

**KESAN Cr(VI) TERHADAP PROSES NITRIFIKASI DAN DENITRIFIKASI
DALAM REAKTOR KELOMPOK BERTURUTAN (SBR)**

Oleh

YEOH SEOW CHEN

177897

Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi

Ijazah Sarjana Muda Sains

Februari 2003

Saya isytiharkan bahawa kandungan yang dibentangkan di dalam tesis ini adalah hasil kerja saya sendiri and telah dijalankan di Universiti Sains Malaysia kecuali dimaklumkan sebaliknya. Tesis ini juga tidak pernah diserahkan untuk ijazah yang lain sebelum ini.



Tandatangan Calon

Nama Calon : Yeoh Seow Chen

Disaksikan Oleh :



Tandatangan Penyelia/Dekan

Cop Jabatan : **Dr. LIM POH ENG**
Professor
School Of Chemical Sciences
Universiti Sains Malaysia
11800 Penang, Malaysia.

PENGHARGAAN

Saya ingin mengambil kesempatan ini untuk merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih kepada penyelia saya, Prof. Lim Poh Eng atas kesungguhan beliau dalam membimbing, memberi nasihat dan tunjuk ajar sepanjang projek ini dijalankan.

Ucapan ribuan terima kasih juga ingin saya tujukan kepada Encik Chee atas segala pertolongan dan sokongannya di sepanjang penyelidikan ini. Di samping itu, tidak lupa juga kepada rakan seperjuangan saya Poh Lee, Yan Yee dan Poh Yean yang menemani saya dalam menempuhi segala kesulitan dan masalah dalam menjalankan projek ini.

Dan akhir sekali, kepada rakan-rakan yang sentiasa memberi sokongan dan bantuan selama ini.

KANDUNGAN**PERKARA****MUKA SURAT**

Penghargaan	i
Kandungan	ii
Senarai Jadual	viii
Senarai Rajah	ix
Tatanama	xi
Abstrak	xii
Abstract	xiv
 1.0 PENGENALAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Sistem Enapan Teraktif	3
1.3 Reaktor Kelompok Berturutan (SBR)	4
1.3.1 Pengoperasian Sistem SBR	5
1.4 Proses Nitrifikasi Dan Denitrifikasi	8
1.4.1 Nitrifikasi	8
1.4.2 Denitrifikasi	9
1.5 Model Kinetik Nitrifikasi	12
1.6 Kesan Logam Kromium Terhadap Pengolahan Biologi	14
1.7 Proses Penjerapan	15
1.7.1 Model Isoterma Penjerapan	16
1.7.1.1 Model Langmuir	17
1.7.1.2 Model Freundlich	18
1.8 Serbuk Karbon Teraktif Dan Penggunaannya	19
1.9 Objektif	21

2.0	KAEDAH DAN BAHAN	22
2.1	Penyediaan Reaktor Kelompok Berturutan (SBR)	22
2.2	Pengoperasian Reaktor SBR	22
2.3	Kajian Prestasi Reaktor Kelompok Berturutan (SBR)	25
2.3.1	Reaktor Kelompok Berturutan Tanpa Logam Berat, R1	26
2.3.1.1	Kaedah Penentuan Tuntutan Oksigen Kimia (COD)	26
2.3.1.2	Penentuan Pepejal Terampai Campuran Rreaktor (MLSS)	26
2.3.1.3	Penentuan Pemendapan (SV_{30})	27
2.3.1.4	Penentuan Indeks Isipadu Enapan (SVI)	27
2.3.2	Reaktor Kelompok Berturutan Dengan Penambahan Logam Berat Cr(VI), R2	27
2.3.2.1	Penentuan Kepekatan Cr(VI)	28
2.3.3	Reaktor Kelompok Berturutan Dengan Penambahan Cr(VI) dan PAC, R3	28
2.4	Kajian Profil	28
2.4.1	Sampel Tanpa Cr(VI)	29
2.4.1.1	Penentuan Nitrogen Ammoniakal (AN)	29
2.4.1.2	Penentuan Nitrogen Nitrit (NO_2^- -N)	29
2.4.1.3	Penentuan Nitrogen Nitrat (NO_3^- -N)	30
2.4.2	Sampel Dengan Cr(VI)	30
2.5	Kajian Penjerapan	32
2.5.1	Penyediaan Bahan Penjerap	32
2.5.2	Penyediaan Larutan Stok Cr(VI) 1000 mg/L	33
2.5.3	Kajian Sentuhan Masa	33

