

**TUGAS AKHIR  
(LH 1702)**

**PENURUNAN KANDUNGAN FOSFAT  
PADA AIR BUANGAN PABRIK TAHU  
DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI  
PROSES *SUSPENDED GROWTH* DAN  
*ATTACHED GROWTH***



RSL  
628.35  
mul  
p-2  
-----  
2000

Oleh :

**PURBO WAHONO MARGO MULIONO**

**3394.100.042**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
SURABAYA, 2000**

Kp. 50.000.

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl Terima	13-9-2000
Terima Dari	H
No Agenda Prp.	21.1936

**PENURUNAN KANDUNGAN FOSFAT PADA  
AIR BUANGAN PABRIK TAHU DENGAN  
MENGUNAKAN KOMBINASI PROSES  
*SUSPENDED GROWTH* DAN *ATTACHED GROWTH***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

**Jurusan Teknik Lingkungan**

**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**

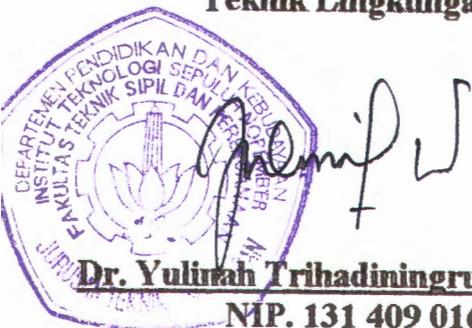
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**Mengetahui / Menyetujui**

**Ketua Jurusan  
Teknik Lingkungan**

**Dosen Pembimbing**



**Dr. Yulirah Trihadiningrum, M.App.Sc.**  
NIP. 131 409 016



**Ir. Agus Slamet, M.Sc.**  
NIP. 131 651 592

**SURABAYA  
Februari, 2000**

## ABSTRAK

Penurunan kandungan nutrien (nitrogen dan fosfat) dengan mempergunakan metode *single sludge system* mempunyai masalah perbedaan umur pertumbuhan antara mikroorganisme nitrifikasi dengan bakteri pengakumulasi fosfat, disamping itu keberadaan VFA tidak mencukupi untuk pelepasan fosfat di fase anaerobik dan denitrifikasi di anoksik. Sistem baru dengan mengkombinasikan antara *suspended growth* dan *attached growth* digunakan pada penelitian ini untuk menurunkan kandungan nutrien pada air buangan pabrik tahu yang mempunyai kandungan nutrien yang sangat tinggi. *Rotating biological contactor* ditambahkan pada tiap reaktor sebagai *attached growth* yang mempunyai umur lumpur yang lebih panjang. *Suspended growth* yang dipergunakan adalah *activated sludge conventional*.

Reaktor yang terdiri dari reaktor-reaktor anaerobik, anoksik, dan aerobik dioperasikan secara seri dengan variasi waktu detensi untuk mengetahui kemampuannya dalam menurunkan kandungan fosfat pada air buangan pabrik tahu.

Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan bahwa sistem baru ini tidak dapat berfungsi dengan baik dalam menurunkan kandungan fosfat pada air buangan pabrik tahu. Efisiensi penurunan kandungan fosfat yang terjadi pada proses ini berkisar antara 49,6 % sampai dengan 70,3 %. Efisiensi penurunan fosfat terendah dihasilkan pada proses operasi dengan waktu detensi total 10 jam dengan kandungan fosfat di effluen sebesar 45,05 mg/l. Sedangkan efisiensi tertinggi dicapai pada proses operasi dengan waktu detensi total 16 jam dengan kandungan fosfat di effluen sebesar 26,60 mg/l. *P-release rate* di reaktor anaerobik adalah 0,2377 mg P/mg VSS.d. *P-uptake rate* di reaktor anoksik adalah 0,1377 mg P/mg VSS.d. *P-uptake rate* di reaktor aerobik adalah 0,0518 mg P/mg VSS.d.



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat-Nya sehingga tugas akhir yang berjudul “Penurunan Kandungan Fosfat pada Air Buangan Pabrik Tahu dengan Menggunakan Kombinasi Proses *Suspended Growth* dan *Attached Growth*” dapat terselesaikan.

Tugas akhir ini merupakan kegiatan kurikuler yang wajib dipenuhi untuk memperoleh gelar strata I di Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Terima kasih setulusnya penulis tujukan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- ☞ Bapak Ir. Agus Slamet, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan bimbingan, perhatian dan arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
- ☞ Ibu Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc. selaku Ketua Jurusan yang menjabat ketika penulis hampir tamat mengenyam bangku kuliah.
- ☞ Ibu Ir. Nieke Karnaningrum, M.Sc. selaku dosen wali dan Ketua Jurusan terdahulu.
- ☞ Bapak dan Ibu dosen di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS yang telah membimbing penulis selama kuliah.

- ☞ Bapak dan Ibu tercinta di kampung yang senantiasa mencurahkan do'a, perhatian, dukungan dengan penuh kesabaran dan cinta kasih. Semoga sawah ladang kita masih bisa mencukupi kebutuhan hidup di seribu tahun ketiga ini.
- ☞ Rekan kerjaku, Astri yang selalu bersama-sama menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga apa yang telah kita kerjakan bermanfaat dan memberikan pelajaran yang berharga.
- ☞ Asih, atas kasih sayangnya.
- ☞ Bu Nurbajati, Pak Hadi, Pak Affan, Pak Ashari, Pak Eko atas bantuannya selama penelitian di laboratorium.
- ☞ Pak Ardhi atas pinjaman koleksi perpustakaanya.
- ☞ Teman-teman seperjuangan tugas akhir; Reni, Lyly, Deni, Evita, Isnania, Komang, Pambudi, Dyah, Diana, Yoshinta, Wiwin, Irwan, Dowi, terima kasih kawan atas kebersamaannya.
- ☞ Rekan-rekan di angkatan L-12 , terima kasih atas kebersamaannya. Semoga dapat berlangsung terus.
- ☞ Kawan-kawan di SIKLUS ITS; adikku Erma, Anita, kawanku Bambang, Hari, Ari, Avit, Faizal, Sandi, David, Rochim, Nurul, Beta, Umi, Enno, Nurul, dan lainnya terlalu banyak untuk disebutkan, terima kasih atas petualangan dan persaudaraannya.

- ⊗ Kawan-kawan di KPPL HMTL; Syadat, Catur, Indira, Lisa, Munti, Zainul, Kiki, dan lainnya yang siap untuk belajar, bersahabat dan bertualang.
- ⊗ Ika, Catur, Bowo, Avit, Komang, yang telah meminjamkan komputer, suatu barang mewah yang hampir menghambat tugas akhirku. Aku tak tahu dengan apa aku bisa membalas hutang budi ini.
- ⊗ Semua pihak yang telah membantu baik langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian tugas akhir ini, yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu.

Penulis sadar masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Penulis berharap adanya penyempurnaan-penyempurnaan pada penelitian selanjutnya. Semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat dan mendapat Ridho dari Allah SWT, Amin.

Surabaya, Januari 2000

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR ISTILAH	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. LATAR BELAKANG	I-1
1.2. TUJUAN	I-2
1.3. RUANG LINGKUP	I-3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. LIMBAH PRODUKSI TAHU	II-1
2.2. PENGOLAHAN AIR BUANGAN SECARA BIOLOGIS	II-2
2.2.1. Pengolahan Biologis Secara Aerobik	II-3
2.2.1.1. Sistem Pertumbuhan Tersuspensi Secara Aerobik	II-3
2.2.1.2. Sistem Pertumbuhan Melekat Secara Aerobik	II-4
2.2.2. Pengolahan Biologis Secara Anaerobik	II-8
2.2.2.1. Uraian Proses	II-9

2.2.2.2. Bakteri yang Terlibat	II-10
2.2.3. Pengolahan Biologis dalam Kondisi Anoksik	II-10
2.3. BIOLOGICAL P REMOVAL	II-11
2.3.1. Uraian Proses	II-11
2.3.2. Metabolisme Anaerobik	II-12
2.3.3. Metabolisme Aerobik	II-14
2.3.4. Mikroorganisme yang berperan	II-16
2.4. KOMBINASI PENURUNAN FOSFAT DAN NITROGEN DENGAN SINGLE SLUDGE SYSTEM	II-18
2.5. KOMBINASI PROSES SUSPENDED GROWTH DAN ATTACHED GROWTH	II-19
2.6. KOEFISIEN BOKINETIKA	II-21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1. UMUM	III-1
3.2. KERANGKA PENELITIAN	III-1
3.3. PILOT TREATMENT PLANT	III-3
3.4. PROSEDUR PENELITIAN	III-5
3.4.1. Seeding dan Aklimatisasi Mikroorganisme	III-5
3.4.2. Kondisi Operasional	III-6
3.4.3. Metode Analisa	III-8
3.4.4. Metode Sampling	III-9
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. HASIL PENELITIAN	IV-1

4.2.PENGARUH WAKTU DETENSI TERHADAP PENURUNAN FOSFAT	IV-3
4.3.PENGARUH PENURUNAN KARBON DAN PELEPASAN FOSFAT DI ANAEROBIK TERHADAP EFISIENSI PENURUNAN FOSFAT	IV-10
4.4.PENGARUH MLVSS TERHADAP EFISIENSI PENURUNAN FOSFAT	V-12
4.5. KOEFISIEN BOKINETIKA	IV-15
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	
5.1. KESIMPULAN	V-1
5.2. SARAN	V-2
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tipikal desain kombinasi proses nutrisi removal	II-19
Tabel 4.1. Koefisien biokinetika BOD dan P untuk tiap proses	IV-20



## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Penampang biofilm yang menempel pada permukaan media II-6
- Gambar 2.2. Proses pengambilan asetat oleh *Acinetobacter* pada kondisi Anaerobik serta pembuatan PHB dengan pengambilan energi dari degradasi polifosfat dan pelepasan fosfat melalui dinding sel II-15
- Gambar 2.3. Pengambilan fosfat oleh *Acinetobacter* dalam kondisi aerobik yang akan digunakan untuk pembentukan ATP dan polifosfat dengan menggunakan energi dari degradasi PHB II-16
- Gambar 3.1. Kerangka penelitian III-2
- Gambar 3.2. Skema rangkaian pilot treatment plant III-5
- Gambar 4.1. Grafik penurunan BOD IV-2
- Gambar 4.2. Grafik penurunan P IV-2
- Gambar 4.3. Grafik hubungan waktu detensi dengan pelepasan P di reaktor anaerobik terhadap konsentrasi influent IV-4
- Gambar 4.4. Grafik hubungan penurunan BOD dengan pelepasan P di reaktor anaerobik IV-4
- Gambar 4.5. Grafik hubungan waktu detensi dengan penurunan P di reaktor anoksik IV-5

Gambar 4.6. Grafik hubungan waktu detensi dengan efisiensi penurunan P di reaktor aerobik	IV-7
Gambar 4.7. Grafik hubungan konsentrasi awal P dengan efisiensi penurunan P di reaktor aerobik	IV-7
Gambar 4.8. Grafik hubungan waktu detensi dengan efisiensi penurunan P di klarifier	IV-8
Gambar 4.9. Grafik hubungan waktu detensi total dengan efisiensi BPR	IV-9
Gambar 4.10. Grafik hubungan antara penurunan BOD di anaerobik dengan efisiensi penurunan P	IV-11
Gambar 4.11. Grafik hubungan antara pelepasan P di reaktor anaerobik dengan efisiensi penurunan P	IV-11
Gambar 4.12. Grafik hubungan MLVSS terhadap pelepasan fosfat di anaerobik	IV-13
Gambar 4.13. Grafik hubungan MLVSS terhadap penurunan fosfat di anoksik	IV-14
Gambar 4.14. Grafik hubungan MLVSS terhadap penurunan fosfat di aerobik	IV-14
Gambar 4.15. Grafik Spesifik BOD utilization rate di anaerobik	IV-17
Gambar 4.16. Grafik Spesifik BOD utilization rate di anoksik	IV-17
Gambar 4.17. Grafik Spesifik BOD utilization rate di aerobik	IV-18
Gambar 4.18. Grafik spesifik P-release rate di anaerobik	IV-18
Gambar 4.19. Grafik spesifik P-uptake rate di anoksik	IV-19

Gambar 4.20. Grafik spesifik P-uptake rate di aerobik

IV-19

## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran 1

A. Perhitungan debit L-1

B. Kalibrasi debit reaktor L-3

Lampiran 2 Kalibrasi  $\text{PO}_4^{3-}$  L-5

### Lampiran 3

A. Data penurunan BOD di reaktor anaerobik L-7

B. Data penurunan BOD di reaktor anoksik L-7

C. Data penurunan BOD di reaktor aerobik L-7

D. Data penurunan BOD di bak pengendap L-8

E. Data total penurunan BOD L-8

F. Data awal influen BOD L-8

### Lampiran 4

A. Data pelepasan P di reaktor anaerobik L-9

B. Data penurunan P di reaktor anoksik L-9

C. Data penurunan P di reaktor aerobik L-9

D. Data penurunan P di bak pengendap L-10

E. Data total penurunan P L-10

F. Data awal influen P L-10

Lampiran 5 Konsentrasi biomass pada RBC L-11

Lampiran 6

- A. Perhitungan Koefisien Biokinetika untuk BOD L-12
- B. Perhitungan Koefisien Biokinetika untuk P L-12

## DAFTAR ISTILAH

- A<sup>2</sup>/O proses = Proses biologis dengan menggunakan suasana anaerob, anoksik, dan aerobik.
- ATP = Adenosin triphosphate, bentuk energi untuk metabolisme mikroorganisme.
- BPR = Biological Phosphorus Removal, penurunan fosfor secara biologis
- NADH/NAD<sup>+</sup> = Nicotiamide Adenine Dinucleotide, suatu koenzim yang diperlukan dalam metabolisme sel dan berfungsi sebagai akseptor untuk rducing equivalents (H<sup>+</sup> atau e<sup>-</sup>).
- PAO = Phosphate Acumulating Organism, bakteri pengakumulasi fosfat yang berperan dalam proses penurunan fosfat.
- PHB = Poly β-hydroxy butyrate, suatu cadangan karbon berbentuk polimer dalam sel.
- SRT = Sludge Retention Time, umur lumpur, jumlah massa mikroorganisme (sebagai lumpur aktif) dibagi jumlah massa mikroorganisme persatuan waktu.



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG

Seiring dengan peningkatan laju pertumbuhan penduduk maka, berkembang pula industri-industri untuk pemenuhan kebutuhan makanan, diantaranya adalah industri pabrik tahu. Pabrik tahu yang berskala kecil biasanya membuang limbahnya langsung ke badan air tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu. Padahal buangan pabrik tahu tersebut mengandung bahan organik dan nutrisi yang sangat tinggi, diantaranya adalah kadar N dan P yang tinggi.

Apabila air buangan yang mengandung N dan P tersebut dibuang langsung ke badan air maka akan mendorong pertumbuhan algae atau algae bloom yang merugikan kehidupan akuatik. Banyaknya algae yang tumbuh akan mengurangi kandungan oksigen terlarut pada malam hari serta menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam badan air.

Telah dikembangkan beberapa sistem pengolahan untuk penurunan kadar nutrisi, diantaranya adalah yang dikembangkan oleh Barnard (1975). Barnard mengembangkan *single sludge system* untuk menurunkan kandungan nitrogen dan phosphorus tanpa penambahan bahan kimia. Kondisi Anaerobik, anoksik dan aerobik digunakan dalam sistem ini.

Permasalahan muncul ketika dipergunakannya *single sludge system* untuk menurunkan kandungan nitrogen dan phosphorus secara bersamaan. Permasalahan pertama adalah pertumbuhan nitrifiers (bakteri nitrifikasi) lebih lambat dari bakteri heterotrophic, untuk itu diperlukan waktu tinggal lumpur yang panjang agar terjadi proses nitrifikasi. Padahal untuk menurunkan kandungan phosphorus sistem harus dioperasikan dengan waktu tinggal lumpur yang singkat. Permasalahan kedua adalah untuk terjadinya proses denitrifikasi sering kali sumber karbon tidak mencukupinya. Ditambah lagi dengan kurangnya *volatile fatty acid* (VFA) atau asam lemak yang diperlukan dalam proses pelepasan phosphorus di reaktor anaerobik.

Penggunaan kombinasi reaktor sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) dan sistem peretumbuhan melekat (*attached growth*) telah dicoba dalam mengatasi permasalahan tersebut dengan mempergunakan limbah buatan oleh Rahadi (1998). Untuk itu perlu penelitian lanjutan dengan mempergunakan limbah yang mengandung kadar nutrien yang tinggi yaitu limbah air buangan pabrik tahu.

## **1.2. TUJUAN**

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui penurunan konsentrasi fosfat melalui proses biologis dengan kombinasi reaktor sistem pertumbuhan tersuspensi

(*suspended growth*) dan sistem peretumbuhan melekat (*attached growth*) pada air buangan pabrik tahu.

2. Mengetahui dan menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi proses biological P-removal pada kombinasi reaktor sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) dan sistem pertumbuhan melekat (*attached growth*).

