

STUDI PENYISIHAN COD-ORGANIK PADA TAHAP NITRIFIKASI DAN DENITRIFIKASI DALAM SBR MENGUNAKAN AIR LIMBAH COKLAT

Oleh: Muhammad Lindu ^{*)}

Abstrak

Air limbah pabrik pembuatan makanan kecil coklat batangan yang berasal dari proses pencucian alat cetakan diketahui banyak mengandung gula, protein dan lemak atau minyak. Suatu permasalahan yang sering ditemui dalam proses lumpur aktif pada air limbah yang mengandung kadar organik dan senyawa nitrogen tinggi adalah terbentuknya nitrogen dalam bentuk nitrogen teroksidasi seperti nitrat dan nitrit. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu aerobik dan anoksik dalam menurunkan kadar COD terlarut dan nitrat.

Dari hasil percobaan didapatkan beberapa kesimpulan antara lain yakni makin besar periode aerasi dalam satu siklus waktu bioreaksi aerobik-anoksik sama maka makin besar pula penyisihan nitrat-N, dan makin besar produksi lumpur. COD terlarut akhir bioreaksi juga makin kecil bila periode aerasi lebih panjang walaupun total bioreaksi aerobik-anoksik sama. Waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi anoksik dari kondisi aerobik untuk masa aerasi 2-4 jam kurang dari 30 menit, sedangkan periode aerasi 5-6 jam butuh waktu < 40 menit. Penurunan nitrat-N dibawah baku mutu 10 mg/l, untuk periode aerasi 2 – 4 jam juga < 30 menit dan periode aerasi 5 – 6jam butuh waktu < 40 menit.

Kata kunci : COD-Organik, Nitrifikasi, Denitrifikasi, Lumpur Aktif, Anoksik

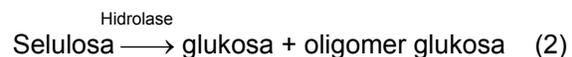
1. PENDAHULUAN

Air limbah pabrik pembuatan makanan kecil coklat batangan yang berasal dari proses pencucian alat cetakan diketahui banyak mengandung gula, protein dan lemak atau minyak. Oleh karena itu didalam air limbah ini tentu saja mengandung kadar COD dan kandungan senyawa nitrogen cukup tinggi.

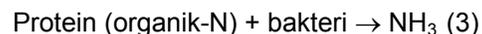
Suatu permasalahan yang sering ditemui dalam proses lumpur aktif pada air limbah yang mengandung kadar organik dan senyawa nitrogen tinggi adalah terbentuknya nitrogen dalam bentuk nitrogen teroksidasi seperti nitrat dan nitrit walaupun organik sebagai BOD dan COD telah memenuhi baku mutu lingkungan. Berikut ini adalah tahap reaksi umum biokimia pada proses degradasi senyawa organik dalam air limbah:

Pertama senyawa organik yang berukuran besar seperti polimer berupa protein,

selulosa, dan lemak dihidrolisa oleh enzim ekstraseluler seperti enzim hidrolase menjadi senyawa sederhana. Berikut adalah contoh reaksinya;

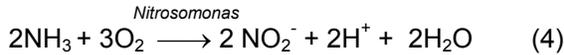


Senyawa hasil hidrolisa yang berukuran kecil tersebut selanjutnya akan terserap dalam dinding sel mikroorganisme seperti bakteri, untuk kemudian diuraikan baik oleh mikroorganisme aerobik maupun anaerobik. Berikut adalah reaksi pembentukan ammonia oleh bakteri heterotrof dalam kondisi aerob dan anaerobik menurut Sawyer, dkk. (1994)

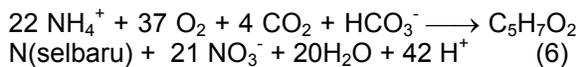


^{*)} Dosen Jurusan Teknik Lingkungan USAKTI

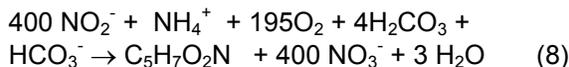
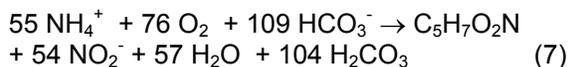
Bila senyawa ammonia cukup berlebih, maka oleh bakteri nitrifikasi autotrof dapat dioksidasi menjadi nitrit dan selanjutnya dioksidasi lebih lanjut menjadi nitrat serta menghasilkan energi.



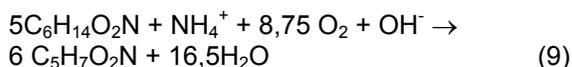
Reaksi biokimia nitrifikasi keseluruhan dalam pembentukan sel mikroorganisme menurut McCarty (1970) dalam Reynolds (1982):



Grady dan Lim (1980); mengusulkan reaksi biokimia *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* pembentukan sel masing-masing dapat dilihat pada persamaan 7 dan 8.