2.5.4	Kajian Isoterma Penjerapan	33
2.6	Kajian Kesan PAC Terhadap Prestasi Reaktor Kelompok Berturutan Yang Mengandung Logam Berat	34
2.7	Penentuan Kepekatan Kromium Di Dalam Biomas	35
3.0	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	36
3.1	Prestasi Reaktor Kelompok Berturutan (SBR)	36
3.1.1	Pemendapan (SV_{30})	36
3.1.2	Indeks Isipadu Enapan (SVI)	38
3.1.3	Pepejal Terampai Campuran Reaktor (MLSS)	38
3.1.4	Kepekatan Pepejal Terampai Efluen (SS)	39
3.1.5	Kepekatan Tuntutan Oksigen Kimia (COD) Efluen	39
3.2	Proses Nitrifikasi Dan Denitrifikasi	45
3.2.1	Reaktor Tanpa Cr(VI), R1	48
3.2.2	Reaktor Dengan Cr(VI), R2	48
3.2.3	Reaktor Dengan Cr(VI) Dan PAC, R3	50
3.3	Kajian Profil Oksigen Terlarut (DO) Dan Tuntutan Oksigen Kimia (COD)	52
3.3.1	Sistem SBR Tanpa Cr(VI), R1	52
3.3.2	Sistem SBR Dengan Penambahan 15 mg/L Cr(VI), R2	53
3.3.3	Sistem SBR Dengan Penambahan 15 mg/L Cr(VI) Dan PAC, R3	54
3.4	Kajian Kinetik	62
3.4.1	Kinetik Penyingkiran COD	62
3.4.2	Kinetik Penyingkiran Nitrogen Ammoniakal (AN)	62
3.5	Kajian Penjerapan	66

3.5.1	Sentuhan Masa	66
3.5.2	Isoterma Penjerapan	66
3.6	Kepekatan Kromium Dalam Efluen Dan Biomas	72
3.6.1	Kepekatan Kromium Dalam Efluen	72
3.6.2	Kepekatan Kromium Dalam Biomas	73
4.0	KESIMPULAN	77
4.1	Kesan Cr(VI) Terhadap Prestasi SBR	77
4.2	Kesan Cr(VI) Terhadap Proses Nitrifikasi Dan Denitrifikasi	78
4.3	Kajian Penjerapan	79
4.4	Kepekatan Cr(VI) Dalam Efluen Dan Biomas	79
4.5	Cadangan	80

RUJUKAN

LAMPIRAN

Lampiran 1: Penentuan Tuntutan Oksigen Kimia (COD)

Lampiran 2: Penentuan Pepejal Terampai (MLSS)

Lampiran 3: Penentuan Pemendapan (SV_{30})

Lampiran 4: Penentuan Nitrogen Ammonia (NH_3-N)

Lampiran 5: Penentuan Nitrogen Nitrit ($NO_2^- - N$)

Lampiran 6: Penentuan Nitrogen Nitrat ($NO_3^- - N$)

Lampiran 7: Parameter SV_{30} , SVI, MLSS, SS dan COD bagi (a) reaktor R1,
(b) reaktor R2, (c) reaktor R3

Lampiran 8: Profil [AN], [$NO_2^- - N$] dan [$NO_3^- - N$] sebelum penambahan natrium
asetat

Lampiran 9: Profil [AN], [$NO_2^- - N$] dan [$NO_3^- - N$] selepas penambahan natrium
asetat

Lampiran 10: Profil [AN], [$NO_2^- - N$] dan [$NO_3^- - N$] tanpa 15 mg/L Cr(VI)

Lampiran 11: Profil [AN], [$NO_2^- - N$] dan [$NO_3^- - N$] dengan 15 mg/L Cr(VI)

Lampiran 12: Profil [AN], [$NO_2^- - N$] dan [$NO_3^- - N$] dengan 15 mg/L Cr(VI) & 1 g PAC

Lampiran 13: Profil [AN], [$NO_2^- - N$] dan [$NO_3^- - N$] dengan 15 mg/L Cr(VI) & 2 g PAC

Lampiran 14: Profil [AN], [$NO_2^- - N$] dan [$NO_3^- - N$] dengan 15 mg/L Cr(VI) & 4 g PAC

Lampiran 15: Profil COD

Lampiran 16: Profil DO

Lampiran 17: Kajian kinetik – kinetik penyingkiran COD

Lampiran 18: Kajian kinetik – kinetik Penyingkiran Nitrogen

Lampiran 19: Kajian masa sentuhan

Lampiran 20: Kajian isoterma penjerapan

Lampiran 21: Perubahan kepekatan Cr(VI) dalam efluen

Lampiran 22: Perubahan kepekatan Cr(VI) dalam biomas

SENARAI JADUAL

Jadual 2.1	: Langkah pengoperasian sistem SBR	24
Jadual 2.2	: Komposisi air buangan sintetik	24
Jadual 3.1	: Nilai parameter bagi isoterma Langmuir dan Freundlich	67