### 1.3. RUANG LINGKUP

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah yang digunakan adalah air buangan pabrik tahu.
2. Pola aliran yang digunakan adalah aliran kontinyu.
3. Reaktor yang digunakan terdiri atas:
  - Sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) menggunakan proses lumpur aktif.
  - Sistem pertumbuhan melekat (*attached growth*) menggunakan proses Rotating Biological Contactor (RBC).
4. Proses yang digunakan adalah proses A2/O (anaerobik – Anoksik – Oksik).
5. Parameter yang digunakan adalah penurunan kandungan Fosfat.
6. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah waktu detensi.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. LIMBAH PRODUKSI PABRIK TAHU**

Karakteristik suatu limbah dipengaruhi oleh bahan dasar dan proses yang terjadi, begitu juga dengan air limbah produksi pabrik tahu. Bahan-bahan dan proses yang terjadi pada air buangan produksi pabrik tahu antara lain adalah kembang tahu atau bubur kedelei yang ikut terbuang dan asam cuka. Air buangan pabrik tahu bersuhu tinggi akibat proses pemanasan dalam pembuatan bubur tahu.

Bubur kedelei yang telah dimasak kemudian didiamkan beberapa lama akan menghasilkan lapisan putih di atas cairan, lapisan ini kadang-kadang ikut terbuang bersama bubur kedelei yang terlarut dan tersuspensi. Kembang tahu dan bubur kedelei ini memberikan kontribusi sangat besar terhadap organik yang terendapkan (sebagian besar sebagai total suspended solid) ataupun tidak terendapkan (soluble) (Ekasari, 1999).

Asam cuka berfungsi untuk menimbulkan kembang tahu yang bila berkurang kadar keasamannya akan dibuang. Asam cuka ini meskipun menyebabkan tingginya kandungan organik dalam limbah tetapi mudah diuraikan secara biologis oleh bakteri karena mempunyai rantai karbon

yang pendek dan sederhana. Disamping itu asam cuka juga menyebabkan rendahnya pH.

## **2.2. PENGOLAHAN AIR BUANGAN SECARA BIOLOGIS**

Pengolahan secara biologis dapat dilakukan dengan proses aerobik, anaerobik, dan anoksik. Proses aerobik dilakukan dengan oksidasi biologis. Proses anaerobik merupakan pengolahan secara biologis yang dilakukan dengan fermentasi dan hidrolisis. Proses anoksik pada pengolahan biologis terjadi ketika posisi elektron akseptor digantikan oleh oksigen yang terikat dalam suatu senyawa biasanya Nitrat.

Terdapat dua macam sistem pertumbuhan mikroorganisme dalam pengolahan air buangan. Yang pertama adalah sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) dan yang kedua adalah sistem pertumbuhan melekat (*attached growth*). Pada sistem pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dan tersuspensi di dalam air limbah yang diolah. Sedangkan pada sistem pertumbuhan melekat, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dengan menempel atau melekat pada suatu media dan air buangan yang mengandung bahan organik mengalir melalui media tersebut.

### 2.2.1. Pengolahan Biologis Secara Aerobik

Pengolahan biologis secara aerobik terjadi apabila terdapat mikroorganisme yang mengoksidasi bahan buangan dengan menggunakan oksigen sebagai elektron akseptor untuk mendapatkan energi yang cukup bagi dirinya. Dapat juga dikatakan pada pengolahan biologis secara aerobik bahan organik bertindak sebagai donor elektron yang akan diterima oksigen.

#### 2.2.1.1. Sistem Pertumbuhan Tersuspensi Secara Aerobik

Terdapat beberapa jenis sistem pertumbuhan tersuspensi secara aerobik, namun yang paling sering digunakan untuk pengolahan tahap kedua adalah proses *activated sludge* atau lumpur aktif.

Proses pengolahan air buangan dengan lumpur aktif ini adalah pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan kandungan bahan organik dan nutrien. Bakteri yang berperan dalam proses penurunan kandungan organik ini adalah bakteri heterotropik.

Pada proses penurunan kandungan organik ini terjadi degradasi sebagian bahan organik (organik substrat) dan sebagian yang lainnya diubah ke dalam bentuk lumpur (sintesa biomass). Lumpur atau biomass yang telah diendapkan di bak pengendap sebagian diresirkulasikan lagi ke dalam tangki aerasi.

Selama proses aerasi, sebagian bahan organik dioksidasi menjadi produk akhir anorganik dan pelepasan energi yang digunakan untuk mengubah atau mensintesa bahan organik sisa sel baru. Selanjutnya akan terjadi respirasi endogenous jika bahan organik yang ada semakin sedikit (Rahadi, 1998).

Oksidasi (Dissimilasi):



Sintesa (Assimilasi):



dimana:  $(\text{CHON})_x$  = organik substrat

$\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$  = bakteri baru

Kurang lebih sebagian dari COD biodegradable digunakan untuk dissimilasi dan selebihnya digunakan untuk assimilasi.

Respirasi Endogenous:



Ketika suplai makanan berkurang, sebagian biomass akan mati atau menjadi makanan bagi mikroorganisme lainnya. Proses respirasi endogenous ini mengurangi jumlah total biomass dan menstabilkan fraksi organik.

#### 2.2.1.2. Sistem Pertumbuhan Melekat Secara Aerobik

Proses oksidasi bahan organik oleh *fixed biofilm* dipengaruhi oleh komposisi pembentuk lapisan slime atau biofilm yang melekat pada

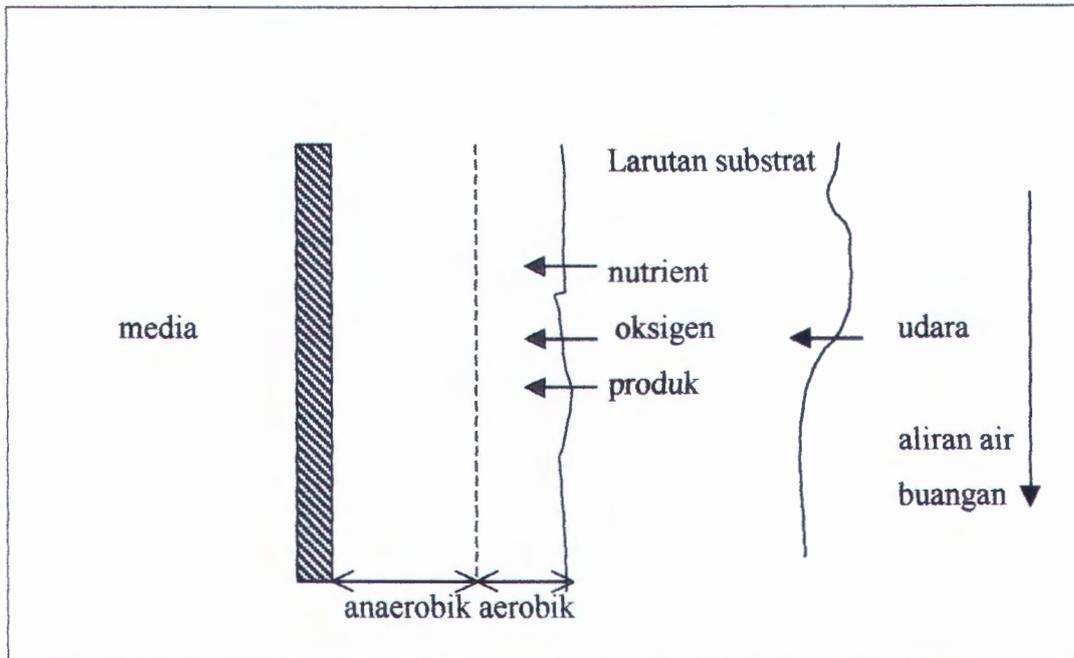
permukaan media. Pembentukan lapisan film diawali dengan produksi koloni bakteri yang menempel pada permukaan media. Terjadinya penempelan koloni tersebut kemungkinan karena adanya ikatan kimia dan gaya *van der Waals*.

Bakteri *Z. ramigera* seringkali sebagai perintis dalam pembentukan koloni awal. Selanjutnya secara cepat diikuti oleh bakteri heterotrop lainnya, seperti *Pseudomonas*, *Flabobacterium*, dan *Alcaligenes*. Kemudian komposisi biofilm akan terdiri dari berbagai macam kumpulan bakteri, dan juga akan ditumbuhi sedikit jamur seperti *Fusarium*, *Geotrichum*, dan *Sporotrichum*. Keseluruhan komposisi biofilm tersebut turut berperan serta dalam penurunan kandungan bahan organik.

Mekanisme absorpsi bahan organik dan oksigen secara skematis dapat dilihat pada gambar 2.1. Bahan organik akan terdifusi ke dalam biofilm bersama-sama dengan oksigen ketika air buangan dilewatkan pada lapisan biofilm. Lapisan biofilm yang terdiri dari mikroorganisme heterotroph akan mengoksidasi bahan organik tersebut untuk memperoleh energi dan membentuk sel baru.

Ketebalan fixed biofilm diupayakan tidak akan terlalu tebal agar difusi nutrisi dan oksigen cukup terjangkau oleh lapisan mikroorganisme yang paling dalam (yang menempel di permukaan media). Apabila nutrisi sudah tidak dapat menjangkau lapisan paling dalam tersebut maka mikroorganisme pada bagian paling dalam akan memasuki fase respirasi endogenous. Pada respirasi endogenous, mikroorganisme akan

kehilangan kemampuan untuk menempel pada media sehingga terlepas dan terbawa keluar reaktor (sloughing). Namun kadang kala sloughing juga diakibatkan oleh kondisi hidrodinamik.



Gambar 2.1. Penampang biofilm yang menempel pada permukaan media

Lapisan *fixed biofilm* juga dapat mengoksidasi senyawa ammonia yang disebut dengan nitrifikasi dan mereduksi senyawa nitrat atau denitrifikasi. Kemampuan penetrasi oksigen pada lapisan biofilm tergantung pada koefisien difusi oksigen dalam biofilm, konsentrasi oksigen pada *solid liquid interface*, kecepatan utilisasi oksigen *overall* untuk mikroorganisme yang terdapat pada lapisan film. Kemampuan penetrasi substrat pada lapisan biofilm tergantung pada debit aliran,

konsentrasi dan koefisien difusi substrat dalam biofilm, dan kecepatan utilisasi substrat oleh biomass (Rahadi, 1998).

Rotating Biological Contactor mempunyai media berbentuk piringan yang dapat berotasi dan sebagian dari piringan tersebut tercelup dalam air buangan. Piringan RBC tersebut biasanya terdiri dari beberapa seri yang berbentuk lingkaran dan terbuat dari bahan polysterena atau polyvinylee chlorida. Piringan disusun secara seri dan dihubungkan dengan sumbu untuk memutar rangkaian piringan tersebut.

Piringan tersebut merupakan media tumbuh untuk mikroorganisme atau biofilm dalam bentuk lendir. Ketika rangkaian piringan tersebut berputar, lapisan biofilm pada media tersebut akan menyerap dan menguraikan zat organik yang terlarut pada air buangan yang diolah. Ketika sebagian piringan biologis kontak dengan udara maka biomass akan menyerap oksigen, kejadian ini berulang secara periodik sehingga tercipta kondisi aerobik. Berputarnya piringan tersebut juga berfungsi untuk mempertahankan biomass dalam keadaan tersuspensi. Biomass yang berlebih akan terbawa keluar ikut aliran effluen. Proses nitrifikasi atau penurunan ammonia dapat terjadi pada pengolahan dengan RBC.

RBC merupakan salah satu sistem pengolahan yang relatif murah karena membutuhkan energi yang relatif kecil dalam pengoperasiannya. RBC juga memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah:

- ▲ mempunyai waktu detensi (HRT) yang pendek
- ▲ mempunyai umur lumpur yang panjang

- ▲ mempunyai konsentrasi biomass yang tinggi
- ▲ stabil bila terjadi *shock loading*
- ▲ cukup stabil terhadap adanya zat toksik
- ▲ mempunyai efisiensi yang tinggi dalam mereduksi kandungan zat organik dan nitrogen dalam air
- ▲ dapat mengeliminasi masalah *clogging*

### **2.2.2. Pengolahan Biologis Secara Anaerobik**

Pengolahan biologis secara anaerobik dirancang untuk dapat menerima limbah dengan konsentrasi organik tinggi tanpa adanya oksigen dalam mengkonversikan senyawa organik. Pada proses ini zat organik diubah menjadi gas methane yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Perkembangan teknologi yang ada menciptakan pengolahan secara anaerobik dengan laju penurunan senyawa organik yang lebih cepat dengan mengembangkan kombinasi sistem biofilm dan tersuspensi. Proses dengan laju deviasi yang cepat berarti umur lumpur dalam proses harus ditinggikan. Hal ini akan memperkecil waktu tinggal hidralis yang ada meskipun dengan beban COD yang besar. Proses anaerobik yang dikombinasi dengan biofilm dan atau bioflok tersebut mempunyai HRT yang pendek dan mampu menerima beban organik yang tinggi, sehingga sangat menguntungkan karena mengurangi ukuran reaktor, luas lahan dan biaya investasi yang dibutuhkan.

### 2.2.2.1. Uraian Proses

Terdapat tiga tahapan dalam proses anaerobik, tahap pertama adalah hidrolisis, yang kedua adalah acidogenesis dan terakhir adalah methanogenesis. Pada tahap hidrolisis, bakteri akan menghidrolisis bahan organik tersuspensi dan terlarut yang mempunyai berat molekul tinggi. Organik kompleks polymer seperti karbohidrat, protein, lemak, selulosa, lignin akan diubah menjadi bentuk yang lebih sederhana dengan suatu enzim ekstraselular bakteri. Pada tahap ini proses berjalan lambat dan akan bertambah lambat apabila terdapat bahan yang sukar untuk dihidrolisis.

Tahap acidogenesis merupakan kelanjutan tahap sebelumnya. Pada tahap ini bakteri akan mengabsorpsi bahan organik yang sudah sederhana tersebut dan menguraikan menjadi asam propionat, butyric dan asetat.



Pada tahap ketiga methana diproduksi dari asam asetat, hidrogen, dan karbon dioksida oleh bakteri penghasil methana. Terdapat dua golongan bakteri yang berperan pada tahap ini, yaitu bakteri *acetoclastic methanen bacteria (acetophilic)* yang mengubah asam asetat menjadi methana dan *hydrogen utilizing bacteria (hydrogenophilic)* yang dapat memproduksi methana dari hidrogen dan CO<sub>2</sub>.

#### 2.2.2.2. Bakteri yang Terlibat

Pada tahap acidogenesis terdapat beberapa bakteri yang terlibat, diantaranya adalah; *Clostridium spp.*, *Peptococcus*, *Anaerobus*, *Bifidobacterium spp.*, *Desulphovibrio spp.*, *Corynebacterium spp.*, *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Staphylococcus*, dan *Eshcherichia coli*.

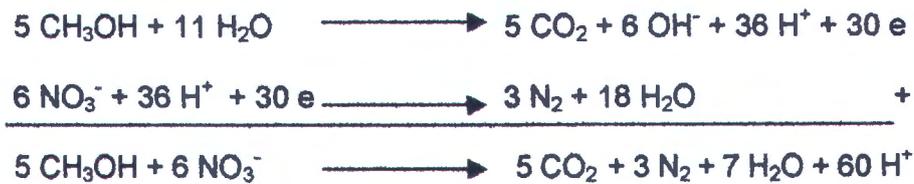
Pada tahap methanogenesis bakteri yang terlibat antara lain adalah; *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus*, dan *Methanosarvina*. Bakteri-bakteri tersebut mempunyai tingkat pertumbuhan yang lambat, namun bakteri-bakteri tersebut mampu menggunakan substrat yang jumlahnya terbatas. Substrat tersebut antara lain adalah; karbon dioksida, H<sub>2</sub>, asetat, methanol, methylamines dan karbon monoksida.

#### 2.2.3. Pengolahan Biologis dalam Kondisi Anoksik

Pada pengolahan air buangan secara aerobik, yang bertindak sebagai donor elektron adalah bahan organik dan yang sebagai akseptor elektron adalah oksigen. Pada reaksi tanpa hadirnya oksigen, nitrat dapat berfungsi sebagai elektron akseptor. Kondisi tersebut disebut sebagai kondisi anoksik, dengan reaksi sebagai berikut:



Methanol dapat berfungsi sebagai elektron donor dan reaksinya sebagai berikut:



Reaksi tersebut terjadi pada proses denitrifikasi yaitu nitrat diubah menjadi gas nitrogen pada kondisi anoksik tersebut. Dengan adanya kondisi anoksik ini maka nitrat dari proses nitrifikasi ammonium dapat dihilangkan dengan denitrifikasi pada kondisi anoksik.