Proses nitrifikasi baru bisa berlangsung bila kondisi berada pada kondisi aerobik atau kandungan oksigen terlarut (DO) > 1 mg/l, dengan pH optimum 8 – 8,4. Pada kondisi yang sama juga akan terjadi proses biodegradasi senyawa organik dan pembentukan oleh bakteri heterotrof seperti contoh bioreaksi 9 oleh Reynolds, 1982:

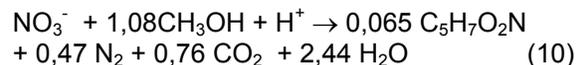


Dalam proses pengolahan air limbah menggunakan lumpur aktif, bakteri heterotrof lebih dominan terbentuk yakni 0,33- 0,47 gram sel/gramCOD dibanding bakteri nitrifikasi rata-rata 0,03 – 0,13 mg sel/mg NH_4^+ -N teroksidasi untuk *Nitrosomonas* dan 0,02 – 0,07 mg sel/mg NH_4^+ -N teroksidasi untuk *Nitrobacter* (Grady dan Lim, 1980). Hal ini di duga lebih banyaknya kandungan senyawa organik dibanding ammonia dan karbon anorganik yang tersedia dalam kebanyakan air limbah. Pada reaktor kontinyu, nitrifikasi baru bisa terjadi bila umur lumpur yang digunakan lebih besar dari 1,5

hari, artinya mempertahankan lumpur aktif lebih kecil dari 1,5 hari akan mengakibatkan bakteri nitrifikasi terkuras keluar reaktor sebelum terjadi pembentukan bakteri tersebut sempurna. Keadaan ini dapat dilihat pada hasil laporan Poduska dan Andrew dalam Grady dan Lim (1982) untuk berbagai jenis air limbah. Wuhrmann, 1968 dalam Benefield dan Randall (1980), melaporkan hasil yang sama, bahwa nitrifikasi terjadi dengan baik bila waktu tinggal sel dalam reaktor lebih besar dari 1,5 hari.

Pada proses penyisihan organik dalam air limbah menggunakan sequencing batch reactor (SBR) suplai udara lebih mudah diatur begitu pula umur lumpur yang dikehendaki lebih mudah dipertahankan lebih lama dibanding pengolahan menggunakan lumpur aktif atau aerated lagoon. Oleh karena itulah reaktor ini menjadi pilihan dalam studi ini. Pada tahap suplai udara ke dalam reaktor dihentikan maka kandungan oksigen akan menurun dengan cepat karena suplai oksigen berdasarkan difusi udara diatas permukaan reaktor jauh lebih kecil dibanding oksigen yang digunakan bakteri heterotrof untuk biodegradasi organik dan respirasi.

Akibatnya kandungan oksigen terlarut bisa mendekati nol dan lebih kecil dari 1 mg/l. Pada saat kondisi air kekurangan oksigen atau dikenal dengan kondisi anoksik bakteri heterotrof akan memanfaatkan senyawa dalam bentuk teroksidasi seperti nitrat, nitrit dan sulfat sebagai senyawa penerima elektron dalam proses metabolisme dan sintesa sel. Bioreaksi oleh bakteri heterotrof denitrifikasi merupakan salah satu contoh proses ini. Persamaan 10, merupakan usulan oleh McCarty, 1969 dalam Benefield, 1980 yang merupakan reaksi keseluruhan, yakni pembentukan sel dan penguraian metanol:



Proses denitrifikasi berlangsung cukup baik pada pH sekitar 7-7,5 (Grady dan Lim, 1980). dan jumlah perbandingan substrat yang tersisihkan (ΔS) dan nitrogen (ΔN) terhadap waktu tinggal sel setelah tahap denitrifikasi dalam reaktor CSTR menurun dari 3,1 menjadi 2,5 mg metanol /mg NO_3^- -N karena bertambahnya waktu tinggal sel dari 2 hari menjadi 14 hari (Engberg dan Schroeder, 1975 dalam Grady dan Lim 1980). Penelitian ini akan

difokuskan pada pengaruh waktu aerobik dan anoksik dalam menurunkan kadar COD terlarut dan nitrat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dibagi dalam tahap-tahap pembenihan, adaptasi, perlakuan umur lumpur 10 hari dan studi pengaruh waktu aerasi dan tanpa aerasi pada penyisihan COD dan senyawa nitrogen. Air limbah coklat yang digunakan adalah sintetis, dengan melarutkan coklat kering kedalam air aquadest sehingga berkonsentrasi 1500 mg/l sebagai COD.

2.1. Pembenihan

Sumber mikroorganisme berupa lumpur aktif dalam penelitian ini diperoleh dari tangki aerasi instalasi pengolahan air limbah PT. Cipta Rasa Primatama (Cadbury), yang dikembangkan dalam reaktor batch berukuran 35 liter. Jumlah volume lumpur awal yang digunakan sebanyak 5 liter dicampur dengan larutan glukosa dalam aquadest sehingga volumenya menjadi 25 liter. Selanjutnya ke dalam reaktor disuplai udara menggunakan aerator selama 1 hari.

Kadar COD dan VSS diukur setiap awal yakni 5 menit awal aerasi dan akhir aerasi pada 24 jam. Setelah aerasi berlangsung sehari diperkirakan jumlah makanan berupa COD-glukosa telah menurun, oleh karena itu setiap akhir periode aerasi 1 hari selalu ditambah glukosa dengan kadar sekitar 28 g/25 liter atau COD awal mendekati 1500 mg/l. Kondisi ini dilakukan selama satu minggu. Pada minggu selanjutnya makanan diganti dengan menambahkan sedikit demi sedikit air limbah (AL) coklat sintetis, dengan perlakuan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Perlakuan penambahan substrat pada tahap pembenihan.