SENARAI RAJAH

Rajah 1.1	: Pengoperasian sistem SBR	7
Rajah 1.2	: Transformasi nitrogen dalam proses pengolahan biologi	11
Rajah 2.1	: Reaktor SBR	25
Rajah 3.1	: Perubahan SV_{30} melawan masa bagi reaktor (a) R1, (b) R2 dan (c) R3	37
Rajah 3.2	: Perubahan SVI melawan masa bagi reaktor (a) R1, (b) R2 dan (c) R3	41
Rajah 3.3	: Perubahan MLSS melawan masa bagi reaktor (a) R1, (b) R2 dan (c) R3	42
Rajah 3.4	: Perubahan kepekatan SS melawan masa bagi reaktor (a) R1, (b) R2 dan (c) R3	43
Rajah 3.5	: Perubahan COD melawan masa bagi reaktor (a) R1, (b) R2 dan (c) R3	44
Rajah 3.6	: Profil kepekatan AN , $NO_2^- - N$ dan $NO_3^- - N$ (a) sebelum dan (b) selepas penambahan natrium asetat	47
Rajah 3.7	: Profil kepekatan AN , $NO_2^- - N$ dan $NO_3^- - N$ bagi (a) R1 dan (b) R2	49
Rajah 3.8	: Profil kepekatan AN , $NO_2^- - N$ dan $NO_3^- - N$ dengan penambahan per kitaran (a) 15 mg/L Cr(VI) dan 1 g PAC, (b) 15 mg/L Cr(VI) dan 2 g PAC dan (c) 15 mg/L Cr(VI) dan 4 g PAC	51
Profil 3.9	: Profil (a) COD dan (b) DO bagi reaktor R1	57
Profil 3.10	: Profil (a) COD dan (b) DO bagi reaktor R2	58
Rajah 3.11	: Profil (a) COD dan (b) DO bagi reaktor R3 dengan	59

penambahan Cr(VI) dan 1 g PAC

Rajah 3.12	: Profil (a) COD dan (b) DO bagi reaktor R3 dengan penambahan Cr(VI) dan 2 g PAC	60
Rajah 3.13	: Profil (a) COD dan (b) DO bagi reaktor R3 dengan penambahan Cr(VI) dan 4 g PAC	61
Rajah 3.14	: Plot ln COD melawan masa bagi reaktor (a) R1, dan (b) R2 dan (c) R3 dengan penambahan Cr(VI) dan 1 g PAC/kitaran	64
Rajah 3.15	: Plot ln AN melawan masa bagi reaktor (a) R1, dan (b) R2 dan (c) R3 dengan penambahan Cr(VI) dan 1 g PAC/kitaran	65
Rajah 3.16	: Kajian sentuhan masa bagi (a) biomas terhadap Cr(VI) dan (b) PAC terhadap Cr(VI)	69
Rajah 3.17	: Isoterma penjerapan bagi Cr(VI) pada biomas dan PAC	70
Rajah 3.18	: Plot Langmuir bagi Cr(VI) pada (a) biomas dan (b) PAC	70
Rajah 3.19	: Plot Freundlich bagi Cr(VI) pada (a) biomas dan (b) PAC	71
Rajah 3.20	: Perubahan kepekatan Cr(VI) dalam efluen melawan masa bagi reaktor (a) R2 dan (b) R3	75
Rajah 3.21	: Perubahan kepekatan Cr(VI) dalam biomas melawan masa bagi reaktor (a) R2 dan (b) R3	76

TATANAMA

AN	Nitrogen ammoniakal
COD	Tuntutan oksigen kimia (mg/L)
DO	Oksigen terlarut (mg/L)
MLSS	Kepekatan pepejal terampai (mg/L)
SS	Pepejal terampai (mg/L)
SVI	Indeks isipadu enapan (mL/g)
SV ₃₀	Parameter pemendapan (mL/L)
k	Pemalar kinetik pseudo tertib pertama (min ⁻¹)
SBR	Reaktor kelompok berturutan
PAC	Serbuk karbon teraktif

ABSTRAK

Objektif kajian ini bertujuan untuk (1) menyelidik kesan Cr(VI) terhadap proses nitrifikasi dan denitrifikasi dalam sistem reaktor kelompok berturutan (SBR) dan (2) meninjau kesan serbuk karbon teraktif (PAC) dalam pengurangan ketoksikan Cr(VI). Tiga reaktor dioperasikan pada satu kitaran sehari dengan masa pengoperasian 4:9:3:2:2:4 bagi langkah pengisian, nitrifikasi, denitrifikasi, pemendapan, pengeluaran dan rehat masing-masing. Reaktor R1 iaitu reaktor kawalan dibekalkan dengan air buangan sintetik sahaja. Reaktor R2 dibekalkan dengan air buangan sintetik yang mengandungi 15 mg/L Cr(VI) manakala R3 dibekalkan dengan 15 mg/L Cr(VI) dan PAC. Profil tuntutan oksigen kimia (COD), oksigen terlarut (DO), nitrogen ammoniakal (AN), nitrogen nitrit (NO_2^- -N) dan nitrogen nitrat (NO_3^- -N) dikaji sepanjang proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Penambahan 15 mg/L Cr(VI) telah mengurangkan keberkesanan pengolahan sistem SBR. Keberkesanan penyingkiran COD juga menurun daripada 87.4% kepada 77.1%. Walau bagaimanapun, penambahan 1 g PAC/kitaran telah meningkatkan keberkesanan penyingkiran COD kepada 86.3%. Kesan penghalang Cr(VI) terhadap bakteria *Nitrosomonas* dan *Nitrobakter* semasa proses nitrifikasi adalah disokong oleh hasil keputusan yang menunjukkan keberkesanan penyingkiran AN yang rendah (25.5%) berbanding dengan reaktor R1 yang boleh mencapai 99.6%. Penambahan 1 g PAC/kitaran hanya meningkatkan keberkesanan penyingkiran AN bagi reaktor R3 kepada 29.3%.