## 2.3. BIOLOGICAL P-REMOVAL

### 2.3.1. Uraian Proses

Fosfat merupakan salah satu nutrien yang dapat meningkatkan pertumbuhan alga dalam badan air. Mekanisme pelepasan dan pengambilan fosfat sangatlah menarik dan membantu dalam mengetahui operasi dari *phosphorus removal* di *activated sludge plant*. Beberapa studi menunjukkan bahwa pelepasan dan pengambilan fosfat pada sludge disebabkan oleh single genus bakteri pengakumulasi fosfat atau PAO (Phosfat Acumulating Organism), yaitu *Acinetobacter* spp, khususnya adalah bakteri *Acinetobacter calcoaceticus*. Pada kondisi anaerobik, *Acinetobacter* spp mempunyai kemampuan untuk mendegradasi VFA (Volatile Fatty Acid), khususnya dalam bentuk asetat. Asetat ini akan diubah menjadi poly 2-hydroxy butyrate (PHB) dan disimpan sebagai cadangan sumber karbon di dalam sel dengan melepaskan  $\text{PO}_4^{3-}$  keluar sel akibat konsumsi energi dari poly 2-hydroxy

butyrate (PHB) sel. Ketika *Acinetobacter* spp memasuki kondisi aerobik, mereka dihadapkan pada kondisi dimana persediaan organik substrat diluar sel rendah karena bentuk "*readily organic*" telah terdegradasi dan tersimpan dalam sel biomass di fase anaerobik. Pada fase aerobik *Acinetobacter* spp akan mendegradasi cadangan PHB-nya menjadi sumber karbon dan energi untuk pembentukan ATP kembali. Pembentukan ATP dilakukan dengan mengambil fosfat yang ada di larutan , sehingga konsentrasi fosfat yang ada di larutan diluar sel akan turun. Sehingga pada akhir fase aerobik akan didapatkan akumulasi fosfat yang lebih besar dari pada yang dilepaskan selama fase anaerobik (Horan, 1990 dalam Rahadi, 1998)

### **2.3.2. Metabolisme Anaerobik**

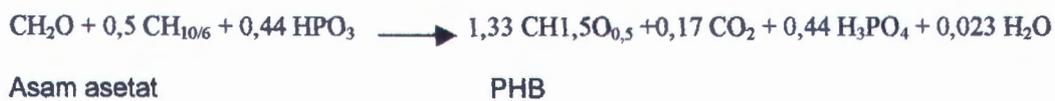
Pada kondisi anaerobik, substrat (COD) diabsorpsi oleh bakteri nonpolifosfat heterotroph dan bakteri ini memperoleh energi melalui glycolytic pathway (Embdenmeyerhoff Parnas Pathway) dengan jalan mengubah substrat menjadi asam lemak yang memiliki berat molekul ringan (VFA) dan kemudian digunakan oleh PAO sebagai cadangan karbon dalam sel yang tersimpan dalam bentuk PHB. Masuknya VFA ke dalam sel dengan cara difusi mempergunakan energi yang berasal dari degradasi polifosfat menjadi fosfat yang dilepaskan ke dalam media, dalam hal ini adalah air buangan.

Pada proses pembentukan PHB dari asetat, asetat diubah terlebih dahulu menjadi Acetyl Co-A dengan menggunakan energi yang berasal dari degradasi glikogen. Pembentukan Acetyl Co-A menjadi PHB diperlukan NADH yang juga diperoleh dari degradasi glikogen.

Untuk memaksimalkan proses pengambilan dan penyimpanan organik substrat, maka kehadiran molekul nitrogen dan oksigen sebagai elektron akseptor harus diminimalkan.

Mekanisme secara Biological P-removal pada fase anaerobik dapat dilihat pada gambar 2.2. Secara keseluruhan metabolisme secara anaerobik untuk *biological P-removal* adalah sebagai berikut (Smodler, 1995):

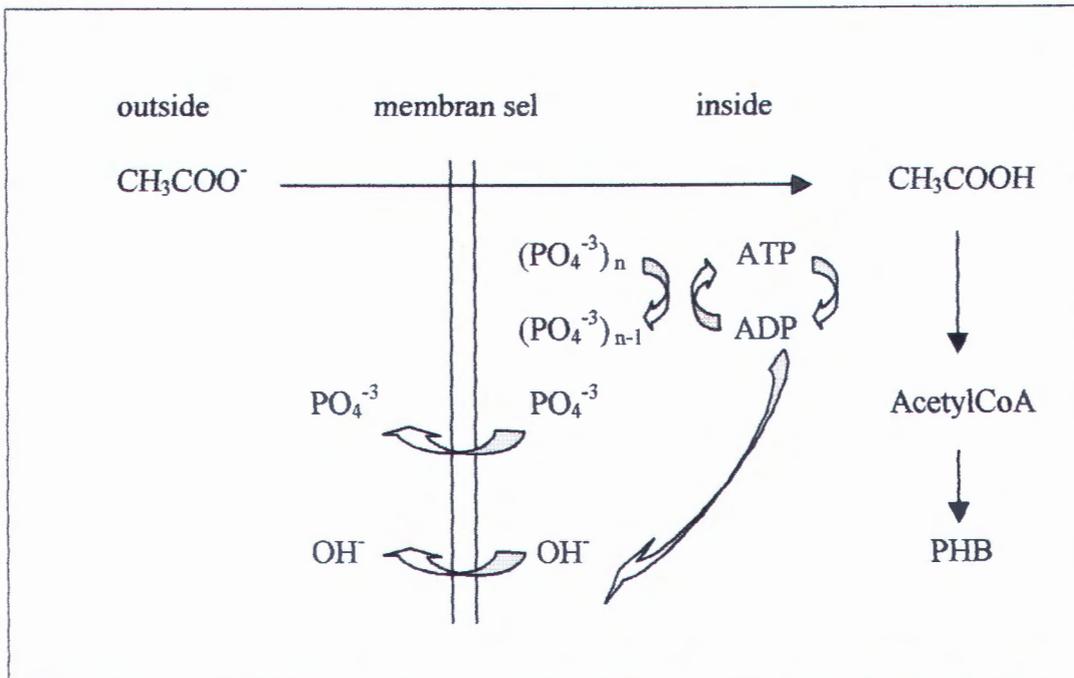
a. Pengambilan asetat



b. Perawatan



Pada fase anaerobik diperlukan waktu detensi yang panjang. Waktu detensi yang pendek dapat menghambat PAO memperoleh Volatile Fatty Acid (asetat) dan menghambat pengambilan substrat karena adanya kompetisi dengan organisme heterotroph lainnya seperti bakteri pereduksi sulfat serta bakteri fermentasi.



Gambar 2.2. Proses pengambilan asetat oleh *Acinetobacter* pada kondisi Anaerobik serta pembuatan PHB dengan pengambilan energi dari degradasi polifosfat dan pelepasan fosfat melalui dinding sel. (Sumber Horan, 1990)

### 2.3.3. Metabolisme Aerobik

Pada metabolisme fase aerobik, biological P-removal terdiri atas reaksi generasi (produksi energi) dan reaksi konsumsi (pemakaian energi).

Reaksi pembentukan energi diawali dengan katabolisme PHB. PHB didegradasi menjadi Acetyl Co-A dengan menggunakan oksigen sebagai elektron akseptor eksternal. Acetyl Co-A kemudian akan memasuki Tricarboxylic Acid cycle (TCA Cycle). Hasil dari TCA Cycle ini akan didapatkan NADH, ATP,  $\text{CO}_2$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Setelah terjadi katabolisme,

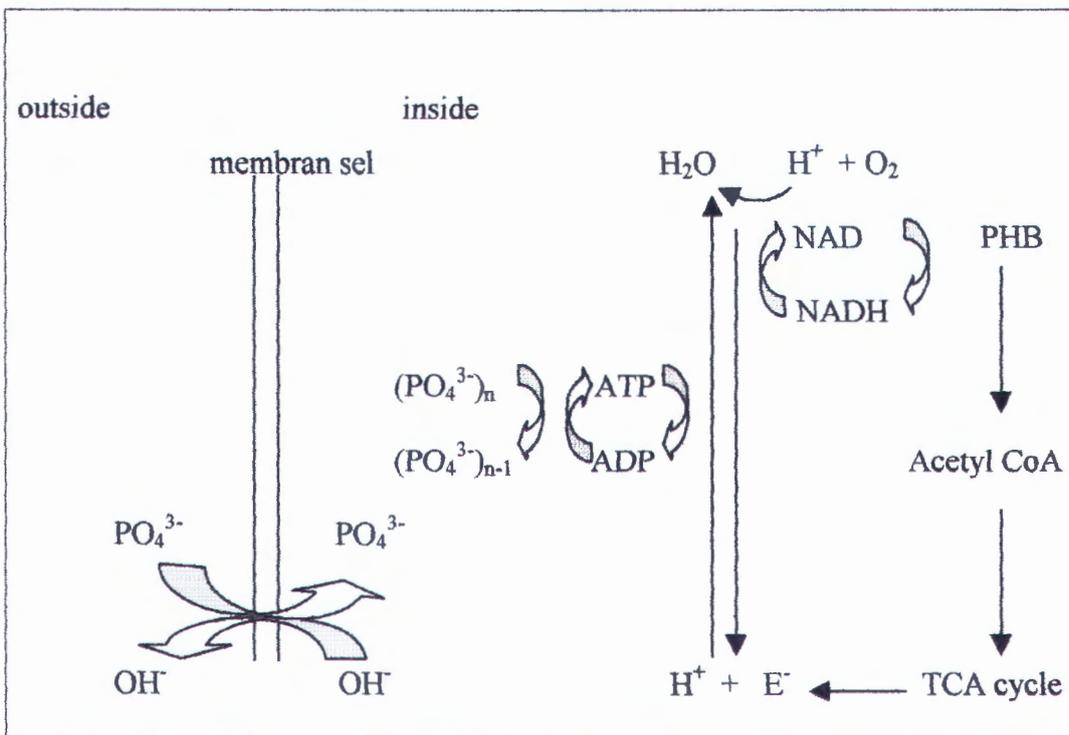
generasi energi berikutnya adalah Oxidative Phosphorylation, yaitu produksi ATP dengan oksidasi NADH. Bertindak sebagai elektron akseptor adalah electron transport chain yang kesemua komponennya adalah molekul protein.

Pada reaksi konsumsi energi terdapat beberapa tahapan, yang pertama adalah produksi biomass / sintesa biomass dari PHB. Kemudian tahap kedua adalah transport fosfat pada proses pengambilan fosfat. Fosfat bermuatan listrik ion negatif ditangkap oleh membran sel melalui potensial elektrik. Dalam sintesa polifosfat dibutuhkan ion positif. Energi yang dibutuhkan untuk transfer fosfat diperoleh dengan mengimpor proton yang diperoleh dari membran fosfat (oksidasi NADH). Tahap selanjutnya adalah sintesa polifosfat dan terakhir adalah produksi glikogen.

Pada saat kondisi aerobik PHB dikonsumsi untuk pembentukan biomass ketika fosfat dan glikogen diakumulasi oleh biomass. Kecepatan reaksi proses aerobik ditentukan oleh kandungan PHB dalam sel yang sangat mudah berubah akibat konversi selama fase anaerobik dan aerobik. Secara skematis mekanisme pengambilan fosfat dapat dilihat pada gambar 2.3.

Kecepatan konsumsi oksigen selama fase aerobik sebanding dengan kecepatan produksi ATP. Jumlah keseluruhan konsumsi oksigen sama dengan jumlah kecepatan internal untuk pertumbuhan biomass, produksi polifosfat dan glikogen serta transfer (pengambilan) fosfat.

Adanya konsumsi oksigen ini menyebabkan terbentuknya gas  $\text{CO}_2$ . Kecepatan konsumsi oksigen berkurang setelah proses pengambilan fosfat terjadi secara menyeluruh. Kondisi ini menunjukkan bahwa selama proses pengambilan fosfat terdapat kebutuhan energi. Ketika suplai fosfat berkurang atau terbatas maka pertumbuhan biomass akan terhenti. Sedangkan penambahan fosfat ke dalam sistem tidak memberikan pengaruh yang berarti pada kecepatan produksi biomass atau juga glikogen.



Gambar 2.3. Pengambilan fosfat oleh *Acinetobacter* dalam kondisi aerobik yang akan digunakan untuk pembentukan ATP dan polifosfat dengan menggunakan energi dari degradasi PHB. (Sumber Horan, 1990)

#### 2.3.4. Mikroorganisme yang Berperan

Mikroorganisme yang berperan dalam *biological P-removal* sering disebut sebagai organisme pengakumulasi fosfat (*Phosphat Accumulating Organism*). Mikroorganisme tersebut terdiri dari bakteri, yeast, jamur, dan algae (Kulaev, 1979 dalam Yeoman, et al, 1993 dalam Winanto, 1998), namun yang paling berperan adalah dari golongan bakteri dalam instalasi air buangan. Bakteri yang berperan dalam penghilangan fosfat, seperti yang disebutkan dalam Yeoman, et al, 1993 dalam Winanto 1998, terdiri atas: *Acinetobacter spp.*, *Pseudomonas vesicularis*, *Kleibseilla pneumonia*, *Micrococcus*, *Arthrobacter globiformis*, *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas punctata* *Moraxela spp.* dan *Enterobacter spp.*

Di dalam mengeliminasi fosfat, PAO dapat menggunakan asam lemak berbobot molekul rendah sebagai sumber karbon pada fase anaerobik dan menyimpannya sebagai poli- $\beta$ - hidroksibutirat (PHB).

Pada fase anaerobik, bakteri non polifosfat heterotroph (fakultatif aerob) mengabsorpsi substrat dalam hal ini COD dan memperoleh energi melalui glicolytic pathway dengan mengubah substrat menjadi asam lemak berbobot molekul rendah (VFA) yang kemudian digunakan oleh PAO untuk berbagai proses. Dengan demikian jelas diketahui bahwa bakteri non polifosfat heterotroph berperan secara tidak langsung dalam eliminasi fosfat.

Pada kondisi aliran kontinyu yang tidak mengandung VFA, tidak akan terjadi eliminasi fosfat meskipun terdapat *Acinetobacter* dalam

jumlah yang besar. Eliminasi akan terjadi bila terdapat *Aeromonas punctata* yang dapat memproduksi asam lemak volatil terutama asetat sebagai produk terbesar hasil fermentasi akhir yang diekskresi dalam media selama masa aerobik yang kemudian digunakan oleh *Acinetobacter* untuk eliminasi fosfat.

Pada fase anoksik di sistem A2/O terdapat  $\text{NO}_3^-$  sebagai elektron akseptor dan *Pseudomonas* melakukan proses denitrifikasi dengan menggunakan VFA juga. Dengan demikian dapat diketahui bahwa kehadiran nitrat menghambat pelepasan fosfat pada tahap anoksik. Mikroorganisme denitrifikasi menggunakan asetat sebagai sumber karbon dan hal ini menyaingi bakteri PAO sehingga PAO sulit mendapat sumber karbon. Hal tersebut ditambah pula dengan nitrat yang sebagai akseptor elektron mengubah kondisi anaerob menjadi anoksik sehingga pengambilan asam lemak volatil terhambat.

#### **2.4. KOMBINASI PENURUNAN FOSFAT DAN NITROGEN DENGAN SINGLE SLUDGE SYSTEM**

Sejumlah proses biologi telah dikembangkan untuk menurunkan kandungan fosfat dan nitrogen. Sebagian besar dari proses ini menggunakan proses lumpur aktif dengan kombinasi zona anaerobik, anoksik dan aerobik. Beberapa proses yang paling sering digunakan untuk menurunkan kandungan fosfat dan nitrogen adalah : (a) proses A<sup>2</sup>/O, (b) proses Bardenpho, (c) proses UCT, (d) proses VIP.

Pada prinsipnya proses A<sup>2</sup>/O merupakan pengembangan dari proses A/O dengan penambahan zona anoksik untuk proses denitrifikasi. Waktu detensi untuk zona anoksik adalah sekitar satu jam. Konsentrasi fosfat pada efluen dapat mencapai kurang dari 2 mg/l. Bila dilakukan filtrasi pada efluen, maka konsentrasi fosfat dapat mencapai kurang dari 1,5 mg/l. Tipikal desain terdapat pada pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tipikal desain kombinasi proses nutrisi removal

Desain Parameter	Unit	Proses			
		A <sup>2</sup> /O	Bardenpho	UCT	VIP
F/M	lb BOD/lb MLVSS	0,15 - 0,25	0,1 - 0,2	0,1 - 0,2	0,1 - 0,2
SRT	hari	4 - 27	10 - 40	10 - 30	5 - 10
MLSS	mg/l	3000 - 5000	2000 - 4000	2000 - 4000	1500 - 3000
HRT	jam				
Anaerobic	jam	0,5 - 1,5	1 - 2	1 - 3	1 - 4
Anoksik 1	jam	0,5 - 1,0	2 - 4	2 - 5	1 - 2
Aerobik 1	jam	3,5 - 6,0	4 - 12	4 - 13	2,5 - 4
Anoksik 2	jam		2 - 4	2 - 4	
Aerobik 2	jam		0,5 - 1		
Return sludge	%	20 - 50	50 - 100	50 - 100	50 - 100
Internal Recycle	%	100 - 300	400	100 - 600	200 - 400

Sumber: Metcalf and Eddy, 1991

## 2.5. KOMBINASI PROSES SUSPENDED GROWTH DAN ATTACHED GROWTH

Biofilm mempunyai umur lumpur yang panjang, konsentrasi biomass yang tinggi dan mempunyai tingkat kestabilan yang tinggi didalam operasi. Penambahan biofilm (RBC) di reaktor anaerobik dan anoksik bertujuan agar piringan tersebut berfungsi sebagai media tempel (*attached bed*) bagi bakteri anaerobik dan denitrifikasi dan membantu pengadukan air buangan di dalam reaktor. Anaerobik biofilm dapat

menghidrolisa COD partikulat dan COD kompleks menjadi substrat yang siap untuk dikonsumsi (*redily biodegradable COD*) dan Volatile Fatty Acid (VFA). VFA sangat diperlukan dalam jumlah yang besar hingga dalam reaktor anoksik masih terdapat VFA untuk proses denitrifikasi, dan juga digunakan PAO untuk proses pelepasan di reaktor anaerobik. Biofilm yang terdapat dalam reaktor anoksik berfungsi sebagai denitrifier. Beberapa penelitian terakhir yang berkenaan dengan proses nitrifikasi dan denitrifikasi menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan *attached bed* menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dari *suspended growth* (Rahadi, 1998). Waktu detensi reaktor anaerobik dan anoksik dapat diperpendek karena adanya umur lumpur yang panjang dari biofilm. Dengan menempatkan *partially submerged RBC* di reaktor aerobik, maka nitrifiers dapat dipertahankan pada umur lumpur yang panjang. Prinsip dari penambahan RBC ini sebenarnya adalah mengganti reaktor nitrifikasi konvensional.