Hari ke	Jumlah substrat + Lumpur aktif
0 – 6	5 l lumpur + 20 l Aquadest + glukosa sehingga COD awal =1500 mg/l
7 – 11	6,25 l dekanter dibuang + 6,25 l AL+glukosa, sehingga COD = 1500 mg/l.
12-15	12,5 l dekanter dibuang + 12,5 l AL + glukosa sehingga

16-20	COD = 1500 mg/l 18,75 l dekanter dibuang + 18,75 l AL COD mendekati 1500 mg/l
-------	---

Guna melengkapi nutrisi maka ditambahkan N, P, K, Mg, Ca dan Fe setiap hari sesuai *Standard Methods*.

2.2. Aklimatisasi

Setelah diperkirakan jumlah mikroorganisme sebagai MLVSS cukup yakni di atas 6000 mg/l, maka dilakukan tahap penyesuaian kondisi, dimana mikroorganisme harus mampu melakukan biodegradasi terhadap air limbah sesuai konsentrasi sesungguhnya di lapangan. Perlakuan dilakukan dalam reaktor dengan volume isi cairan efektif 8 liter dengan pemberian udara menggunakan aerator. Lumpur aktif dari hasil pembenihan dengan jumlah tertentu ditambahkan AL sintetis setiap hari, dengan volume setiap harinya makin bertambah. Besarnya volume AL yang ditambahkan setiap harinya terhadap jumlah biomassa mikroorganisme yang diendapkan didasar reaktor + air dekanter dipertahankan pada 1,6 liter dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan lumpur dan AL selama tahap aklimatisasi setiap harinya.

Hari ke	Lumpur hasil dekantasi : AL
0	1,6 liter lumpur : 1,6 liter AL
1	1,6 liter lumpur : 3,2 liter AL
2	1,6 liter lumpur : 4,8 liter AL
3	1,6 liter lumpur : 6,4 liter AL
4 - 8	1,6 liter lumpur : 6,4 liter AL

Aktivitas mikroorganisme dalam proses biodegradasi ditentukan dengan mengukur kadar COD dan VSS pada awal aerasi dan akhir bioreaksi yakni setelah aerasi 1 hari.

2.3. Perlakuan umur lumpur 10 hari.

Lumpur aktif mikroorganisme yang telah mengalami adaptasi pada tahap aklimatisasi merupakan mikroorganisme dengan umur lumpur campuran dan sulit dipastikan. Oleh karena itu dilakukan penyeragam umur mikroorganisme dengan cara melanjutkan penambahan AL setiap harinya seperti pada

hari ke 4 –8 tahap aklimatisasi, namun jumlah total lumpur dalam keadaan campur sempurna didalam cairan bervolume 8000 ml, sebanyak 800 ml atau 1/10 nya dibuang. Kemudian pada akhir masa bioreaksi yakni 1 hari sejak penambahan substrat AL, cairan diendapkan dan dekanternya dibuang sebanyak 5600 ml, dan baru kemudian ditambah lagi AL sebesar 6400 liter. Perlakuan ini dilakukan terus menerus sampai paling tidak 10 hari. Aktivitas mikroorganisme dipantau dengan mengukur kadar COD dan VSS pada awal dan akhir bioreaksi pada interval 1 hari.

2.4. Penelitian inti.

Dalam penelitian ini digunakan air limbah sintesis yang terbuat dari serbuk coklat dengan konsentrasi sesuai konsentrasi air limbah yang dibuang dari industri coklat codbury yakni sebesar kurang lebih 1500 mg/l. Studi difokuskan pada pengaruh variasi waktu aerasi dan tanpa aerasi (hanya pengadukan menggunakan alat pengaduk type 4-blade, dengan putaran sekitar 5 rpm, ukuran blade 2 cm lebar x 4 cm tinggi) guna melihat penyisihan COD dan pembentukan nitrat (nitrifikasi) atau penyisihan nitrat (denitrifikasi). Lama aerasi maupun tanpa aerasi namun hanya pengadukan setiap siklus perlakuan disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Perlakuan jam aerobik (aerasi) dan pengadukan (anoksik)

Perlakuan	Aerasi (jam)	Pengadukan/ anoksik (jam)	Total waktu (jam)
A ₂ P ₃	2	3	5
A ₂ P ₄	2	4	6
A ₂ P ₅	2	5	7
A ₂ P ₆	2	6	8
A ₃ P ₂	3	2	5
A ₄ P ₂	4	2	6
A ₅ P ₂	5	2	7
A ₆ P ₂	6	2	8

Selama tahap aerasi maupun tanpa aerasi hanya pengadukan dalam satu siklus proses aktivitas bioreaksi dalam penyisihan COD, nitrifikasi, denitrifikasi, kenaikan oksigen terlarut (DO) maupun penurunannya serta penambahan VSS berlangsung dalam selang interval yang pendek. Oleh karena itu dilakukan sampling dan pengukuran parameter-parameter

tersebut dalam selang interval 20 – 60 menit untuk setiap kondisi (aerobik atau anoksik). Tabel 4, memperlihatkan interval waktu pengambilan sampel atau pengumpulan data COD, VSS, nitrat-N, dan DO. Konsentrasi TKN hanya diukur pada awal bioreaksi dan akhir setelah satu siklus perlakuan.