Kajian kinetik menunjukkan bahawa kinetik tertib pertama boleh digunakan untuk menerangkan penyingkiran COD dan AN semasa proses nitrifikasi. Pemalar kadar penyingkiran COD bagi reaktor R1, R2 dan R3 masing-masing ialah 0.0379, 0.0059 dan 0.008 min^{-1} . Pemalar kadar bagi penyingkiran AN bagi reaktor R1, R2 dan

R3 masing-masing ialah 0.0024, 0.0006 dan 0.0016 min⁻¹. Ini menunjukkan bahawa penambahan 15 mg/L Cr(VI) kepada sistem SBR telah memberikan kesan penghalangan kepada aktiviti mikroorganisma. Peningkatan nilai k menunjukkan bahawa aktiviti mikroorganisma telah meningkat selepas PAC ditambahkan kepada sistem SBR. Namun begitu, penambahan PAC pada dosej 1 g/kitaran tidak dapat memulihkan sistem SBR sehingga ke sistem tanpa penambahan logam berat.

Serbuk karbon teraktif (PAC) dan biomas telah dikaji kapasiti penjerapannya terhadap Cr(VI). Kajian isoterma berdasarkan model Langmuir menunjukkan bahawa biomas mempunyai kapasiti penjerapan yang lebih tinggi terhadap Cr(VI) iaitu 32.47 mg/g berbanding dengan PAC yang mempunyai kapasiti penjerapan 27.70 mg/g.

EFFECT OF CHROMIUM (VI) ON THE NITRIFICATION PROCESS IN SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR)

ABSTRACT

The objectives of this research were : (1) to study the effect of Cr(VI) on nitrification and denitrification processes in the sequencing batch reactor (SBR) system and (2) to evaluate the efficiency of powdered activated carbon (PAC) in reducing the toxicity of Cr(VI). Three reactors, were operated at one cycle per day with FILL, NITRIFICATION, DENITRIFICATION, SETTLE, DRAW and IDLE periods in the ratio of 4:9:3:2:2:4. Reactor R1 was fed with synthetic wastewater only and served as the control. Reactor R2 fed with synthetic wastewater containing 15 mg/L of Cr(VI) whereas R3 was fed with 15 mg/L of Cr(VI) with PAC. The profiles for chemical oxygen demand (COD), dissolved oxygen (DO), ammoniacal nitrogen (AN), nitrite nitrogen (NO_2^- -N) and nitrate nitrogen (NO_3^- -N) during nitrification and denitrification process were studied. The addition of 15 mg/L Cr(VI) had resulted in the deterioration of the treatment efficiency of the SBR system. The COD removal efficiency had decreased from 87.4% to 77.1%. However, the addition of 1 g PAC/cycle had improved the COD removal efficiency of the system to 86.3%. The inhibitory effect of Cr(VI) on *Nitrosomonas* and *Nitrobactor* bacteria during nitrification process was supported by a relatively low removal efficiency (25.5%) for AN compared to reactor R1 which achieved 99.6%. The addition of 1 g PAC/cycle only improved the removal efficiency to 29.3% in reactor R3.

The kinetic study showed that first-order kinetics can be used to explain the removal of COD and AN during nitrification process. The rate constants for COD

removal in reactors R1, R2 and R3 were 0.0379, 0.0059 and 0.008 min^{-1} , respectively. The rate constants for AN removal in reactors R1, R2 and R3 were 0.0024, 0.0006 and 0.0016 min^{-1} , respectively. This showed that the addition of 15 mg/L Cr(VI) into the SBR system had exerted an inhibitory effect on the activity of microorganism. The increased k values indicated that the activity of microorganism had increased after PAC was added into the SBR system. Nevertheless, the addition of PAC at the dosage of 1 g/cycle could not recover the activity of microorganism to the level before the addition of heavy metals.

The adsorption capacities of powdered activated carbon (PAC) and biomass for Cr(VI) were studied. Based on the Langmuir Model, biomass had a higher adsorption capacity for Cr(VI), which was 32.47 mg/g compared to PAC of only 27.70 mg/g.