Dengan kondisi seperti di atas, berarti permasalahan menyangkut nitrogen dan phosphorus removal dalam *single sludge system* dapat dipecahkan. Dengan melakukan operasi pada SRT. (Sludge Retention Time) yang singkat untuk meremoval phosphorus tidak akan memberikan efek pada kemampuan nitrifiers dengan waktu generasi yang panjang. Penambahan RBC pada reaktor anoksik berfungsi hampir sama pada reaktor aerobik namun yang lebih berperan di reaktor anoksik adalah denitrifier.

## 2.6. KOEFISIEN BIOKINETIKA

Hubungan antara pemakaian substrat dan konsentrasi substrat di tiap reaktor dapat digambarkan dengan persamaan yang similar terhadap persamaan Michaelis-Menten untuk operasi enzyme kinetics (Rahadi, 1998). Persamaan dari Michaelis-Menten adalah sebagai berikut:

$$\left[ \frac{dS}{dt} \right] u = k \frac{Sx}{K_s + S} \quad \dots\dots\dots 2 - 1$$

Dimana;

$\left[ \frac{dS}{dt} \right] u$  = substrate ulization rate (mass volume<sup>-1</sup> time<sup>-1</sup>)

X = total biomass concetration (mass volume<sup>-1</sup>)

K = maximum specificc utilization rate (time<sup>-1</sup>)

S = subtrat concentration surrounding biomass (mass volume<sup>-1</sup>)

K<sub>s</sub> = saturation constan (mass volume<sup>-1</sup>)

Specific substrat utilization (q), dideefinisikan sebagai:

$$q = \frac{\left[ \frac{dS}{dt} \right] u}{x} = k \frac{S}{K_s + S} \quad \dots\dots\dots 2 - 2$$

Ketika S >> K<sub>s</sub>, q = k

Ketika  $S \ll K_s$ ,  $q = k (S / K_s) = K S$

Dimana  $K$  = specific substrate utilization rate constant (mass volume<sup>-1</sup> time<sup>-1</sup>)

Grau (1975) dalam Rahadi (1998) mengemukakan rate of substrate utilization sebagai:

$$\left[ \frac{dS}{dt} \right] u = k_1 \times (S/S_0)^n \quad \dots\dots\dots 2 - 3$$

dimana  $K_1$  = specific substrate utilization rate constants (time<sup>-1</sup>)

Persamaan diatas dapat pula ditulis dalam bentuk:

$$q = K \{S_e/S_0\}^n$$

dengan  $S_e$  sebagai konsentrasi substrat di effluent (mass volume<sup>-1</sup>) dan  $n$  adalah orde reaksi.

Dengan mengembangkan laju penggunaan substrate oleh biomass  $q$  dan nilai  $(S_e/S_0)$  akan diperoleh garis lurus, dimana kemiringan/slope merupakan nilai  $K$  (specific substrate utilization rate constants).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

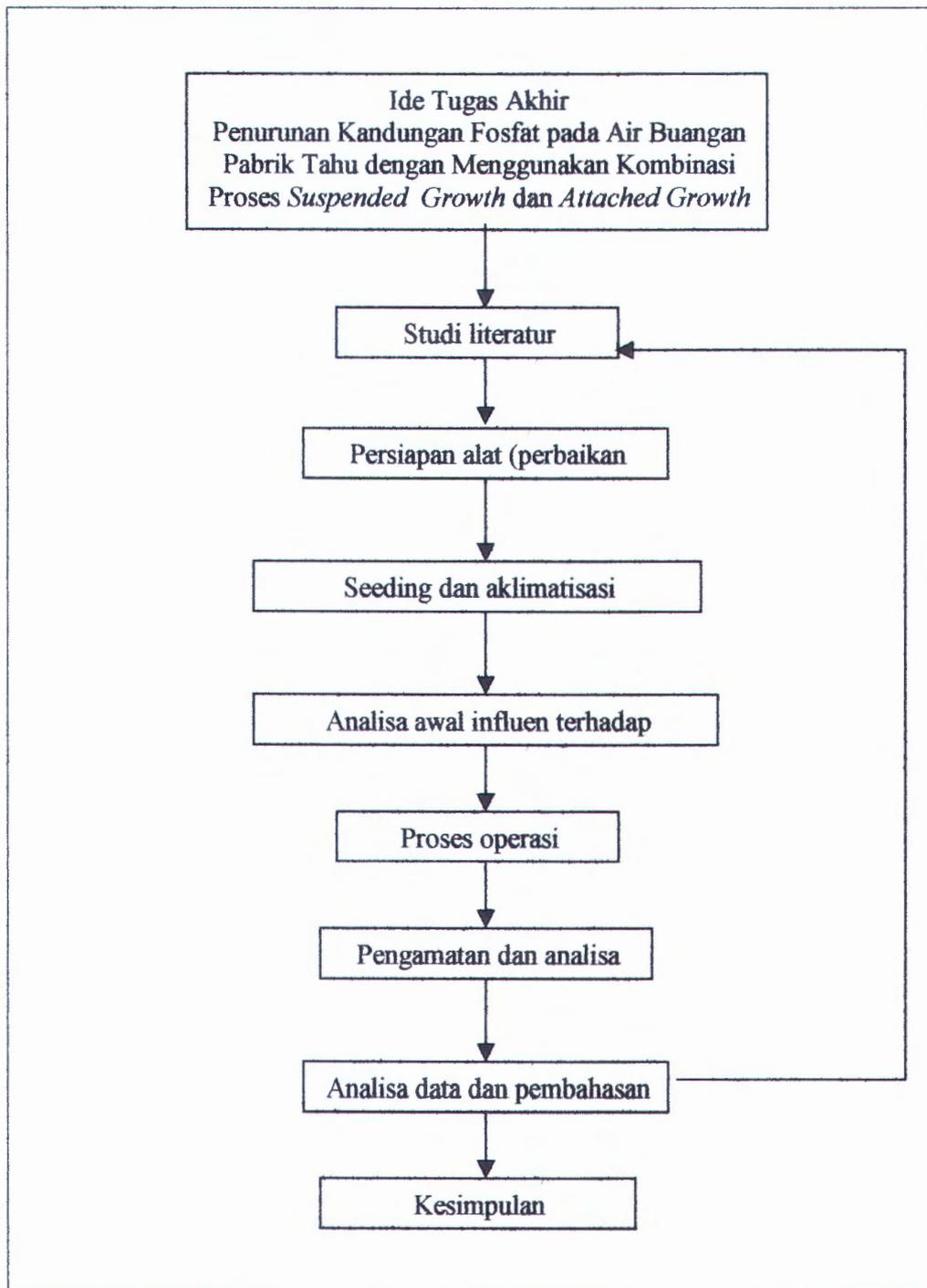
#### **3.1. UMUM**

Penelitian mengenai penurunan kandungan fosfat pada air buangan pabrik tahu ini menggunakan proses biologis kombinasi antara sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) dan sistem pertumbuhan melekat (*attached growth*). Pengoperasian reaktor dilakukan dengan mengalirkan sampel air buangan pabrik tahu pada reaktor anaerobik, anoksik, dan aerobik secara kontinyu.

Penelitian dilakukan dengan variasi waktu detensi untuk mengetahui kemampuan reaktor tersebut dalam menurunkan kandungan fosfat. Untuk analisa kemampuan reaktor tersebut dalam menurunkan kandungan fosfat dan memastikan apakah reaktor sudah berjalan dengan baik (*steady state*), maka diperlukan monitoring kondisi reaktor dengan cara pengukuran parameter-parameter kualitas air limbah yang dikaji.

#### **3.2. KERANGKA PENELITIAN**

Kerangka penelitian diperlukan untuk mengetahui dasar-dasar pemikiran pada penelitian yang dilakukan. Adapun kerangka penelitian yang digunakan diuraikan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Kerangka penelitian

### 3.3. PILOT TREATMENT PLANT

Reaktor yang digunakan adalah reaktor anaerobik, anoksik, dan aerobik yang disusun secara seri, dengan *fully submerged RBC* pada dua reaktor pertama dan *partially submerged RBC* di reaktor ketiga. Piringan RBC terbuat dari bahan akrilik dengan ketebalan 2 mm.

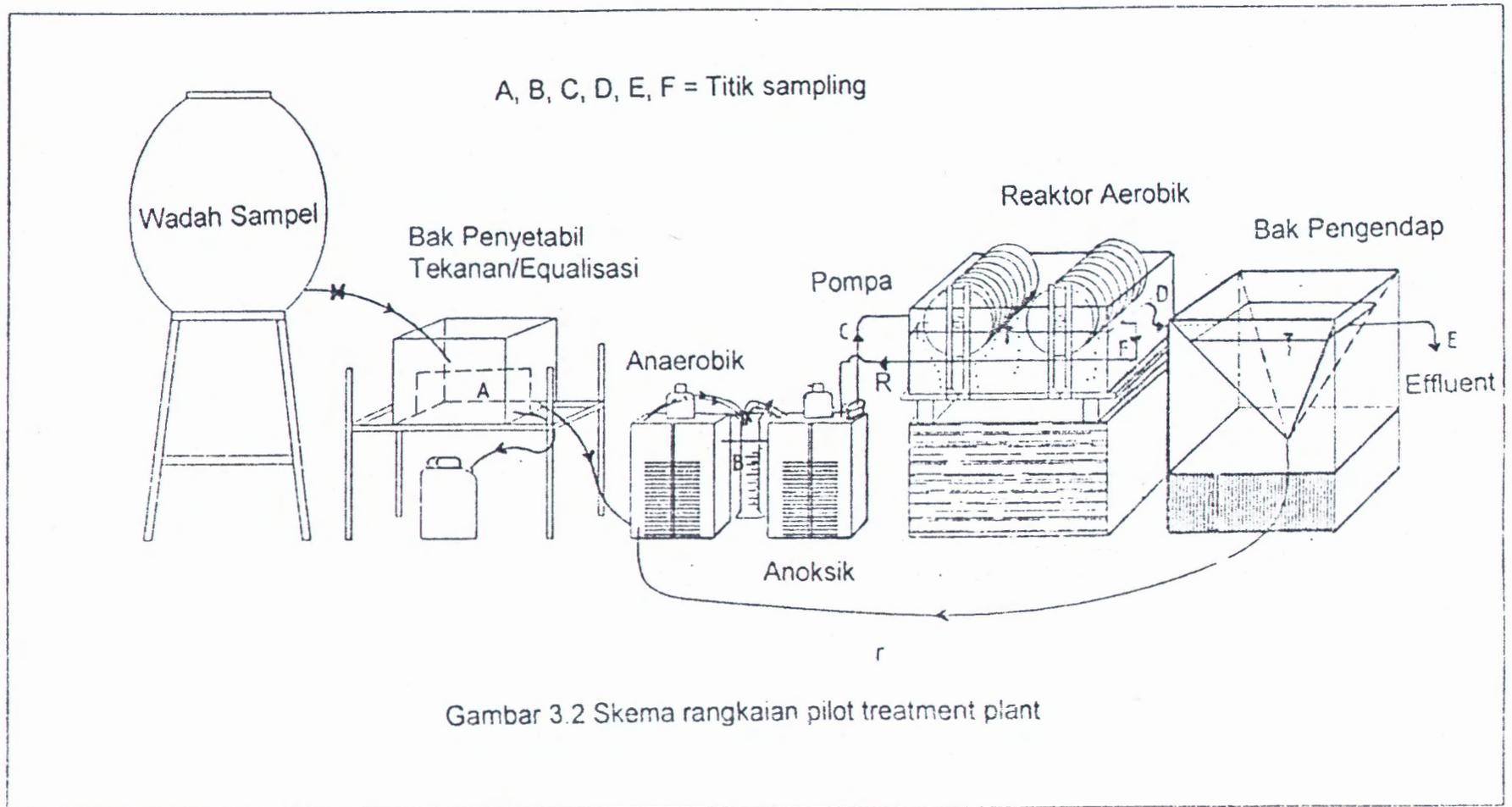
Volume reaktor anaerobik	= 12 liter
Volume reaktor anoksik	= 12 liter
Volume reaktor aerobik	= 36 liter
Volume reaktor total	= 60 liter
Diameter piringan RBC anaerobik	= 150 mm
Diameter piringan anoksik	= 150 mm
Diameter piringan aerobik	= 200 mm
Jumlah piringan anaerobik	= 18 keping
Jumlah piringan anoksik	= 18 keping
Jumlah piringan aerobik	= 30 keping
Luas permukaan piringan anaerobik	= 0,07 m <sup>2</sup>
Luas permukaan piringan anoksik	= 0,07 m <sup>2</sup>
Luas permukaan piringan aerobik	= 0,125 m <sup>2</sup>
Prosentase submerged pada RBC anaerobik	100 %
Prosentase submerged pada RBC anoksik	100 %
Prosentase submerged pada RBC aerobik	40 %
Kecepatan putaran RBC	= 5 rpm

Di tiap rektor dipasang sampling port yang berfungsi untuk pengambilan sampel guna mengetahui penurunan fosfat dan kandungan oksigen. Pada reaktor anaerobik dan anoksik dipasang lubang ventilasi gas. Skema rangkaian reaktor pada gambar 3.2.

### **3.4. PROSEDUR PENELITIAN**

#### **3.4.1. Seeding dan Aklimatisasi Mikroorganisme**

Seeding dilakukan dengan membenihkan suatu populasi mikroorganisme agar dapat membentuk suatu lapisan biofilm dan dalam bentuk tersuspensi sehingga dapat menurunkan kandungan nutrien dalam air buangan pabrik tahu. Seeding ini merupakan proses pembibitan awal sehingga nutrien dan kondisi lingkungan hidup mikroorganisme perlu diperhatikan. Seeding aerobik dilakukan dengan menggunakan lumpur aktif yang diambil dari pengolahan air limbah PT SIER sebagai sumber mikroorganismenya. Lumpur aktif dimasukkan ke dalam bejana secara batch dan ditambahkan nutrien sesuai kebutuhan. Seeding untuk kondisi anaerobik dan anoksik, dilakukan dengan menggunakan lumpur pengolahan anaerobik limbah pabrik tahu Budi Purnomo Pagesangan. Lumpur anaerobik dimasukkan dalam bejana secara batch dan kemudian ditambahkan nutrien sesuai kebutuhan. Bejana tersebut dihubungkan dengan gelas ukur yang



penuh berisi air menggunakan pipa dan bejana ditutup rapat. Gelas ukur diletakkan pada bak berisi air dan diletakkan terbalik, yang berfungsi untuk mengidentifikasi mikroorganisme yang ada tersebut sudah aklimatisasi apa belum. Apabila terjadi penurunan muka air karena adanya gas-gas produksi prose anaerobik maka proses dapat dikatakan sudah aklimatisasi.

### **3.4.2. Kondisi Operasional**

#### **3.4.2.1. Kondisi Steady State**

Kondisi operasional dikatakan steady state, apabila kemampuan pengolahan dari sistem sudah relatif konstan. Kondisi steady state tersebut dapat diketahui antara lain dari pemeriksaan senyawa organik yang dinyatakan dalam parameter PV (Permanganat Value) pada air limbah masuk reaktor dan air limbah keluar dari reaktor.

#### **3.4.2.2. Waktu Tinggal Hidraulik**

Waktu tinggal hidraulik merupakan waktu tinggal fluida dalam reaktor yang dapat ditentukan dengan perbandingan antara volume reaktor dengan rate aliran influen air buangan. Pada penelitian ini waktu tinggal hidraulik ditentukan 10, 12, 14, dan 16 jam. Pemilihan lama waktu tinggal hidraulik ini diambil dari kriteria desain untuk proses  $A^2/O$ . Disamping itu dilakukan penambahan

lama waktu tinggal agar bahan organik yang terdegradasi lebih banyak dan pelepasan fosfat di reaktor anaerobik lebih besar, sehingga pada akhirnya efisiensi total penurunan fosfat juga lebih besar.