Tabel 4. Interval pengambilan sampel berdasarkan lama waktu aerasi atau aduk saja.

Lama perlakuan (jam)	Interval sampling (menit)
2	20
3	30
4	40
5	50
6	60

2.5. Metode Analisis.

DO ditentukan dengan DO meter, Nitrat-N menggunakan metode fenolsulfat, COD menggunakan *closed reflux* pereaksi bikromat dan selanjutnya ditentukan dengan metode spektrofotometer. Larutan standar yang digunakan adalah glukosa yang kadar CODnya telah diketahui secara teoritis. Konsentrasi VSS ditentukan dengan metode gravimetri, dan pemanasan dilakukan pada 105°C selama 2 jam untuk menghilangkan kadar air dan 550°C untuk membakar kandungan VSS.

Kadar TKN ditentukan dengan cara pencernakan menggunakan asam sulfat pekat dan didistilasi menggunakan larutan NaOH, hasil distilasi berupa ammonia ditangkap dengan asam sulfat 0,02 N dan selanjutnya hasil distilat berupa larutan ammonium sulfat ditentukan menggunakan metode titrimetri dengan titran NaOH 0,02N.

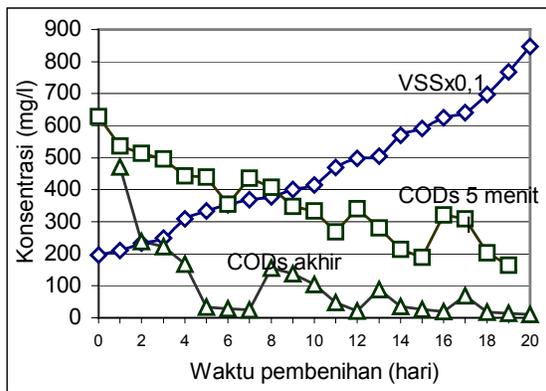
2.6. Bahan dan peralatan.

Semua bahan yang digunakan untuk analisis adalah grade analitis terkecuali pereaksi kimia untuk substrat dan nutrisi berupa glukosa, urea dan TSP adalah grad teknis. Sedangkan peralatan yang digunakan berupa spektrofotometer DR2000, neraca analitis Sortorius, furnace, oven Memmert U-35, kertas saring Whatman GFC, desikator, aerator 15 watt 3 buah, DO meter Horiba, dan peralatan glass pyrex sesuai *Standard Methods*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pembenuhan

Kurva pertumbuhan biomassa mikro-organisme sebagai VSS dan COD periode aerasi satu hari setelah penambahan glukosa dengan COD awal 1500 mg/l pada hari ke 1 ~ 6 dan coklat campur glukosa dengan COD awal mendekati 1500 mg/l pada periode hari ke 7~20 dapat dilihat pada Gambar 1. Pada awal masa pembenuhan menggunakan substrat glukosa dari hari ke 0~6 COD terlarut (CODs) akhir massa bioreaksi terus menurun.



Gambar 1. Kurva pertumbuhan VSS, CODs dan CODs 5menit awal aerasi.

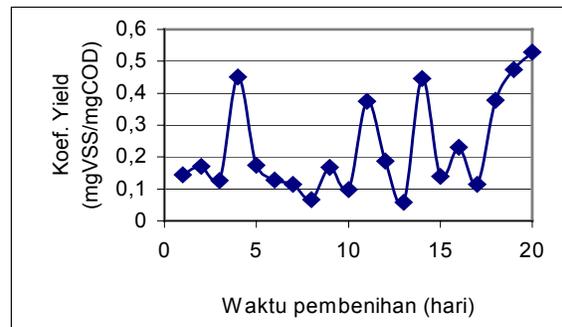
Keadaan ini menunjukkan bahwa glukosa semakin mudah dibiodegradasi seiring dengan bertambahnya nilai VSS. Penambahan substrat sedikit dengan AL pada hari ke 7-8 selain glukosa membuat CODs akhir yang semula rendah pada hari ke 7-8 menjadi meningkat pada hari ke 9, kemudian setelah terjadi penyesuaian keadaan COD akhir menurun lagi sampai hari ke 13.

Namun pertumbuhan VSS dari hari 7 – 11 lebih lambat dibanding pertumbuhan VSS pada hari 0 – 6, karena adanya tahap fase lag karena perubahan jenis substrat mulai hari ke 7. Penambahan jumlah substrat berasal dari limbah coklat 50% dari volume total ternyata tidak banyak berpengaruh pada poses pertumbuhan biomassa. Biomassa tumbuh secara konstan dan cukup cepat setelah hari ke 12 – 15, dengan CODs akhir relatif rendah dan konstan pada hari ke 14 – 16. Pola yang sama juga terjadi saat peningkatan AL menjadi 75%

dari volume reaktor pada hari ke 16, yang ditunjukkan dengan meningkatnya CODs akhir pada hari ke 17 dan kemudian CODs akhir menurun dan konstan lagi pada hari 18-20, dengan diikuti penambahan biomassa cukup tajam dari hari ke 17- 20.