1.0 PENGENALAN

1.1 Latar Belakang

Arus pembangunan yang semakin pesat pada masa kini telah membawa kepada perkembangan industri. Kesan daripada perkembangan industri adalah pencemaran air akibat pembuangan industri. Kesan yang paling ketara adalah pencemaran air oleh logam berat. Kehadiran logam berat di kawasan persekitaran sehingga melebihi had yang dibenarkan akan memudaratkan kesihatan orang (Huang *et al.*, 1990). Pada masa kini, banyak kawalan terhadap kualiti air buangan telah dilakukan. Merujuk kepada Peraturan Kualiti Alam Sekitar (Najis dan Efluen Industri) 1979 di bawah Akta Kualiti Alam Sekitar 1974, had buangan bagi kebanyakan logam adalah di sekitar 0.5 hingga 1.0 mg/L. Disebabkan oleh kesedaran terhadap ketoksikan logam berat dan wujudnya kawalan air buangan industri, pelbagai jenis loji pengolahan air buangan telah diperkenalkan. Secara umumnya, unit operasi dan proses pengolahan boleh diklasifikasikan kepada pengolahan primer, sekunder dan tertier. Dalam proses pengolahan primer yang melibatkan operasi fizik termasuklah penapisan dan pemendapan partikulat dan ion-ion tidak terlarut dalam air buangan. Proses sekunder pula melibatkan pengolahan jenis biologi dan kimia yang menyingkirkan air buangan organik dan tak organik manakala proses tertier pula melibatkan proses pengolahan nitrogen dan fosforus (Metcalf & Eddy, 1991). Proses pemendapan, pengolahan biologi, penjerapan, penukaran ion, pengoksidaan kimia merupakan antara proses yang biasa digunakan dalam pengolahan air buangan industri. Walau bagaimanapun, setiap proses yang digunakan mempunyai kelebihan dan kelemahannya (John & Brian, 1992). Daripada pelbagai proses yang diperkenalkan, proses pengolahan biologi mempunyai kelebihan. Misalnya, proses ini dapat menyingkirkan BOD₅, COD, nitrogen dan

fosforus dengan berkesan, tidak melibatkan penggunaan bahan kimia dan melibatkan kos pembuangan dan pengendalian enapan yang rendah.

Dengan perkembangan teknologi dan peralatan baru, minat terhadap sistem reaktor kelompok berturutan (SBR) telah dipertingkatkan. Kemajuan proses pengudaraan dan sistem pengawalan membolehkan sistem ini digunakan secara meluas dalam pengolahan air buangan (Metcalf & Eddy, 1991). Proses ini mewujudkan keadaan yang diperlukan dalam nitrifikasi dan denitrifikasi serta mengekalkan oksigen terlarut yang maksimum untuk pengolahan air buangan. Disebabkan oleh ketoksikan ammonia terhadap kehidupan akuatik, misalnya ikan, maka proses nitrifikasi adalah signifikan dalam pengolahan air buangan yang melibatkan penyingkiran ammonia.

Walau bagaimanapun, kaedah SBR tidak banyak digunakan dalam pengolahan air buangan industri yang mengandungi logam berat yang bertoksik di mana pengolahan air buangan tersebut biasanya dilakukan dengan proses pengolahan kimia-fizik seperti proses penggumpalan (*coagulation*) dan pengelompokan (*flocculation*) atau proses penukar ion yang mampu menurunkan takat kepekatan logam berat kepada mg/L.

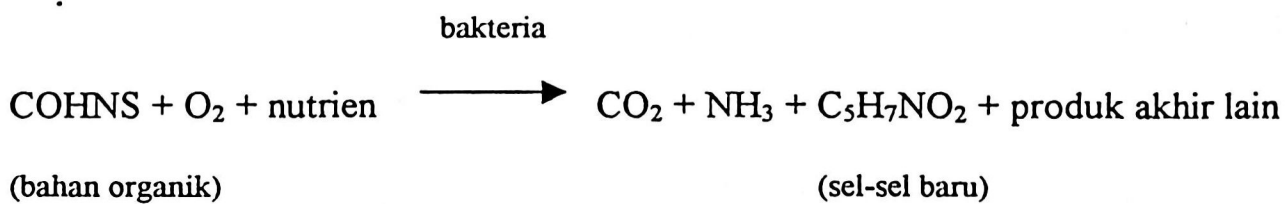
Memandangkan ketoksikan logam berat kepada kehidupan akuatik dan manusia, banyak kajian telah dilakukan dalam proses pengolahan biologi yang melibatkan logam berat. Kajian Gokcay & Yetis (1991) tentang kesan penambahan kromium (VI) terhadap kinetik enapan teraktif telah dilakukan. Poon & Bhayani (1971) pula telah melakukan kajian kadar spesifik penggunaan oksigen oleh bakteria dengan kehadiran Cu, Cr, Ni, Ag dan Zn. Pada tahun 1989 pula, kajian penjerapan Cr(VI) terhadap enapan teraktif dan serbuk karbon teraktif dilakukan (Lee *et al.*, 1989) manakala pada tahun 2002, penilaian keberkesanan proses penjerapan dan biouraian

operasi SBR bagi pengolahan air buangan sintetik yang mengandung Cu dan Cd dengan penggunaan serbuk karbon teraktif juga dijalankan (Lim *et al.*, 2002).

1.2 Sistem Enapan Teraktif

Proses enapan teraktif dibangunkan di England pada tahun 1914 oleh Ardern dan Lockett. Dalam pengolahan air buangan biologi yang melibatkan sistem enapan teraktif, air buangan organik dialirkan ke dalam reaktor di mana pengkulturan bakteria aerobik dikekalkan. Bagi sistem enapan teraktif, sekurang-kurangnya 1 mg/L oksigen terlarut diperlukan dalam reaktor bagi aktiviti bakteria. Dalam reaktor tersebut, bakteria akan menukarkan bahan-bahan organik kepada tenaga, sel-sel baru dan produk akhir yang ringkas seperti berikut.