#### 3.4.2.3. Kandungan Oksigen Terlarut

Kandungan oksigen terlarut pada kondisi operasional sangat diperhatikan terutama pada kondisi aerobik. Pada reaktor anaerob dan anoksik kandungan oksigen terlarut harus mendekati atau sama dengan 0 mg/l.

#### 3.4.3.4. Suhu dan pH

Suhu operasional reaktor disesuaikan dengan suhu lingkungan yaitu  $\pm 28^{\circ}$  C. Sampel air buangan pabrik tahu yang bertemperatur diatas  $35^{\circ}$  C didiamkan terlebih dahulu sampai suhunya sesuai dengan temperatur ruangan. Derajat keasaman (pH) diatur agar pH larutan sampel asli yang mempunyai pH 3,0 – 4,0 menjadi netral dengan pH 7,0 – 8,0. Penetralan pH tersebut dilakukan dengan penambahan NaOH.

#### 3.4.3.5. Debit Aliran

Pengontrolan debit dilakukan untuk menjaga waktu tinggal hidraulik agar tetap konstan. Kalibrasi debit dilakukan dengan menggunakan *stop watch* dan gelas ukur. Perhitungan data debit dan waktu tinggal terdapat dalam Lampiran 1.

### **3.4.3. Metode Analisa**

Seluruh metode analisa yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada buku Metode Penelitian Air karya Alaert dan Sumestri (1984).

#### **3.4.3.1. Pemeriksaan Permanganat Value**

Pemeriksaan permanganat value dilakukan untuk mengetahui kondisi steady state operasional dan nilai pengenceran untuk pemeriksaan BOD.

#### **3.4.3.2. Biological Oksigen Demand (BOD)**

BOD merupakan banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menstabilkan bahan organik yang ada dengan kondisi aerobik secara biokimia.

#### **3.4.3.3. Dissolved Oksigen**

Pemeriksaan nilai DO dilakukan dengan menggunakan metode Winkler. Pemeriksaan nilai DO ini diperlukan untuk memastikan kondisi anaerobik, anoksik dan aerobik sudah terbentuk.

#### **3.4.3.4. Analisa Fosfat**

Pemeriksaan fosfat dilakukan dalam bentuk total fosfat terlarut. Sebelum dilakukan analisa dilakukan penyaringan terlebih dahulu terhadap sampel. Sampel yang telah disaring dilebur dengan asam serta reaksi oksidasi (digestion) dengan pemanasan. Kondisi asam dinetralkan dengan NaOH dengan indikator

fenolftalin. Kemudian pemeriksaan sampel dilakukan dengan metode ortofosfat. Sampel yang telah dinetralkan ditambahkan Ammonium molybdate dan  $\text{SnCl}_2$  yang telah dilarutkan dalam glycerin. Larutan akan bereaksi dan membentuk warna biru. Warna ini berbanding lurus dengan konsentrasi fosfor. Konsentrasi fosfor didapatkan dari garis kalibrasi yang ditentukan dengan spektrofotometer. Grafik dan persamaan kalibrasi  $\text{PO}_4^{3-}$  dapat dilihat pada Lampiran 2.

#### 3.4.3.5. Analisa Mixed Liquor Volatile Suspended Solid

Pemeriksaan Volatile Suspended Solid sebagai zat padat tersuspensi organik bertujuan untuk mengetahui konsentrasi biomassa yang ada dalam reaktor kombinasi. Metode pemeriksaan VSS ini dengan menggunakan kertas saring serta pemanasan pada suhu  $110^\circ\text{C}$  dan  $550^\circ\text{C}$ .

#### 3.4.4. Metode Sampling

Sampling dilakukan pada titik-titik sampling yang terdapat pada influent dan effluent masing-masing rangkaian reaktor dan dilakukan secara grab sample.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. HASIL PENELITIAN

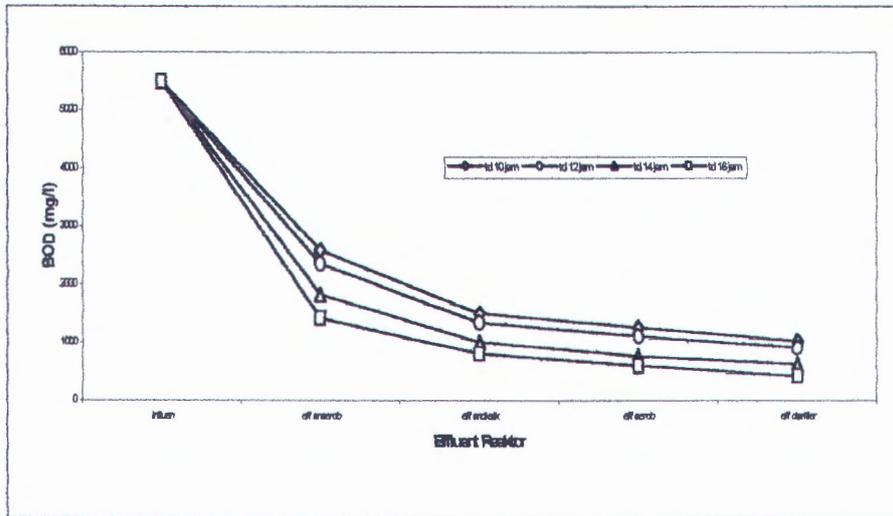
Sebelum dilakukan proses operasi terhadap parameter uji, dilakukan dulu analisa awal pada kualitas air buangan segar. Hasil analisa awal terhadap air buangan pabrik tahu adalah sebagai berikut:

- $BOD_5^{20}$  = 5490,5 mg/l
- DO = 0 mg/l
- N total = 172,5 mg/l
- P total = 89,4 mg/l
- Nilai pH = 4,09

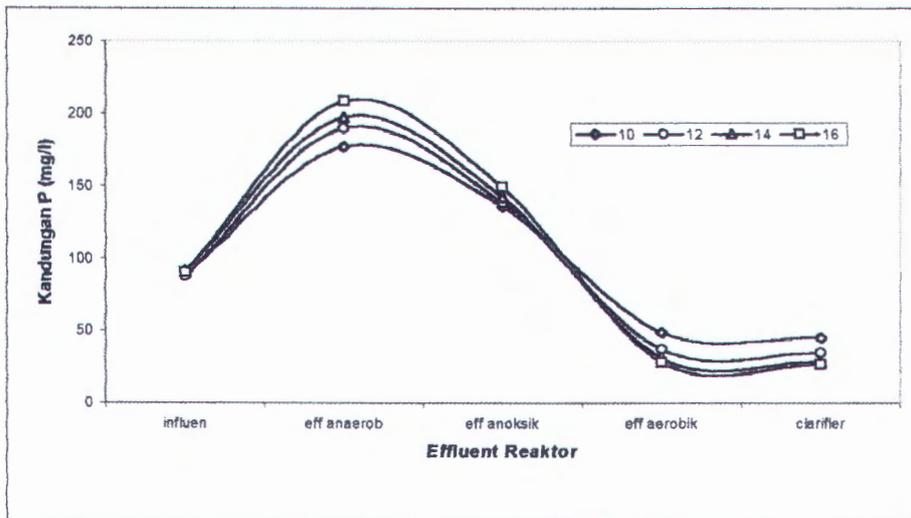
Penelitian yang dilakukan pada kondisi operasional dengan waktu detensi total (10, 12, 14, dan 16 jam) menunjukkan adanya penurunan kandungan fosfat.

Efisiensi penurunan kandungan fosfat yang terjadi pada proses ini berkisar antara 49,6 % sampai dengan 70,3 %. Efisiensi penurunan fosfat terendah dihasilkan pada proses operasi dengan waktu detensi total 10 jam dengan kandungan fosfat di effluen sebesar 45,05 mg/l. Sedangkan efisiensi tertinggi dicapai pada proses operasi dengan waktu detensi total 16 jam dengan kandungan fosfat di effluen sebesar 26,60 mg/l.

Data hasil penelitian dan perhitungan prosentase penurunan secara lengkap terdapat pada Lampiran 3 dan Lampiran 4. Grafik trend penurunan BOD dan P dapat dilihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2.



Gambar 4.1 Grafik penurunan BOD



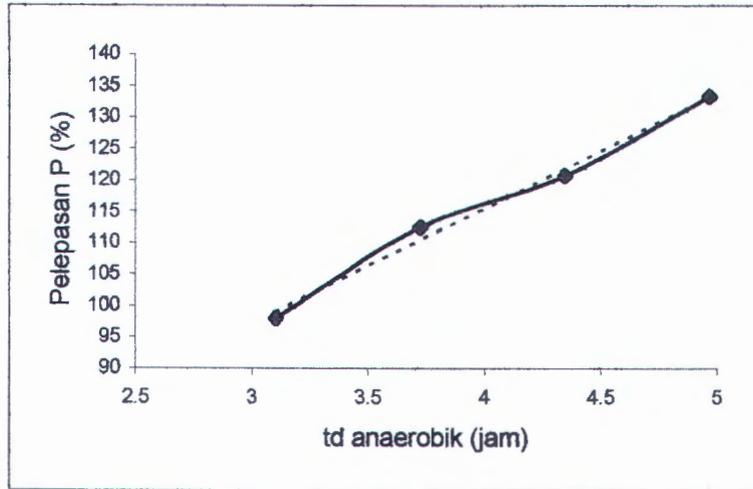
Gambar 4.2. Grafik penurunan P

#### **4.2. PENGARUH WAKTU DETENSI TERHADAP EFISIENSI PENURUNAN FOSFAT**

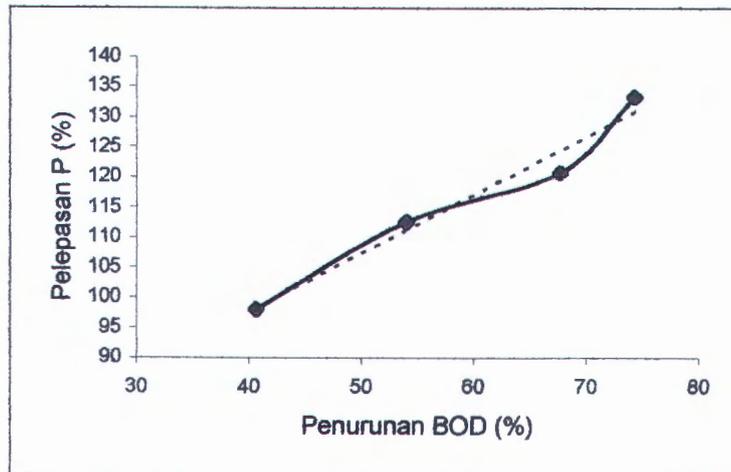
Waktu detensi yang berbeda pada tiap proses berpengaruh terhadap efisiensi penurunan fosfat, meskipun perbedaan efisiensi penurunan fosfat yang ada tidak begitu mencolok untuk tiap variasi waktu detensi.

Pada reaktor anaerobik akan terjadi pelepasan fosfat, *Acinetobacter* spp mempunyai kemampuan untuk mendegradasi VFA (Volatile Fatty Acid), khususnya dalam bentuk asetat. Asetat ini akan diubah menjadi poly 2-hydroxy butyrate (PHB) saat fosfat dilepaskan ke dalam larutan. Dapat diketahui bahwa waktu detensi berpengaruh terhadap kandungan fosfat yang ada pada larutan. Semakin lama waktu detensi maka semakin tinggi pula kandungan fosfat yang ada di larutan. Hal ini disebabkan oleh waktu detensi yang pendek akan mengakibatkan PAO terhambat dalam memperoleh asam lemak volatile (VFA), karena PAO harus bersaing dengan organisme heterotroph yang lain. PAO memerlukan waktu detensi yang lebih lama untuk dapat mengambil VFA dan melepas fosfat ke dalam larutan semaksimal mungkin. VFA berasal dari air limbah itu sendiri yang berupa cuka tahu dan sebagai hasil dari hidrolisis dan asidifikasi pada proses anaerobik.

Pengaruh waktu detensi terhadap pelepasan fosfat di reaktor anaerobik dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut:



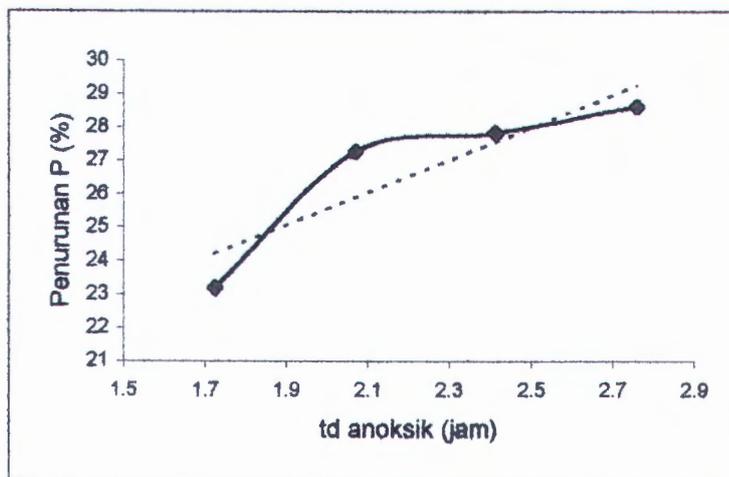
Gambar 4.3. Grafik hubungan waktu detensi dengan pelepasan P di reaktor anaerobik terhadap konsentrasi influent



Gambar 4.4. Grafik hubungan penurunan BOD dengan pelepasan P di reaktor anaerobik

Waktu detensi yang pendek juga menyebabkan VFA dalam reaktor anaerobik terbatas karena substrat yang ada belum teruraikan

sepenuhnya melalui hidrolisis dan asidifikasi. Waktu detensi yang panjang memberikan kesempatan pada PAO untuk dapat memperoleh VFA. Hal ini disebabkan sebab jumlah VFA dalam reaktor anaerobik akan meningkat dari hasil hidrolisis dan asidifikasi, sehingga pelepasan fosfat ke dalam larutan akan meningkat. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.4 dimana peningkatan jumlah VFA sebagai hasil hidrolisis dan asidifikasi serta penggunaannya oleh PAO yang digambarkan oleh penurunan BOD akan meningkatkan pelepasan fosfat oleh PAO.



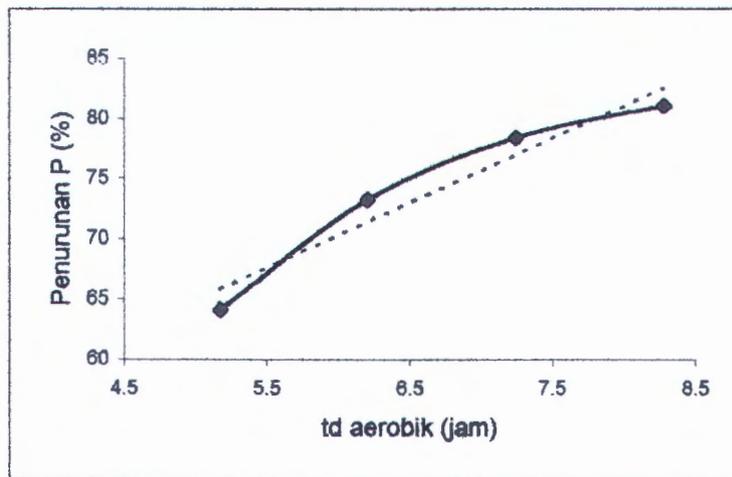
Gambar 4.5. Grafik hubungan waktu detensi dengan penurunan P di reaktor anoksik

Pada reaktor anoksik sudah terjadi pengambilan fosfat (P-uptake) dari larutan oleh PAO. Hal tersebut diakibatkan oleh adanya  $\text{NO}_3^-$  sebagai elektron akseptor. Pengambilan fosfat dari larutan dapat terjadi karena sebagian PAO dapat menggunakan  $\text{NO}_3^-$  sebagai elektron akseptor (Kern-Jespersen dan Henze, 1993). Pada gambar 4.5 dapat

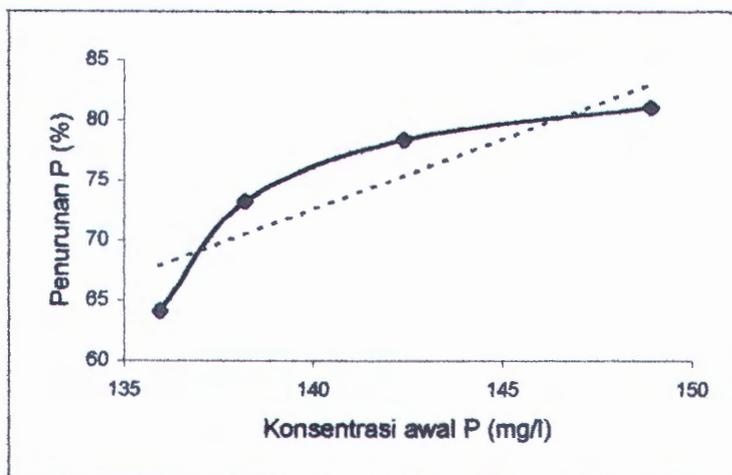
dilihat bahwa waktu detensi berpengaruh terhadap pengambilan fosfat di reaktor anoksik.