Jadi berdasarkan kurva pertumbuhan VSS dari hari ke 1 – 20 dan COD terlarut akhir pada hari ke 1–20, dapat dikatakan pertumbuhan akan melambat pada 1–2 hari pertama setelah pergantian jenis dan komposisi AL guna proses adaptasi yang ditandai pula pemakaian organik COD oleh mikroorganisme lebih sedikit (COD terlarut akhir bioreaksi meningkat). Koefisien yield selama proses pembenuhan berfluktuasi dengan nilai $0,23 \pm 0,16$.

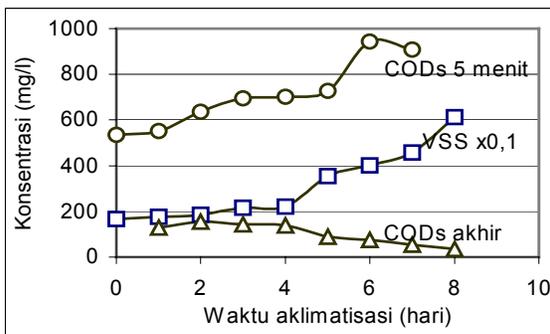
Gambar 2 memperlihatkan kondisi ini. Yield cenderung menurun setelah terjadi peningkatan yield pada kondisi maksimum, hal ini diperkirakan substrat yang dibiodegradasi hanya sedikit untuk proses biosintesa, dan lebih banyak terjadi proses endogenasi.



Gambar 2. Koefisien yield selama masa pembenuhan.

3.2. Aklimatisasi.

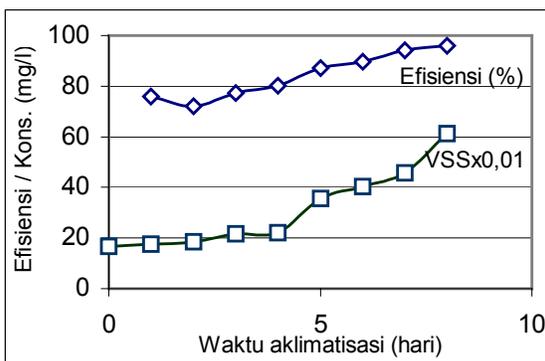
Kurva pertumbuhan biomassa selama periode aklimatisasi dan hubungannya dengan COD terlarut 5 menit awal aerasi dan COD akhir setelah aerasi 1 hari dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 3. Pertumbuhan biomassa, CODs akhir Bioreaksi sehari dan CODs 5 menit awal aerasi selama aklimatisasi.

Tampak pada Gambar 3, bahwa penyesuaian keadaan terjadi dengan baik setelah waktu aklimatisasi diatas hari ke 4, dengan di tandai pertambahan VSS cukup tajam. Pertambahan VSS empat hari pertama hanya sekitar 540 mg/l pada empat hari berikutnya pertambahan VSS menjadi cukup besar yakni sekitar 3900 mg/l.

Keadaan ini juga ditandai dengan konsentrasi CODs akhir bioreaksi pada 4 hari pertama berada pada nilai 100 mg/l dan kemudian empat hari berikutnya sampai hari ke 8 CODs akhir bioreaksi rata-rata menurun di bawah 100 mg/l dan terakhir menjadi sekitar 40 mg/l. Untuk lebih jelasnya profil aktivitas aklimatisasi tersebut maka pada Gambar 4 disajikan hubungan efisiensi penyisihan COD terlarut dan kurva pertumbuhan VSS selama periode aklimatisasi.

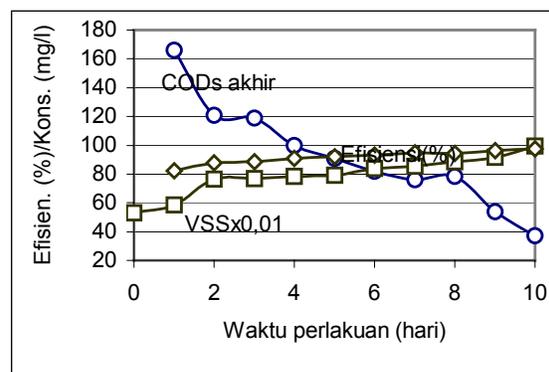


Gambar 4. Hubungan efisiensi penyisihan COD terlarut dan pertumbuhan VSS selama periode aklimatisasi.

Pada awal aklimatisasi yakni hari ke 1 – 2 efisiensi penyisihan COD terlihat menurun karena pada masa itu proses metabolisme substrat oleh mikroorganisme masih mengalami proses adaptasi. Pada hari ke tiga dan empat efisiensi penyisihan COD terlarut mulai meningkat, dan peningkatan terlihat lebih besar lagi setelah hari ke lima seiring dengan bertambahnya nilai VSS. Jadi fenomena ini sesuai dengan persamaan Monod.

3.3. Perlakuan umur sepuluh hari.

Sebelum penggunaan biomassa aktif dalam proses biodegradasi organik COD, nitrifikasi maupun denitrifikasi maka perlu dilakukan penyeragam umur lumpur yang hendak digunakan. Besarnya efisiensi penyisihan COD terlarut, pertumbuhan VSS selama periode perlakuan umur 10 hari dan CODs akhir masa bioreaksi 1 hari dapat dilihat pada Gambar 5.