Pengoksidaan dan sintesis:



Respirasi endogenus:



Dalam persamaan tersebut, COHNS mewakili bahan organik dalam air buangan.

Dalam pengoperasian sistem enapan teraktif, terdapat beberapa spesies bakteria yang memainkan peranan penting dalam penyingkiran nutrien dan karbon. Di sebaliknya, kehadiran sesetengah spesies bakteria yang banyak akan mempengaruhi ciri pemendapan enapan teraktif, dan menyebabkan pembentukan buih atau bersaing dengan mikroorganisma yang diperlukan dalam penyingkiran nutrien (Wagner & Loy, 2002). Secara umumnya, bakteria yang terdapat dalam proses enapan teraktif

dalam proses enapan teraktif iaitu seperti *Sphaerotilus*, *Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Lecicothrix* dan *Geotrichum* (Hawkers, 1963; Higgins & Burns, 1975).

Adalah penting bahawa bakteria dalam sistem enapan teraktif harus berupaya untuk menghuraikan air buangan organik dengan secepat mungkin, malah pemendapan yang memuaskan harus diperolehi bagi memastikan kualiti air buangan terolah. Misalnya, air buangan yang berkualiti harus mempunyai nilai Indeks Isipadu Enapan (SVI) yang kurang daripada 100 mL/g.

1.3 Reaktor Kelompok Berturutan (SBR)

Reaktor kelompok berturutan merupakan satu sistem enapan teraktif yang melibatkan pengisian dan pengeluaran air buangan secara berselang-seli. Dalam sistem ini, pengudaraan dan pemendapan adalah berlaku dalam reaktor yang sama iaitu berbeza daripada sistem konvensional di mana proses pengudaraan dan pemendapan berlaku dalam reaktor yang berlainan. Sistem pengolahan SBR melibatkan operasi berturutan termasuk langkah PENGISIAN, TINDAK BALAS, PEMENDAPAN, PENGELUARAN dan REHAT. Apabila penyingkiran nutrien biologi diperlukan, langkah pengoperasian SBR akan diubah kepada mod yang berlainan iaitu anaerobik, anoksik dan aerobik. Fasa anaerobik merupakan langkah penyingkiran COD daripada air buangan, fasa anoksik pula merupakan fasa di mana denitrifikasi ion nitrat berlaku. Fasa aerobik pula ialah langkah di mana pengoksidaan sebatian berkarbon, proses

Nitrogen dan fosfat dalam air buangan dapat dicapai. Banyak kajian telah dijalankan dalam pengolahan air buangan menggunakan sistem SBR. Umble & Ketchum (1997) telah menggunakan SBR dalam penyingkiran BOD₅, TSS dan NH₃-N di mana tahap penyingkiran yang dicapai masing-masing adalah 98, 90 dan 89%. Chang *et al.* (2000) pula telah menjalankan kajian tentang beberapa parameter yang boleh mempengaruhi prestasi SBR.

1.3.1 Pengoperasian Sistem SBR

Secara umumnya, pengoperasian sistem SBR melibatkan lima langkah iaitu 1) PENGISIAN, 2) TINDAK BALAS, 3) PEMENDAPAN, 4) PENGELUARAN dan 5) REHAT. Langkah pengoperasian diterangkan seperti berikut.

a) PENGISIAN

Tujuan operasi PENGISIAN adalah penambahan substrat iaitu air buangan mentah atau efluen primer ke dalam reaktor. Biasanya langkah pengisian membenarkan tahap pengisian air buangan daripada 25% hingga 100% jumlah kapasiti. Langkah ini boleh dikawal oleh masa supaya ia meliputi 25% daripada satu masa kitaran pengoperasian yang lengkap.

b) TINDAK BALAS

Operasi TINDAK BALAS meliputi 35% daripada satu masa kitaran pengoperasian SBR yang lengkap. Tujuan langkah TINDAK BALAS adalah melengkapkan tindak balas yang telah dimulakan semasa langkah PENGISIAN. Pengudaraan dibekalkan semasa langkah TINDAK BALAS dengan udara yang mencukupi dibekalkan kepada enapan teraktif supaya nitrifikasi boleh berlaku dalam pengolahan air buangan. Ini bermakna kandungan oksigen terlarut dalam reaktor

harus melebihi 1 mg/L (Irvine, 1985). Pada takat akhir operasi, pengudaraan dihentikan supaya proses denitrifikasi berlaku.

c) PEMENDAPAN

Operasi PEMENDAPAN membenarkan pemisahan enapan teraktif daripada air buangan terolah. Dalam langkah PEMENDAPAN, pengudaraan dihentikan. Dalam sistem SBR, proses pemendapan adalah lebih berkesan dibandingkan dengan sistem konvensional disebabkan isi kandungan dalam reaktor adalah pasif pada mod pemendapan.