Perbedaan waktu detensi di reaktor aerobik juga memberikan pengaruh terhadap efisiensi penurunan fosfat di reaktor aerobik, hal tersebut dapat dilihat di gambar 4.6. Efisiensi penurunan fosfat terbesar pada reaktor aerobik dicapai oleh waktu detensi yang panjang karena pada kondisi ini asetat (VFA) yang merupakan hasil hidrolisis dan asidifikasi sudah mulai mencukupi untuk membentuk cadangan PHB yang besar ketika berada di fase anaerobik. Semakin banyak cadangan PHB yang ada pada fase anaerobik maka semakin banyak pula fosfat yang dilepas ke dalam larutan pada fase tersebut. Jumlah fosfat yang diambil (P-uptake) oleh PAO di tangki aerasi lebih besar bila fosfat yang dilepaskan (P-release) di reaktor anaerobik juga besar (Czerska, 1997).

Cadangan PHB yang minim mengakibatkan proses pengambilan fosfat dari larutan ke dalam biomass menjadi lebih lambat. Dengan waktu detensi yang panjang VFA yang merupakan hasil hidrolisis di fase anaerobik mencukupi untuk membentuk cadangan PHB yang besar



Gambar 4.6. Grafik hubungan waktu detensi dengan efisiensi penurunan P di reaktor aerobik

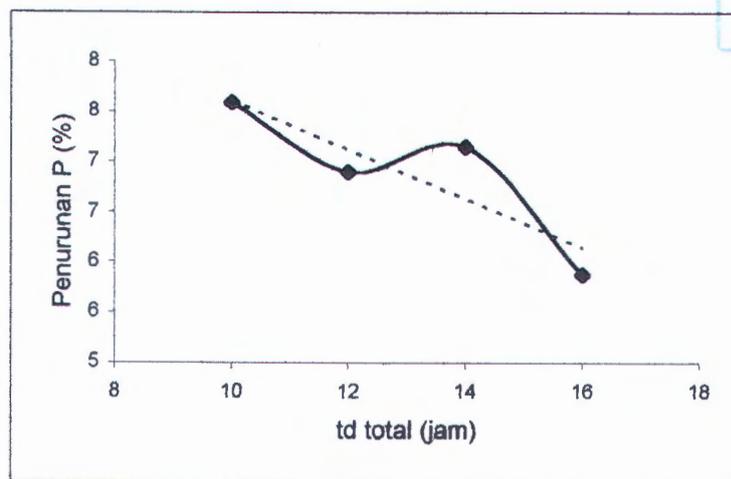


Gambar 4.7. Grafik hubungan konsentrasi awal P dengan efisiensi penurunan P di reaktor aerobik

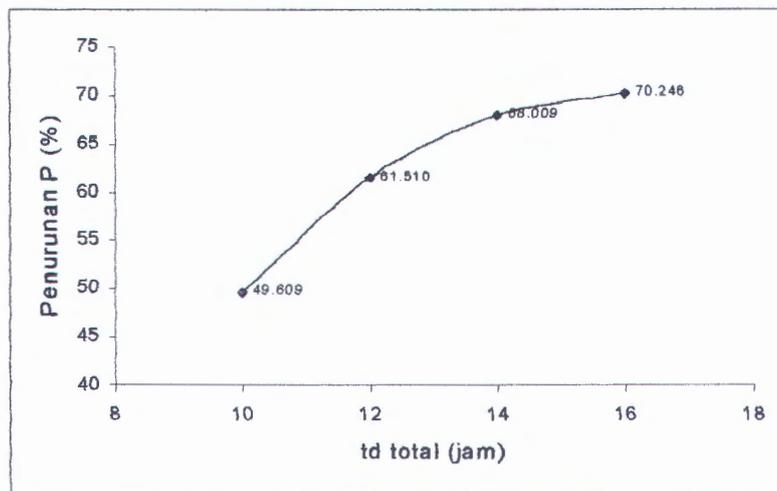
Pengaruh cadangan PHB yang besar terhadap efisiensi penurunan fosfat dapat dilihat pada gambar 4.7. Dari grafik yang terdapat dalam gambar tersebut dapat diketahui bahwa makin besar cadangan PHB pada biomass (yang sebanding dengan besarnya konsentrasi fosfat

di influen aerobik) akan menyebabkan makin besar pula efisiensi penurunan fosfat.

Pada klarifier juga terdapat penurunan kandungan fosfat. Hal tersebut dapat dilihat pada effluen akhir klarifier yang menunjukkan adanya pengurangan kandungan fosfat bila dibandingkan dengan influen yang masuk pada klarifier. Penurunan kandungan fosfat tersebut dapat dilihat pada gambar 4.8. Penurunan kandungan fosfat pada klarifier ini terjadi karena masih adanya cadangan PHB pada biomass dan masih adanya kandungan oksigen terlarut setelah keluar dari tangki aerobik, meskipun kandungan oksigen terlarut di klarifier tersebut terbatas. Kondisi tersebut mengakibatkan masih adanya aktifitas pengambilan fosfat (P-uptake) di tangki pengendapan.



Gambar 4.8. Grafik hubungan waktu detensi dengan efisiensi penurunan P di klarifier



Gambar 4.9. Grafik hubungan waktu detensi total dengan efisiensi BPR

Pengaruh waktu detensi total terhadap efisiensi penurunan fosfat dapat diketahui pada Gambar 4.9 Efisiensi penurunan fosfat terendah dihasilkan pada proses operasi dengan waktu detensi total 10 jam dengan kandungan fosfat di effluen sebesar 45,05 mg/l. Sedangkan efisiensi tertinggi dicapai pada proses operasi dengan waktu detensi total 16 jam dengan kandungan fosfat di effluen sebesar 26,60 mg/l. Sedangkan menurut Metcalf and Eddy (1991) effluent fosfat dapat mencapai kurang dari 2 mg/l dengan proses  $A^2/O$ , dengan begitu pilot treatment plant dalam penelitian ini tidak begitu baik dalam menurunkan kandungan fosfat pada air buangan pabrik tahu.

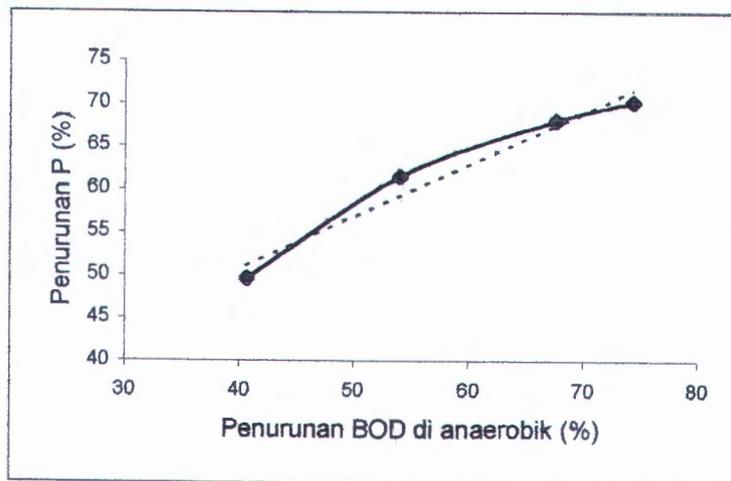
#### **4.3. PENGARUH PENURUNAN KARBON DAN PELEPASAN FOSFAT DI ANAEROBIK TERHADAP EFISIENSI PENURUNAN FOSFAT**

Semakin panjang waktu detensi di anaerobik semakin banyak pula asetat (VFA) yang dihasilkan dari hidrolisis dan asidogenesis. Efisiensi penurunan fosfat dipengaruhi oleh pengambilan asetat (VFA) dan pelepasan fosfat di reactor anaerobic. Pengambilan asetat dalam jumlah besar akan membuat cadangan PHB dalam biomass meningkat, dan ini berarti meningkatkan jumlah fosfat yang dilepas ke dalam larutan. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.10 yang menunjukkan hubungan antara jumlah asetat (VFA) yang diambil yang dikorelasikan sebagai penurunan BOD di anaerobic dengan efisiensi penurunan fosfat secara keseluruhan.

Pada reaktor anaerobik, penurunan BOD disebabkan oleh pengambilan VFA oleh PAO dan juga disebabkan oleh hidrolisis oleh bakteri fakultatif. Pelepasan fosfat oleh PAO di anaerobik terjadi akibat adanya proses perawatan dan juga akibat adanya pembentukan PHB.

Pada reaktor anoksik, penurunan BOD disebabkan oleh bakteri denitrifikasi yang mengoksidasi VFA dengan elektron akseptor  $\text{NO}_3^-$ , sehingga pengambilan fosfat dan penurunan BOD melibatkan dua macam bakteri yang berbeda.

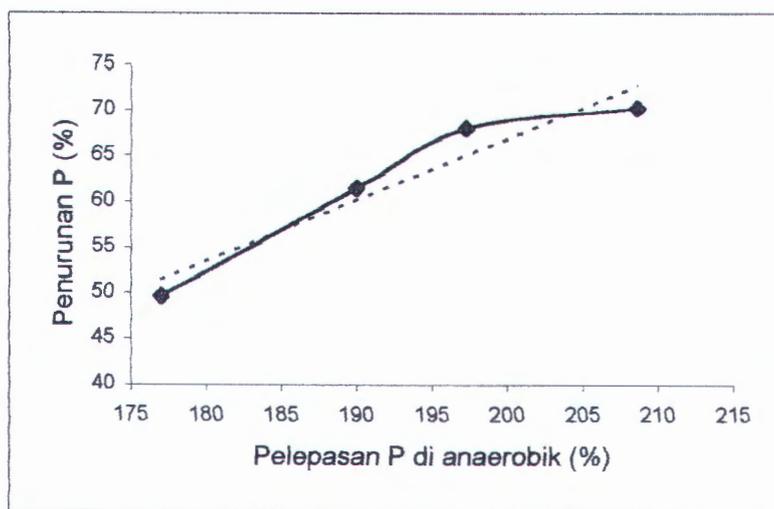
Jenis karbon/BOD yang didegradasikan di aerobik berbeda dengan yang terdapat pada reaktor sebelumnya yang berbeda. Karena pada reaktor aerobik kemungkinan besar VFA telah habis dikonsumsi di anaerobik dan anoksik, sehingga yang berperan dalam reaktor aerobik adalah bakteri aerobik untuk penurunan BOD dan penurunan fosfat.



Gambar 4.10. Grafik hubungan antara penurunan BOD di anaerobik dengan efisiensi penurunan P

Pada gambar 4.11 ditunjukkan hubungan antara pelepasan P di reactor anaerobik dengan efisiensi penurunan P secara keseluruhan. Dari kedua grafik yang terdapat pada kedua gambar tersebut dapat diketahui bahwa adanya pengaruh penurunan BOD pada efisiensi penurunan fosfat. Semakin tinggi penurunan BOD di reactor anaerobik maka semakin tinggi pula efisiensi penurunan fosfat. Tingginya cadangan PHB pada biomass mempunyai pengaruh yang besar pada efisiensi secara keseluruhan. Hal ini disebabkan karena cadangan PHB yang

tinggi akan mengakibatkan biomass mempunyai cadangan energi yang besar untuk menarik fosfat dalam larutan di anoksik dan aerobik untuk membentuk polifosfat. Semakin tinggi energi yang ada maka proses penarikan fosfat akan berjalan lebih cepat.

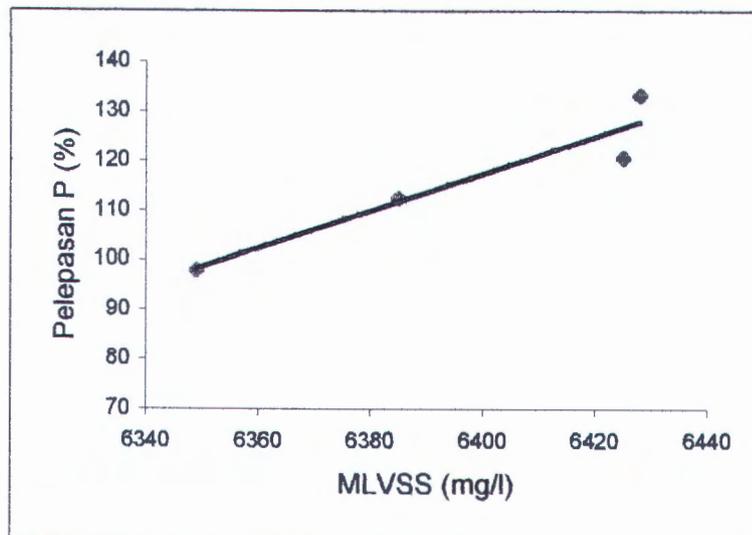


Gambar 4.11. Grafik hubungan antara pelepasan P di reaktor anaerobik dengan efisiensi penurunan P

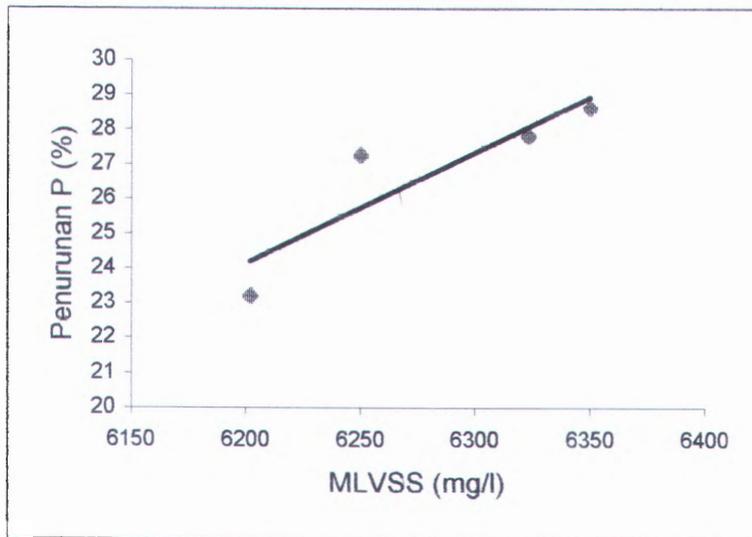
#### 4.3. PENGARUH MLVSS TERHADAP EFISIENSI PENURUNAN FOSFAT

Semakin banyak biomass yang terdapat dalam reaktor semakin besar pula efisiensi penurunan fosfat. Hal tersebut dikarenakan semakin banyaknya populasi mikroorganisme yang berperan dalam proses biologis yang terjadi. Perhitungan MLVSS di tiap reaktor terdapat pada Lampiran 5.

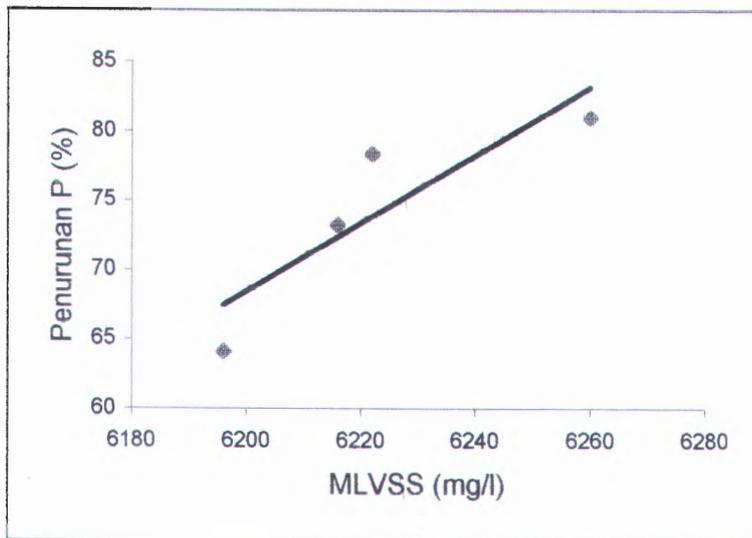
Pada gambar 4.12. ditunjukkan bahwa semakin besar MLVSS yang terdapat didalam reaktor semakin besar pula efisiensi pelepasan P di reaktor anaerobik. Pada reaktor anaerobik akan terjadi pelepasan fosfat, *Acinetobacter* spp mempunyai kemampuan untuk mendegradasi VFA (Volatile Fatty Acid), khususnya dalam bentuk asetat. Asetat ini akan diubah menjadi poly 2-hydroxy butyrate (PHB) saat fosfat dilepaskan ke dalam larutan. Dengan demikian semakin banyak biomass yang terdapat dalam reaktor anaerobik semakin banyak pula VFA yang didegradasi.



Gambar 4.12. Grafik hubungan MLVSS terhadap pelepasan fosfat di anaerobik



Gambar 4.13. Grafik hubungan MLVSS terhadap penurunan kandungan fosfat di anoksik



Gambar 4.14. Grafik hubungan MLVSS terhadap penurunan kandungan fosfat di aerobik

Pada reaktor anoksik dan aerobik, semakin banyak MLVSS yang terdapat dalam reaktor anoksik semakin besar pula efisiensi penurunan kandungan fosfat dikedua reaktor tersebut. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.13 dan gambar 4.14. Semakin banyak MLVSS yang terdapat dalam reaktor berarti semakin banyak populasi mikroorganisme yang berperan dalam pengambilan fosfat yang terdapat dalam larutan. Semakin banyak kandungan MLVSS yang ada, semakin bagus pula proses Biological P-Removal.