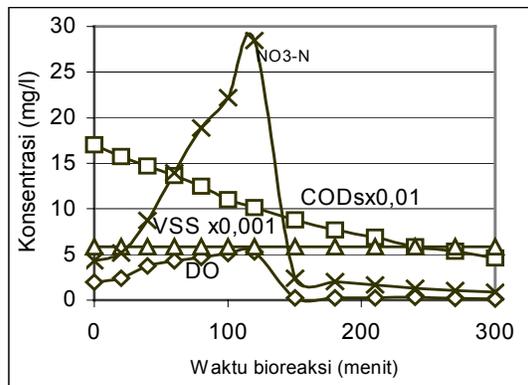
Gambar 5. Pertumbuhan biomassa, efisiensi penyisihan COD terlarut dan CODs setiap hari selama masa perlakuan umur lumpur 10 hari.

Gambar 5 memperlihatkan bahwa pada awal masa perlakuan pembuangan lumpur hari pertama CODs akhir masih belum optimal diturunkan. Pembuangan atau peremajaan lumpur dengan lumpur umur 10 hari dari hari ke 2 sampai hari ke 10 diikuti dengan bertambahnya kemampuan mikroorganisme menurunkan kadar COD terlarut. Hal ini ditandai dengan semakin meningkatnya efisiensi penyisihan COD terlarut yakni mendekati 96% pada hari ke 10 dibanding 81% pada awal waktu perlakuan. Fenomena makin baiknya kinerja biodegradasi juga ditandai makin

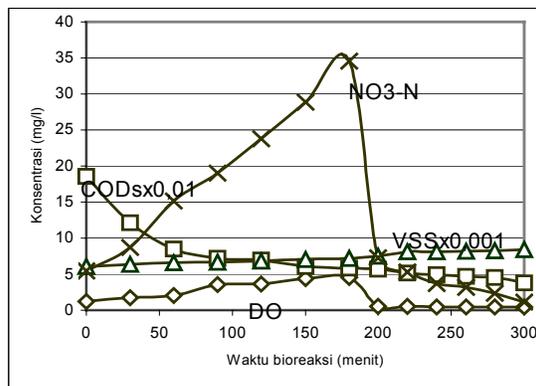
meningkatnya konsentrasi biomassa VSS dan menurunnya konsentrasi CODs akhir bioreaksi harian pada akhir masa perlakuan umur lumpur 10 hari.

3.4. Pengaruh waktu aerasi dan tanpa aerasi. Total bioreaksi 5 jam.

Profil penurunan CODs, nitrifikasi dan denitrifikasi pada kondisi aerobik ($DO > 1$ mg/l) dan anoksik ($DO < 1$ mg/l) serta pertambahan VSS selama bioreaksi total 5 jam, dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Gambar 6 untuk waktu aerobik 2 jam dan anoksik 3 jam, sedang Gambar 7 aerobik 3 jam dan anoksik 2 jam.



Gambar 6. Kurva pertumbuhan VSS, nitrifikasi, DO dan penyisihan selama bioreaksi, aerobik 2 jam anoksik 3 jam.



Gambar 7. Kurva pertumbuhan VSS, nitrifikasi, DO dan penyisihan selama bioreaksi, aerobik 3 jam anoksik 2 jam.

Dari kedua gambar tersebut terlihat penurunan COD terlarut maupun pertambahan

VSS untuk kondisi bioreaksi aerobik 2 jam anoksik 3 jam masing-masing 1329 mg/l dan mendekati nol, lebih kecil dibanding dengan kondisi aerobik 3 jam dan anoksik 2 jam dengan penurunan COD terlarut sebesar 1477 mg/l dan pertambahan VSS 2354 mg/l. Konsentrasi oksigen bertambah selama masa aerasi sampai mendekati 5 mg/l pada akhir masa aerobik, kemudian setelah tidak dilakukan aerasi DO menurun dengan cepat karena lebih cepatnya oksigen terlarut untuk digunakan sebagai respirasi dan sumber penerima elektron dari pada yang berdifusi ke dalam reaktor. Penurunan DO yang semula mendekati 5 mg/l turun dengan cepat di bawah 1 mg/l dalam waktu kurang dari 20 - 30 menit.

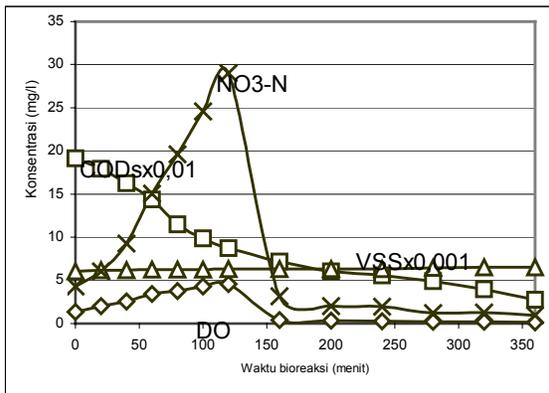
Pada kondisi kekurangan oksigen penurunan organik COD tetap terjadi, diikuti dengan penurunan kadar nitrat. Pada kondisi ini nitrat mengambil peran sebagai senyawa penerima elektron dan selanjutnya NO_3^- diperkirakan berubah menjadi senyawa nitrogen sesuai teori denitrifikasi seperti persamaan 10. Dari kedua gambar tersebut juga terlihat bahwa makin lama waktu aerasi makin besar jumlah nitrat yang terbentuk, yakni pada aerasi 2 jam terbentuk nitrat 4,2 mg/l menjadi 28,5 mg/l atau terjadi pertambahan 24,3 mg/l dibanding aerasi 3 jam yang mampu menaikkan nitrat dari 5,5 mg/l menjadi 34,5 mg/l atau kenaikan 29 mg/l.