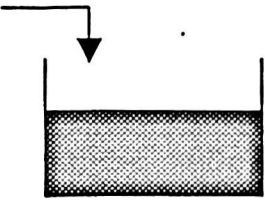
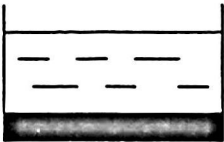
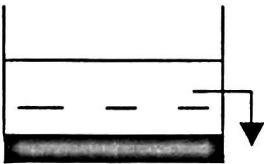
d) PENGELUARAN

Operasi PENGELUARAN membenarkan air terolah dipam keluar daripada reaktor. Jumlah masa pengeluaran meliputi 5% hingga 30% daripada satu kitaran pengoperasian reaktor kelompok berturutan yang lengkap (15 minit hingga 2 jam).

e) REHAT

Bagi sistem SBR yang melibatkan multi reaktor, langkah REHAT memberikan masa yang cukup untuk satu reaktor melengkapkan kitaran pengoperasiannya sebelum dialihkan ke unit reaktor yang lain. Kadang kala langkah ini boleh disingkirkan daripada satu kitaran pengoperasian SBR.

Secara ringkasnya, pengoperasian sistem SBR adalah ditunjukkan dalam Rajah

	Langkah pengoperasian	Pam udara & Ejektor	Tujuan
	PENGISIAN	dimatikan	air buangan sintetik dimasukkan
	TINDAK BALAS	dihidupkan	Pengoksidaan air buangan
	PEMENDAPAN	dimatikan	pemisahan air buangan dari enapan teraktif
	PENGELUARAN	dimatikan	air buangan dipam keluar
	REHAT	dimatikan	masa sebelum reaktor ditukar kepada kitaran baru

Rajah 1.1 Pengoperasian sistem SBR

1.4 Proses Nitrifikasi Dan Denitrifikasi

Nitrogen boleh wujud dalam pelbagai bentuk dalam air buangan. Rajah 1.2 menunjukkan transformasi nitrogen dalam proses pengolahan biologi. Perubahan ini membolehkan ammonia-nitrogen (AN) ditukar kepada beberapa bentuk yang seterusnya disingkirkan daripada air buangan. Dua mekanisma yang wujud adalah asimilasi dan nitrifikasi-denitrifikasi. Nitrogen merupakan nutrien kepada bakteria, maka biomas yang hadir dalam proses pengolahan akan mengasimilasikan AN untuk bergabung ke dalam sel biomas.

Dalam proses nitrifikasi-denitrifikasi, penyingkiran nitrogen dicapai melalui 2 langkah iaitu nitrifikasi yang mengoksidakan ammonia kepada nitrit dan seterusnya kepada nitrat, dan denitrifikasi yang melibatkan penurunan nitrat kepada gas nitrogen yang dibebaskan ke atmosfera. Proses ini adalah diuraikan dalam bahagian seterusnya.

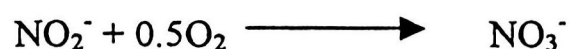
1.4.1 Nitrifikasi

Nitrifikasi merupakan langkah pertama pengolahan nitrogen melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Dua jenis bakteria yang memainkan peranan penting dalam proses nitrifikasi adalah *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. *Nitrosomonas* mengoksidakan ammonia kepada nitrit, nitrit pula akan dioksidakan kepada nitrat oleh bakteria *Nitrobacter*.

Persamaan yang melibatkan bakteria *Nitrosomonas*



Persamaan yang melibatkan bakteria *Nitrobacter*



Persamaan yang ditunjukkan ini membenarkan pengiraan amaun bahan kimia yang diperlukan dalam proses nitrifikasi. Lebih kurang 4.57 mg O₂ diperlukan per mg ammonia-nitrogen yang dioksidakan kepada nitrat-nitrogen.

Keadaan persekitaran seperti pH dan suhu memberi kesan yang sangat penting bagi kehidupan dan pertumbuhan bakteria. Secara umumnya, suhu di bawah titik optimum pengoperasian memberikan kesan yang lebih terhadap pertumbuhan bakteria dibandingkan dengan suhu yang melebihi suhu optimum pengoperasian SBR. Adalah diperhatikan bahawa kadar pertumbuhan bakteria berganda bagi setiap kenaikan suhu sebanyak 10 °C sehingga suhunya mencapai suhu optimum pengoperasian. Secara umumnya, suhu optimum kadar pertumbuhan bakteria nitrifikasi adalah di sekitar 28 – 36 °C. Selain itu, pH juga merupakan salah satu faktor yang boleh mempengaruhi pertumbuhan bakteria. Nilai pH yang melebihi 9.5 dan pH yang kurang daripada 4.0 adalah tidak sesuai bagi pertumbuhan bakteria. Secara umumnya, pH optimum pengoperasian adalah dalam julat 6.5 hingga 7.5 (Sharma & Ahlert, 1977). Adalah diketahui pH adalah lebih rendah semasa proses nitrifikasi, aktiviti bakteria akan berubah sekiranya pH tidak dikawal. Maka bagi pengoperasian SBR, suhu dan pH perlu dioptimumkan. Satu lagi parameter yang sangat penting dalam proses nitrifikasi adalah oksigen terlarut. Biasanya, kepekatan oksigen terlarut yang melebihi 1 mg/L adalah diperlukan bagi proses nitrifikasi. Sekiranya kepekatan oksigen terlarut kurang daripada 1 mg/L, proses nitrifikasi akan dibantutkan (Metcalf & Eddy, 1991)