#### 4.5. KOEFISIEN BIOKINETIKA

Perhitungan koefisien biokinetika pada Bab IV ini berdasarkan pada rumus-rumus yang telah dikembangkan pada Bab II.

Dengan mengembangkan laju penggunaan substrate oleh biomass  $q$  dan nilai  $(S_e/S_o)$  akan diperoleh garis lurus, dimana kemiringan/slope merupakan nilai  $K$  (*Specific substrate utilization rate constant*).  $S_e/S_o$  sebagai sumbu x dan nilai  $q$  sebagai sumbu y. Untuk penurunan BOD akan didapatkan nilai spesifik BOD utilization rate. Untuk penurunan P akan didapatkan nilai spesifik P-uptake rate, kecuali pada reaktor anaerobik akan didapatkan nilai spesifik P-release rate karena pada reaktor anaerobik terjadi pelepasan P. Perhitungan lengkap terdapat pada Lampiran 6.

Pada gambar 4.15 digambarkan spesifik BOD utilization rate di anaerobik. Didapatkan nilai slope/kemiringan garis sebesar 1,8055

sebagai nilai K untuk penurunan BOD di reaktor anaerobik. Semakin besar nilai K pada reaktor anaerobik semakin besar pula nilai spesifik BOD utilization rate di reaktor anaerobik.

Pada gambar 4.16 digambarkan spesifik BOD utilization rate di anoksik. Didapatkan nilai slope/kemiringan garis sebesar 39.168 sebagai nilai K untuk penurunan BOD di reaktor anoksik.

Pada gambar 4.17 digambarkan spesifik BOD utilization rate di aerobik. Didapatkan nilai slope/kemiringan garis sebesar 0,5967 sebagai nilai K untuk penurunan BOD di reaktor aerobik.

Pada gambar 4.18 digambarkan grafik pelepasan P (*specific P-release*) di reaktor anaerobik. Didapatkan nilai slope/kemiringan garis sebesar 0,2377 sebagai nilai K untuk pelepasan P di reaktor anaerobik.

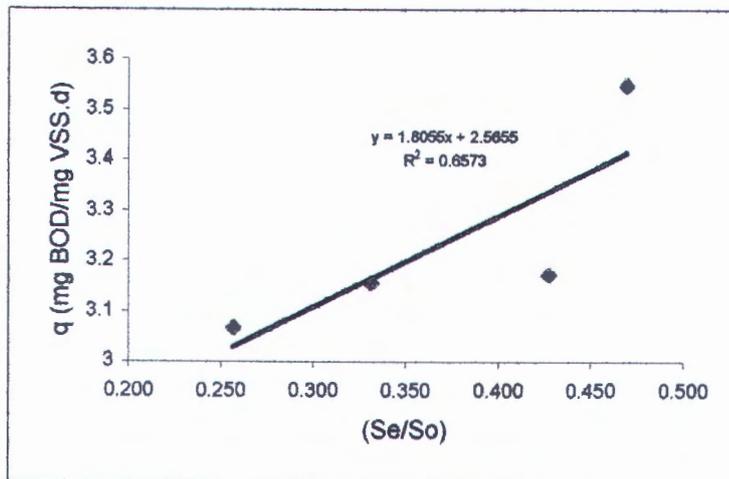
Pada gambar 4.19 digambarkan grafik penurunan P (*specific P-release*) di reaktor anoksik. Didapatkan nilai slope/kemiringan garis sebesar 0,1377 sebagai nilai K untuk penurunan P di reaktor anoksik.

Pada gambar 4.20 digambarkan grafik penurunan P (*specific P-release*) di reaktor aerobik. Didapatkan nilai slope/kemiringan garis sebesar 0,0518 sebagai nilai K untuk penurunan P di reaktor aerobik.

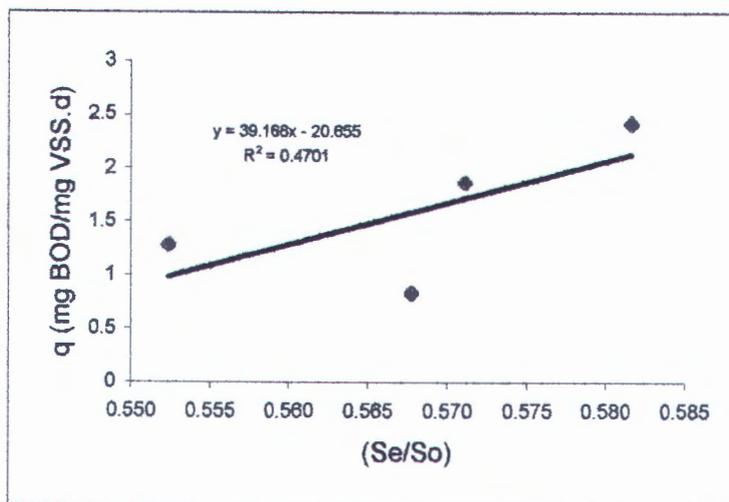
Dari grafik penurunan P di reaktor anoksik dapat diketahui bahwa pada reaktor anoksik sudah terjadi penurunan P. Namun nilai penurunan P pada reaktor anoksik tidak begitu besar dibandingkan dengan nilai penurunan P di reaktor aerobik.



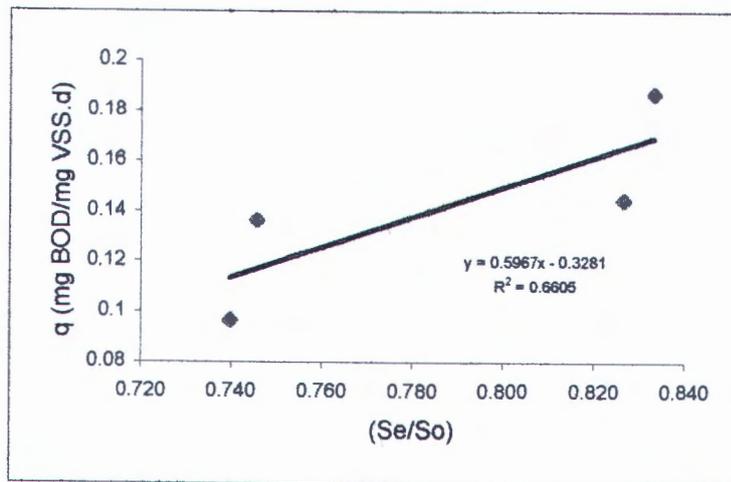
Grafik-grafik berikut ini menunjukkan nilai K untuk penurunan BOD di tiap reaktor, pelepasan fosfat di anaerobik serta pengambilan fosfat di anoksik dan aerobik.



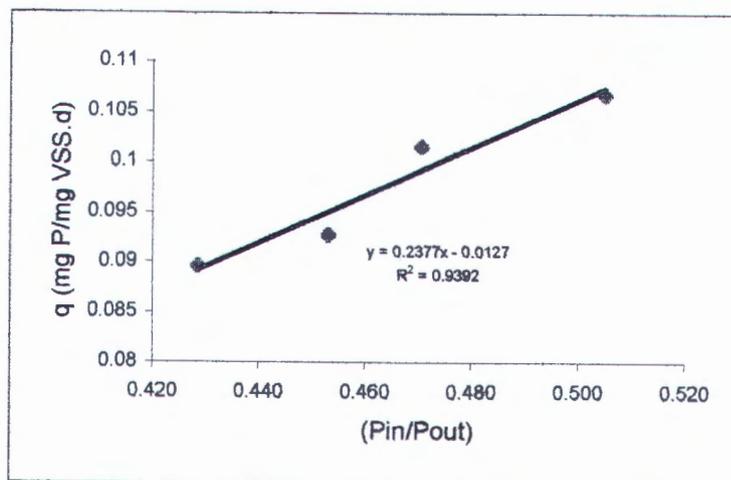
Gambar 4.15. Grafik specific BOD utilization rate di anaerobik



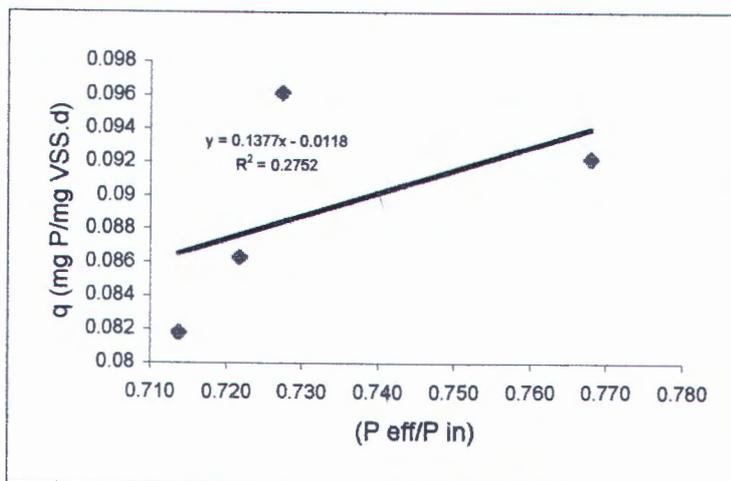
Gambar 4.16. Grafik specific BOD utilization rate di anoksik



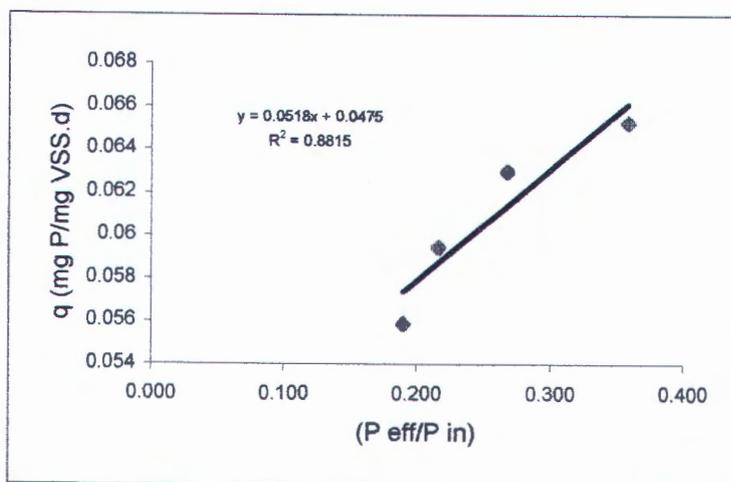
Gambar 4.17. Grafik specific BOD utilization rate di aerobik



Gambar 4.18. Grafik specific P-release rate di anaerobik



Gambar 4.19. Grafik specific P-uptake rate di anoksik



Gambar 4.20. Grafik specific P-uptake rate di aerobik

Untuk lebih jelasnya, koefisien biokinetika untuk penurunan BOD dan P dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Koefisien Biokinetika BOD dan P untuk tiap proses

Reaktor	K BOD	K P
	(mg BOD/mg VSS.d)	(mg P/mg VSS.d)
Anaerobik	1.8055	0.2377
Anoksik	39.1680	0.1377
Aerobik	0.5967	0.0518

Ket: Nilai koefisien biokinetika untuk P di anaerobik adalah nilai P-release rate, dan nilai pada anoksik dan aerobik adalah nilai P-uptake rate

Untuk mengaplikasikan hasil penelitian ini di lapangan diperlukan penelitian lebih lanjut, sebab pada kondisi yang sebenarnya banyak hal yang mempengaruhi dari kinerja sistem ini. Bahan-bahan toksik, shock loading, perbandingan BOD:N:P yang bervariasi, beban organik yang tinggi adalah sedikit diantara beberapa hal yang harus diteliti lebih lanjut agar diketahui pengaruhnya, sehingga penerapan di lapangan tidak jauh berbeda dengan apa yang didapat di penelitian.

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1. KESIMPULAN

Dari penelitian penurunan kandungan fosfat pada air buangan pabrik tahu dengan menggunakan kombinasi proses suspended growth dan attached growth dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kombinasi suspended growth dan attached growth dalam penelitian ini tidak dapat berfungsi dengan baik untuk menurunkan kandungan fosfat dalam air buangan pabrik tahu. Efisiensi tertinggi yang dapat dicapai dalam penelitian ini hanyalah 70,3 %. Dengan kandungan fosfat di effluent sebesar 26,60 mg/l. Sedangkan menurut Metcalf and Eddy (1991) effluent fosfat dapat mencapai kurang dari 2 mg/l dengan proses A<sup>2</sup>/O.
2. Perubahan waktu detensi sangat berpengaruh pada efisiensi penurunan kandungan fosfat. Semakin lama waktu detensi yang ada semakin tinggi pula efisiensi penurunan kandungan fosfat untuk range yang ditentukan.
3. Di reaktor anoksik terjadi proses pengambilan fosfat dengan menggunakan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> sebagai elektron akseptor. Efisiensi tertinggi penurunan kandungan fosfat di reaktor anoksik mencapai 28,62 %.

## **5.2. SARAN**

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui proses penurunan kandungan fosfat yang terjadi di bak pengendap.
2. Supaya dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh asam asetat awal yang berasal dari air limbah pabrik tahu.
3. Agar dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi waktu detensi yang lebih panjang untuk mengetahui batas efisiensi penurunan kandungan fosfat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaert, G. dan Simestri, Sri. S. 1984. **Metode Penelitian Air**. Surabaya; Usaha Nasional.
- APHA/AWWAWPCF.1997. **Standard Methode for Experimental of Water and Wastewater**. Washington DC, USA; American Public Health Association.
- Benefield, D. Larry dan Randall, W. Clifford. 1980. **Biological Process Design for Wastewater Treatment**. Englewood Cliffs, N.J; Prentice Hall.
- Czerska, Bernadetta, Milksch, K., Matsche, N., dan Franz, A. 1997. **Application of Enzymatic Activity Measurements to Biological Phosphate Removal from Wastewater**. Wat. Sci.Tech. 36, No. 10, 87-95.
- Ekasari, Ulfiani. 1999. **Penentuan Daya Desain Radial Flow Aerobic Sludge Blanket untuk Mengolah Limbah Tahu**. Surabaya; Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

- Horan, N.J. 1990. **Biological Wastewater Treatment System**. John Willey and Sons.
- Kern-Jespersen, J.P dan Henze, M. 1993. **Biological Phosphorus Uptake Under Anoxic and Aerobic Conditions**. *Wat. Res*, 27, 617-621.
- Marsono, B.D. **Teknik Pengolahan Air Limbah secara Biologis**. Surabaya; Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Metcalf dan Eddy. 1991. **Wastewater Engeneering; Treatment, Disposal, Reuse**. Mc Graw-Hill. 3<sup>rd</sup> Edition. Mc Graw Hill International Editions.
- Nurlina, W. 1997. **Studi Literatur Proses Penurunan Kandungan Fosfat pada Air Buangan secara Biologis dalam Sistem Suspended Growth**. Surabaya; Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Rahadi, S. 1998. **Penurunan Kandungan Fosfat pada Air Buangan dengan Menggunakan Kombinasi Proses Suspended Growth dan Attached Growth**. Surabaya; Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Reynold, Tom. D. 1982. **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering**. Monterey California; Brooks/Cole Engineering Division.

Sincero, P. Acardio, dan Sincero, A. Grogoria. 1996. **Environmental Engineering, A Design Approach**. Prentice Hall. Inc; Upper Saddle River. New Jersey.

Smolders, G.J.F., Van der Meij, J., Van Loosdrecht, M.C.M., dan Heijnen, J.J. 1995. **Kinetics of the Anaerobic and Aerobic Metabolism**. Biotech and Bioeng.