Proses denitrifikasi pada masa aerasi dalam waktu 2 jam untuk kedua kondisi variasi tersebut ternyata mampu menurunkan nitrat mendekati 1,1 mg/l. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa penyisihan COD terlarut maupun penyisihan senyawa nitrogen yakni dari TKN menjadi nitrat kemudian menjadi nitrogen (denitrifikasi) lebih baik dilakukan pada masa aerobik 3 jam dan anoksik 2 jam dibanding aerobik 2 jam anoksik 3 jam. Dalam penelitian ini nitrit tidak dianalisis karena merupakan produk antara dan konsentrasinya jauh lebih kecil dibanding nitrat, karena COD:N lebih dari 350. Kondisi ini sesuai hasil penelitian yang dilaporkan Oh dan Silverstein (1999). Peneliti ini melaporkan bahwa konsentrasi nitrit bisa diabaikan bila perbandingan C:N sebagai perbandingan COD asetat : N diatas 5,7 dapat diabaikan.

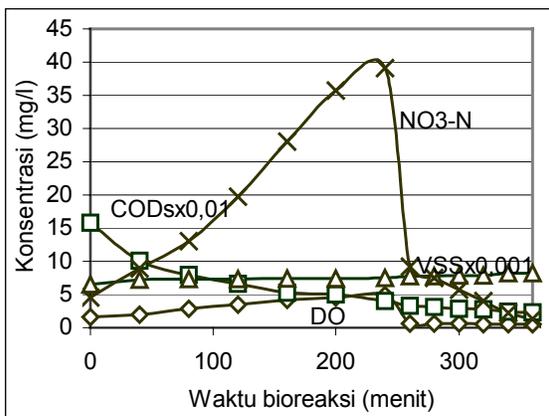
3.5. Total bioreaksi 6 jam.

Profil penurunan CODs, nitrifikasi dan denitrifikasi pada kondisi aerobik ($DO > 1$ mg/l)

dan anoksik ($DO < 1$ mg/l) serta pertambahan VSS selama bioreaksi total 6 jam, dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Untuk melihat kemampuan nitrifikasi dan denitrifikasi serta kemampuan penisisian CODs maka dari kedua gambar tersebut dibuat data seperti dalam Tabel 5. Dari tabel tersebut terlihat bahwa penyisihan senyawa nitrogen lewat nitrifikasi dan denitrifikasi terbesar terjadi pada waktu aerobik lebih panjang dan anoksik lebih pendek yakni 4 jam aerobik dan 2 jam anoksik dibanding 2 jam aerobik dan 4 jam anoksik.



Gambar 8. Kurva pertumbuhan VSS, nitrifikasi Denitrifikasi, dan penyisihan CODs selama bioreaksi, aerobik 2 jam anoksik 4 jam.



Gambar 9. Kurva pertumbuhan VSS, nitrifikasi denitrifikasi, dan penyisihan CODs terlarut selama periode 4 jam aerobik 2 jam anoksik.

Terlihat pula dalam Tabel 5, bahwa produksi lumpur akan makin besar bila waktu aerasi makin panjang. Fenomena ini diduga pada kondisi anoksik lebih panjang menyebabkan

kan proses endogenasi dan organik COD lebih banyak di konversi menjadi gas dan senyawa lain yang sederhana dibanding untuk pembentukan sel biomassa.

Tabel 5. Penyisihan CODs, nitrifikasi, denitrifikasi, dan pertambahan VSS pada bio-reaksi 6 jam.

Perlakuan	Waktu (menit)	NO ₃ -N (mg/l)	CODs (mg/l)	VSS (mg/l)
A ₂ P ₄	0	4,27	1992	6022
	120	29	870	6298
	360	0,9	275	6520
Δ*		20,1	1637	548
A ₄ P ₂	0	4,53	1584	6504
	240	39,1	405	7526
	360	1,34	233	8210
Δ*		37,8	1351	1706

*Δ = penyisihan/pertambahan

Jadi proses sintesa sel pada persamaan 7 dan 8 hanya sedikit dan lebih banyak terjadi reaksi persamaan 10. Kelarutan oksigen bertambah sampai akhir periode aerasi kemudian turun dengan cepat dalam waktu 20-30 menit menjadi di bawah 1 mg/l, sedang nitrat-N turun di bawah 10 mg/l (baku mutu air bersih) dalam waktu kurang dari 20 – 30 menit.

3.6. Total Bioreaksi 7 jam dan 8 jam.

Besarnya penurunan COD terlarut, pertambahan biomassa, nitrifikasi dan denitrifikasi selama bioreaksi aerobik dan anoksik untuk total bioreaksi 7 dan 8 jam dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Penyisihan CODs, nitrifikasi, denitrifikasi, dan pertambahan VSS pada bio-reaksi 7 jam.

