berlaku sepanjang tidak bertentangan dengan Keputusan ini.

Pasal 15

Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

**Ditetapkan di: Jakarta**  
**pada tanggal : 10 Juli 2003**  
**Menteri Negara Lingkungan Hidup,**

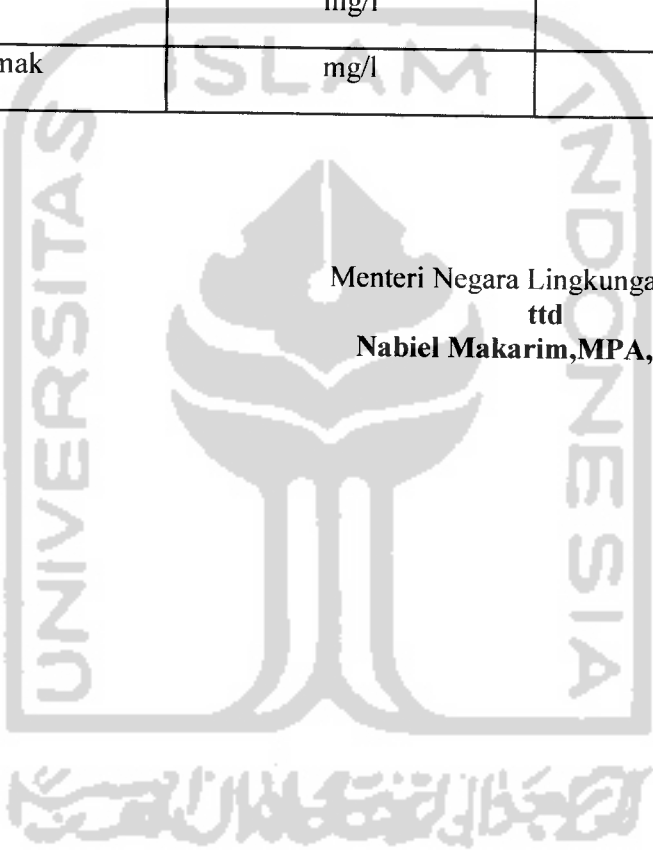
ttd  
Nabiel Makarim, MPA, MSM

**Lampiran**  
**Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup,**  
**Nomor : 112 Tahun 2003**  
**Tanggal : 10 Juli 2003**

**BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK**

<b>Parameter</b>	<b>Satuan</b>	<b>Kadar Maksimum</b>
pH	-	6 - 9
BOD	mg/l	100
TSS	mg/l	100
Minyak dan Lemak	mg/l	10

Menteri Negara Lingkungan Hidup,  
ttd  
Nabiel Makarim, MPA, MSM.





**LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN**  
**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang km 14,4 Yogyakarta 55584, Phone 0274-895042, 895707, Fax 0274-895330

No : /XII/07L.K.L TSP UII

Hal : 1 dari 1

**SERTIFIKAT HASIL UJI KUALITAS AIR**

**Tugas Akhir**

Nama Mahasiswa : IDA FARIDA  
Jenis Contoh Uji : Treatment Air Limbah Domestik  
Asal Contoh Uji : Septic Tank FTSP, UII  
Pengambil Contoh Uji : IDA FARIDA  
Tanggal Pengambilan Contoh : 1 Agustus  
Tanggal Pengujian Contoh : 1 Agustus – 1 September 2007  
Parameter yang diuji : Chemical Oxygen Demand (COD)  
Kode Contoh Uji : 2007.02.11.COD  
Kode Lab. : 03LKL FTSP

Sampel Ke -	Satuan	Hasil pengujian		Metode Uji
		Inlet Aerokarbonbiofilter	Outlet Aerokarbonbiofilter	
1	mg/L	75.84	66.67	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
2	mg/L	151.68	50.00	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
3	mg/L	151.68	66.67	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
4	mg/L	112	78.57	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
5	mg/L	192	54.17	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
6	mg/L	160	35.00	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
7	mg/L	184	34.78	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
8	mg/L	144	33.33	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
9	mg/L	120	33.33	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
10	mg/L	152	31.58	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
11	mg/L	136	23.53	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
12	mg/L	136	11.76	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
13	mg/L	88	9.09	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
14	mg/L	112	7.14	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004
15	mg/L	208	26.92	SK SNI 06 – 6989 – 15 – 2004

- Catatan :
1. Hasil uji ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji
  2. Sertifikat Hasil Uji ini tidak boleh digandakan tanpa izin dari Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP UII.

Yogyakarta, 05 November 2007  
Kepala Laboratorium

*Ir. H. Kasam, MT*

KARTU PESERTA UJIAN AKHIR

NO. IMBIR

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
Pusat Penelitian, Kajian, dan Pengabdian Masyarakat  
Jalan Siliwangi No. 101, Bandung 40132, Indonesia

TAHUN 2016/2017

Bulan Ke

- 1. Pendidikan
- 2. Pascasarjana
- 3. Penelitian
- 4. Pengabdian Masyarakat
- 5. Administrasi
- 6. Hukum
- 7. Sastra
- 8. Seni
- 9. Kesehatan
- 10. Teknologi



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
 Universitas Islam Indonesia  
 Universitas Islam Indonesia