Smolders, G.J.F., Van der Meij, J., Van Loosdrecht, M.C.M., dan Heijnen, J.J. **Stoichiometry and pH Influence of the Anaerobic Metabolism**

Winanto. 1998. **Studi Penurunan Kandungan Fosfat dalam limbah tahu dengan Sistem Biological Attached Growth**. Surabaya; Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

## LAMPIRAN 1

### A. Perhitungan debit

Perhitungan debit sistem didasarkan pada parameter waktu detensi total yang digunakan (aktual), bukan  $t_d$  konseptual, sehingga persamaan yang digunakan adalah:

$$t_{d_{total}} = t_{d_{anaerob}} + t_{d_{anoksik}} + t_{d_{aerobik}}$$

dimana:

$$t_{d_{total}} = \text{waktu detensi total sistem (10, 12, 14, dan 16 jam)}$$

$$t_{d_{anaerob}} = \text{waktu detensi di reaktor anaerobik}$$

$$t_{d_{anoksik}} = \text{waktu detensi di reaktor anoksik}$$

$$t_{d_{aerobik}} = \text{waktu detensi di reaktor aerobik}$$

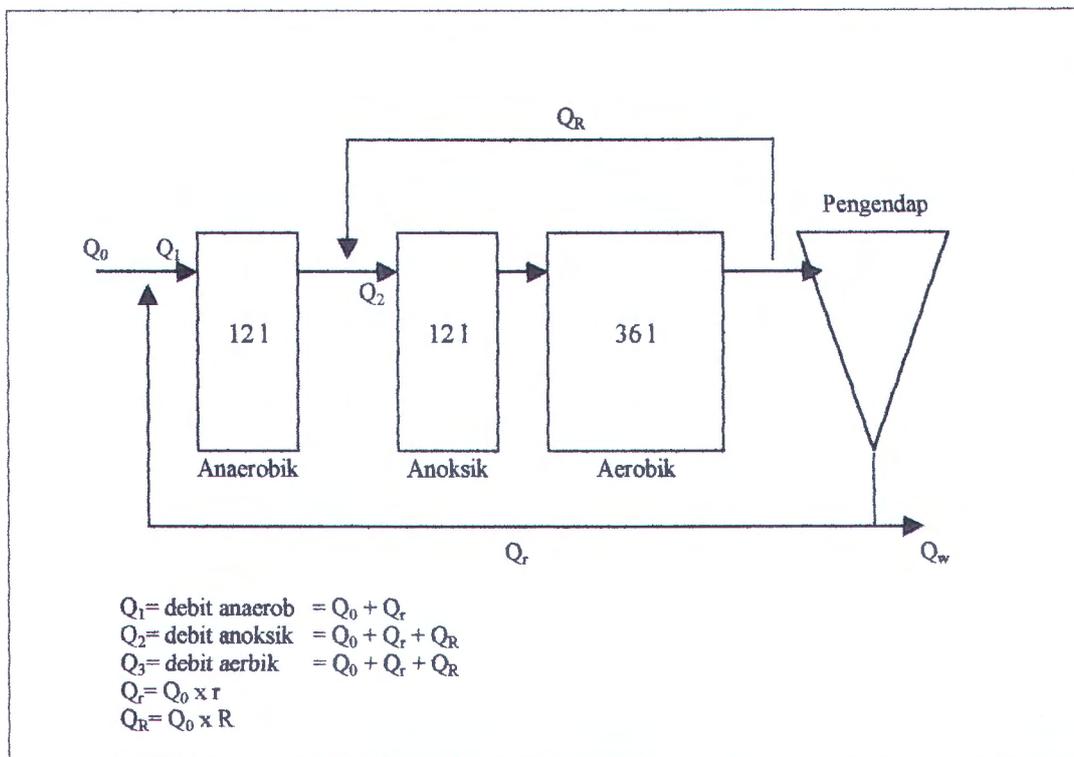
Selanjutnya persamaan tersebut dikembangkan sebagai fungsi dari volume/debit yang masuk sebagai berikut:

$$t_{d_{total}} = \left[ \frac{12}{Q_1} \right] + \left[ \frac{12}{Q_2} \right] + \left[ \frac{36}{Q_3} \right]$$

$$t_{d_{total}} = \left[ \frac{12}{Q_0(1+r)} \right] + \left[ \frac{12}{Q_0(1+r+R)} \right] + \left[ \frac{36}{Q_0(1+r+R)} \right]$$



Dengan td total 10, 12, 14, dan 16 jam, nilai  $r = 0,25$  dan  $R = 1$ , maka nilai  $Q_0$  dapat diketahui. Dengan demikian waktu detensi dari tiap reaktor dapat dihitung. Hasil perhitungan debit seperti terlihat pada tabel L4.1.



Gambar L1.1 Debit dalam sistem

Tabel L1.1. Debit dan waktu detensi masing-masing reaktor

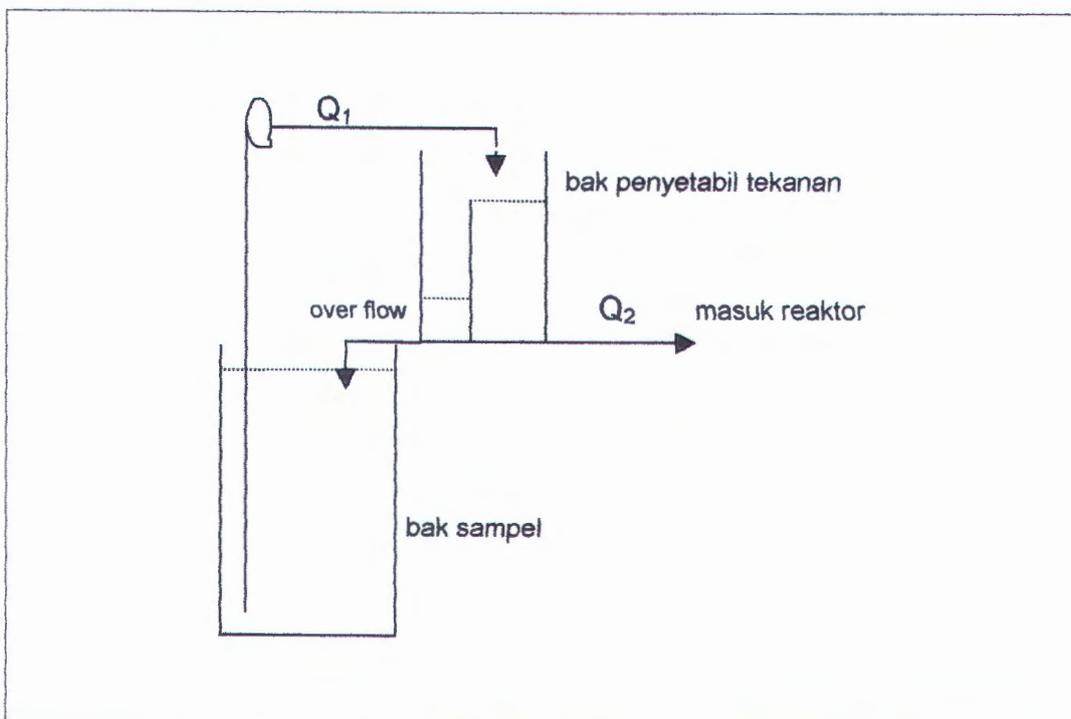
td total (jam)	Q (l/hari)			td (jam)		
	anaerobik	anoksik	aerobik	anaerobik	anoksik	aerobik
10	92.800	167.040	167.040	3.103	1.724	5.172
12	77.330	139.200	139.200	3.724	2.069	6.206
14	66.286	119.314	119.314	4.345	2.414	7.241
16	58.000	104.400	104.400	4.966	2.759	8.277

## B. Kalibrasi debit reaktor

Untuk mengatur agar debit awal konstan digunakan bak penyetabil tekanan (*equalisasi*). Kemudian untuk memperoleh debit konstan pada tiap variasi waktu detensi dilakukan kalibrasi debit reaktor. Kalibrasi debit dilakukan dengan menggunakan stopwatch dan gelas ukur.

Metode Kalibrasi:

- Mengatur tinggi muka air dalam bak penyetabil tekanan dengan ketinggian permukaan air tetap.



Gambar L1.2. Pengaturan bak penyetabil tekanan

- Untuk menghindari terjadinya penurunan muka air pada bak penyetabil tekanan, maka  $Q_1$  harus lebih besar dari  $Q_2$ . Sedangkan kenaikan muka air pada bak penyetabil tekanan tidak

mungkin terjadi karena terdapat pipa overflow yang mengalirkan kelebihan air, sehingga tekanan dalam bak penyetabil tekanan akan konstan.

- Mengatur putaran kran pada selang influen.
- Mengukur volume yang masuk reaktor dengan sebuah gelas ukur dalam jangka waktu satu menit ( $Q_2$ ).
- Jika  $Q_2$  sudah seperti yang diharapkan, pengukuran dilakukan beberapa kali untuk ketelitian.



## LAMPIRAN 2

### Kalibrasi $\text{PO}_4^{3-}$

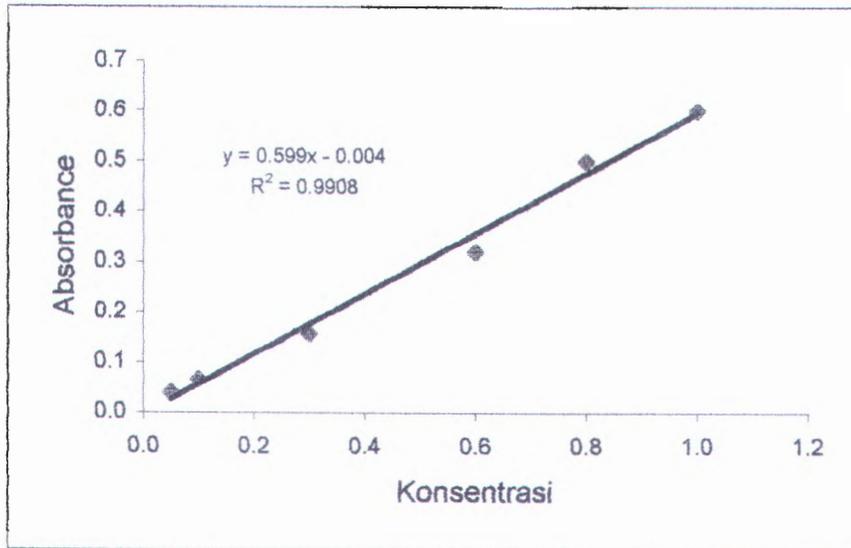
Pembuatan grafik kalibrasi  $\text{PO}_4^{3-}$  :

- Menyiapkan larutan standar Kalibrasi  $\text{PO}_4^{3-}$  dengan konsentrasi 0,05; 0,1; 0,3; 0,6; 0,8 dan 1,0 mg/l.
- Melakukan analisa sesuai analisa Kalibrasi  $\text{PO}_4^{3-}$  dengan metode asam asorbik (Alaert, G. dan Sumestri, S.S., 1994), sampai dengan membaca absorbans.

Hasil dari kalibrasi  $\text{PO}_4^{3-}$  dapat dilihat pada tabel L5.1 dan gambar L5.1.

Tabel L2.1. kalibrasi  $\text{PO}_4^{3-}$

Konsentrasi (mg/l)	Absorbansi
0.050	0.040
0.100	0.065
0.300	0.158
0.600	0.320
0.800	0.500
1.000	0.600



Gambar L2.1. Grafik kalibrasi  $\text{PO}_4^{3-}$

## LAMPIRAN 3



### A. Data penurunan BOD di reaktor anaerobik

Tabel L3.1. Data penurunan BOD di reaktor anaerobik

td		MLVSS	So	Se	Efisiensi penurunan
total	anaerob				
(jam)	(jam)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	%
10	3.103	6349	5490.5	2578.0	53.046
12	3.724	6385	5490.5	2346.9	57.255
14	4.345	6425	5490.5	1820.3	66.846
16	4.966	6428	5490.5	1410.5	74.310

### B. Data penurunan BOD di reaktor anoksik

Tabel L3.2. Data penurunan BOD di reaktor anoksik

td		MLVSS	So	Se	Efisiensi penurunan
total	anoksik				
(jam)	(jam)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	%
10	1.724	6202	2578.0	1499.4	41.839
12	2.069	6250	2346.9	1340.4	42.886
14	2.414	6323	1820.3	1005.5	44.762
16	2.759	6350	1410.5	800.8	43.226

### C. Data penurunan BOD di reaktor aerobik

Tabel L3.3. Data penurunan BOD di reaktor aerobik

td		MLVSS	So	Se	Efisiensi penurunan
total	aerobik				
(jam)	(jam)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	%
10	5.172	6196	1499.4	1249.5	16.667
12	6.206	6216	1340.4	1108.0	17.338
14	7.241	6222	1005.5	749.7	25.440
16	8.277	6260	800.8	592.4	26.024

#### D. Data penurunan BOD di bak pengendap

Tabel L3.4. Data penurunan BOD di bak pengendap

td	So	Se	Efisiensi penurunan
(jam)	(mg/l)	(mg/l)	%
10	1249.5	1024	18.047
12	1108.0	898.7	18.890
14	749.7	618.8	17.460
16	592.4	419.6	29.169

ket: dalam perhitungan waktu detensi total, waktu detensi di pengendap tidak ikut dihitung.

#### E. Data total penurunan BOD

Tabel L3.4. Data total penurunan BOD

td	Influen	Effluen	Efisiensi penurunan
(jam)	(mg/l)	(mg/l)	%
10	5490.5	1024	81.350
12	5490.5	898.7	83.632
14	5490.5	618.8	88.730
16	5490.5	419.6	92.358

#### F. Data awal influen BOD

Tabel L3.5. Data awal influen BOD

td	influent
10	5515,7
12	5475,4
14	5477,7
16	5493,3
rata-rata	5490,5

## LAMPIRAN 4

### A. Data pelepasan P di reaktor anaerobik

Tabel L4.1. Pelepasan P di reaktor anaerobik

td		MLVSS	P in	P eff	Efisiensi pelepasan
total	anaerob				
(jam)	(jam)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	%
10	3.103	6349	89.40	177.03	98.020
12	3.724	6385	89.40	190.00	112.528
14	4.345	6425	89.40	197.30	120.694
16	4.966	6428	89.40	208.60	133.333

### B. Data penurunan P di reaktor anoksik

Tabel L4.2. Penurunan P di reaktor anoksik

td		MLVSS	P in	P eff	Efisiensi penurunan
total	anoksik				
(jam)	(jam)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	%
10	1.724	6202	177.03	135.95	23.205
12	2.069	6250	190.00	138.20	27.263
14	2.414	6323	197.30	142.40	27.826
16	2.759	6350	208.60	148.90	28.619

### C. Data penurunan P di reaktor aerobik

Tabel L4.3. Penurunan P di reaktor aerobik

td		MLVSS	P in	P eff	Efisiensi penurunan
total	aerobik				
(jam)	(jam)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	%
10	5.172	6196	135.95	48.75	64.141
12	6.206	6216	138.20	36.96	73.256
14	7.241	6222	142.40	30.80	78.371
16	8.277	6260	148.90	28.26	81.021

#### D. Data penurunan P di bak pengendap

Tabel L4.4. Penurunan P di bak pengendap

td	P in	P eff	Efisiensi penurunan
(jam)	(mg/l)	(mg/l)	%
10	48.75	45.05	7.590
12	36.96	34.41	6.899
14	30.80	28.60	7.143
16	28.26	26.60	5.874

ket: dalam perhitungan waktu detensi total, waktu detensi di pengendap tidak ikut dihitung.

#### E. Data total penurunan P

Tabel L4.4. Total penurunan P

td	Influen	Effluen	Efisiensi penurunan
(jam)	(mg/l)	(mg/l)	%
10	89.40	45.05	49.609
12	89.40	34.41	61.510
14	89.40	28.60	68.009
16	89.40	26.60	70.246

#### F. Data awal influent P

Tabel L4.4. Data awal influent P

td	influent
10	88,7
12	87,3
14	91,2
16	90,4
rata-rata	89,4

## LAMPIRAN 5

### Konsentrasi biomass pada RBC ( $TVS_{RBC}$ )

Perhitungan  $TVS_{RBC}$ ) dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$TVS_{RBC} = \frac{\text{massa biofilm pada RBC (mg)}}{\text{volume reaktor (lt)}}$$

Massa biofilm tergantung pada luas permukaan RBC, ketebalan biofilm dan densitas biofilm. Konsentrasi biomass pada RBC dapat dilihat pada tabel L7.1.

Tabel L5.1. Konsentrasi biomass pada sistem

td	Konsentrasi total biomass dalam tiap reaktor								
	Anaerobik			Anoksik			Aerobik		
	$TVS_{rbc}$	MLVSS	TVS	$TVS_{rbc}$	MLVSS	TVS	$TVS_{rbc}$	MLVSS	TVS
(jam)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
10	473	5876	6349	430	5772	6202	268	5988	6256
12	473	5912	6385	430	5820	6250	268	5948	6216
14	473	5952	6425	430	5893	6323	268	5954	6222
16	473	5955	6428	430	5920	6350	268	5992	6260

## LAMPIRAN 6

### A. Perhitungan koefisien biokinetika untuk BOD

Tabel L6.1. Perhitungan koefisien biokinetika untuk BOD

td total (jam)	anaerob		anoksik		aerob	
	Se/So	q	Se/So	q	Se/So	q
10	0.470	3.548053	0.582	2.421044	0.833	0.187158
12	0.427	3.172984	0.571	1.868033	0.827	0.144585
14	0.332	3.155281	0.552	1.281155	0.746	0.136265
16	0.257	3.067530	0.568	0.835222	0.740	0.096530

keterangan:

q = specific BOD utilization rate (mg BOD/mg VSS.d)

### B. Perhitungan koefisien biokinetika untuk P

Tabel L6.2. Perhitungan koefisien biokinetika untuk P

td total (jam)	anaerob		anoksik		aerob	
	Pin/Peff	q	Peff/Pin	q	Peff/Pin	q
10	0.505	0.106752	0.768	0.092209	0.359	0.065307
12	0.471	0.10154	0.727	0.096139	0.267	0.062986
14	0.453	0.092762	0.722	0.086322	0.216	0.059449
16	0.429	0.08962	0.714	0.081782	0.190	0.05588

keterangan:

q anaerobik = specific P release rate (mg P/mg VSS.d)

q anoksik = specific P uptake rate (mg P/mg VSS.d)

q aerobik = specific P uptake rate (mg P/mg VSS.d)