Perlakuan	Waktu (menit)	NO ₃ -N (mg/l)	CODs (mg/l)	VSS (mg/l)
A ₂ P ₅	0	3,8	1760	6120
	120	22,4	462	6366
	420	0,7	242	6516
Δ		21,7	1518	396
A ₅ P ₂	0	4,2	1541	6516
	300	43	427	7866
	420	1,9	216	8392
Δ		41,1	1325	1876

Pada periode aerasi kelarutan oksigen meningkat dari 1,78 mg/l menjadi 4,89 mg/l pada perlakuan A₂P₅ kemudian turun dengan

cepat pada masa anoksik menjadi < 1 mg/l dalam waktu < 20 menit dan nitrat-N turun < 10 mg/l dalam waktu 20–30 menit. Pada perlakuan A_5P_2 kelarutan naik dari 1,55 mg/l menjadi maksimum 5,65 mg/l, kemudian menurun cepat < 1 mg/l dalam waktu < 40 menit sedang nitrat-N turun < 10 mg/l setelah 32 menit masa anoksik.

Dari Tabel 6, juga terlihat bahwa penyisihan nitrat terbesar terjadi pada periode aerasi yang lebih panjang begitupun pertambahan VSS, walaupun demikian CODs terbesar tersisihkan pada periode aerasi lebih pendek. Dari kedua perlakuan tersebut yakni A_5P_2 dan A_2P_5 terlihat bahwa CODs akhir terkecil terjadi pada periode aerasi lebih panjang yakni A_5P_2 . Hal ini terjadi pula pada periode bioreaksi 6 jam.

Tabel 7. Penyisihan CODs, nitrifikasi, denitrifikasi, dan pertambahan VSS pada bio-reaksi 8 jam.

Perlakuan	Waktu (menit)	NO ₃ -N (mg/l)	CODs (mg/l)	VSS (mg/l)
A_2P_6	0	5,2	1437	6258
	120	28,3	623	6998
	420	0,8	240	7168
Δ		27,5	1197	910
A_6P_2	0	4,01	1592	6500
	300	42,9	373	7640
	420	1,3	205	7938
Δ		41,6	1387	1438

Berdasarkan Tabel 7, terlihat bahwa pada masa bioreaksi 8 jam penyisihan nitrat-N lewat denitrifikasi, dan penyisihan COD terlarut total terbesar terjadi jika periode aerobik lebih panjang, yakni A_6P_2 dibanding A_2P_6 , begitu juga CODs terakhir juga terjadi pada periode aerobik yang lebih panjang. Pertumbuhan VSS juga semakin besar bila periode aerobik lebih panjang dibanding fase anoksik diperpanjang dalam satu putaran bioreaksi. Penurunan DO setelah akhir periode aerasi menjadi dibawah 1 mg/l butuh waktu 20-40 menit dan penurunan nitrat-N dibawah 10 mg/l 30 – 40 menit.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

01. Proses aklimatisasi menghasilkan koefisien yang berfluktuasi. Yield bisa tiba-tiba besar jika setelah beberapa hari pertambahan

lambat. Pada masa aklimatisasi diperoleh $yield = 0,23 \pm 0,16$.

02. Makin besar periode aerasi dalam satu siklus waktu bioreaksi aerobik-anoksik sama maka makin besar pula penyisihan nitrat-N, dan makin besar produksi lumpur. COD terlarut akhir bioreaksi juga makin kecil bila periode aerasi lebih panjang walaupun total bioreaksi aerobik-anoksik sama.
03. Waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi anoksik dari kondisi aerobik untuk masa aerasi 2-4 jam kurang dari 30 menit, sedangkan periode aerasi 5-6 jam butuh waktu < 40 menit.
04. Penurunan nitrat-N dibawah baku mutu 10 mg/l, untuk periode aerasi 2 – 4 jam juga < 30 menit dan periode aerasi 5 – 6jam butuh waktu < 40 menit.

4.2. Saran

Kinerja penyisihan nitrat atau senyawa nitrogen lewat nitrifikasi-denitrifikasi serta penyisihan COD terlarut lebih baik dilakukan bila periode aerobik 2 jam dan anoksik 20-30 menit. Kondisi ini dapat dilakukan berulang-ulang misal 2 jam aerasi-20 menit aduk-2 jam aerasi dan 20 menit aduk, dan seterusnya sampai kualitas COD akhir dan nitrat diinginkan. Keadaan ini juga bisa mengurangi produksi lumpur sehingga menghemat biaya pengolahan lumpur.

DAFTAR PUSTAKA

1. Benefield, L.D., Randall, C.W., *Biological Process Design for Wastewater Treatment*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs: hal. 230-232, 1980.
2. Grady, C.P.L., Lim, H.C., *Biological Wastewater Treatment, Theory and Applications*, Marcel Dekker, Inc., New York:hal. 787-798, 1980.
3. Oh, J., Silverstein, J., *Acetate Limitation and Accumulation During Denitrification*, J.Env. Engineering, hal.234-241, March, 1999.
4. Reynolds, T.D., *Unit Operations And Processes In Environmental Engineering*, PWS Pub., California: hal. 315-319, 1982
5. Sawyer, C.N., McCarty, P.L., Parkin, G.F., *Chemistry for Environmental Engineering*, 4th ed., McGraw-Hill, Inc., New York: hal. 554,1994.