1.4.2 Denitrifikasi

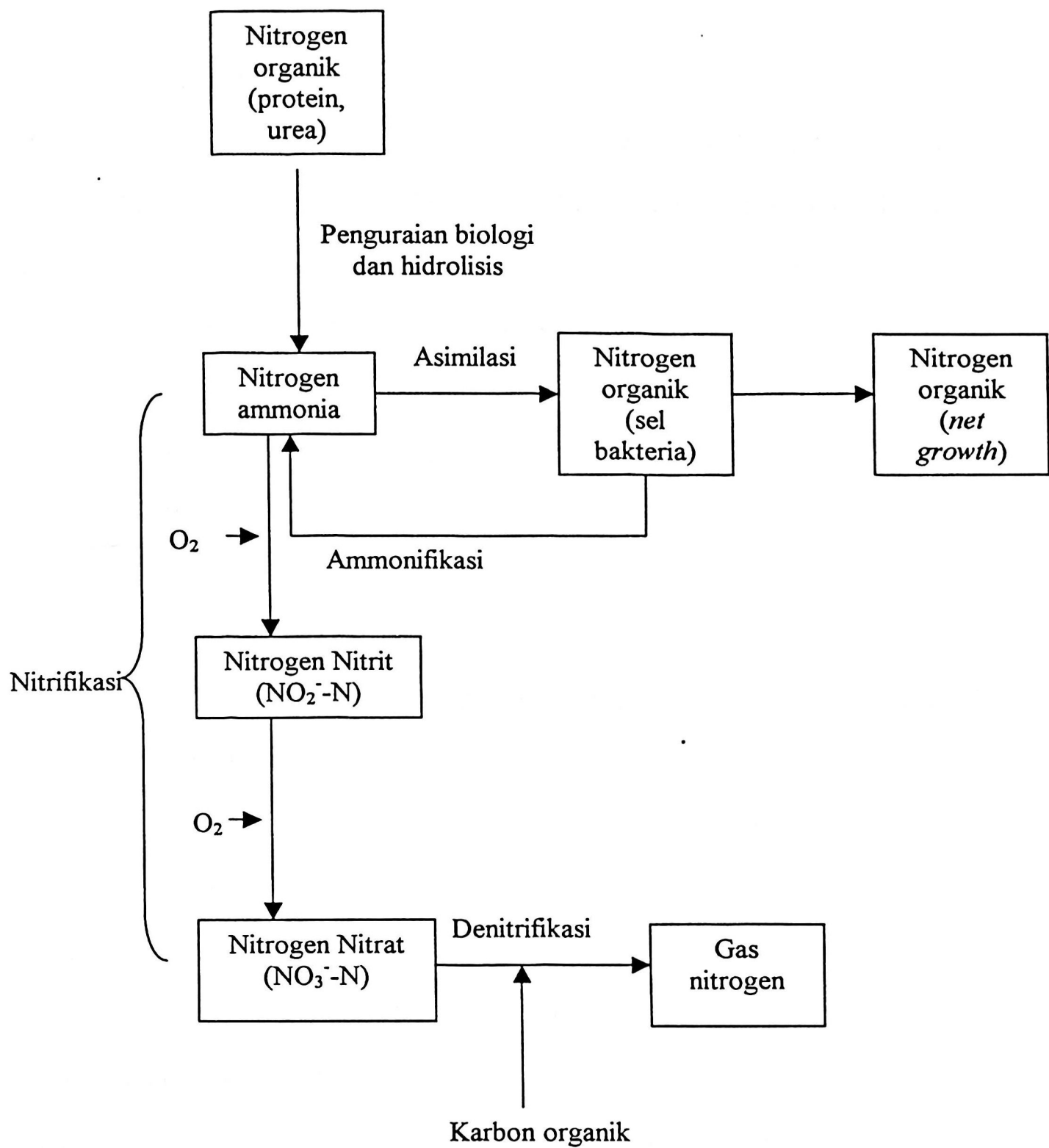
Denitrifikasi merupakan langkah kedua pengeluaran nitrogen dalam proses nitrifikasi-denitrifikasi. Nitrogen boleh dikeluarkan daripada air buangan terolah jika ditukarkan kepada gas nitrogen. Proses ini boleh dicapai secara biologi dalam keadaan

anoksik (tanpa oksigen). Proses ini juga boleh dikenali sebagai denitrifikasi anaerobik. Langkah ini boleh dicapai oleh pelbagai jenis bakteria. Ini termasuk *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas* dan *Spirillum*. Bakteria-bakteria ini berupaya untuk menjalankan proses penurunan 2 langkah. Mulanya nitrat akan diturunkan kepada nitrit, ini diikuti pula oleh penurunan nitrit kepada nitrik oksida, nitrus oksida dan gas nitrogen. Langkah penurunan yang terlibat adalah seperti berikut,



Sebatian NO, N₂O dan gas nitrogen yang terbentuk boleh dibebaskan ke atmosfera. Proses ini berlaku tanpa oksigen. Kehadiran oksigen terlarut akan menjejaskan sistem enzim yang diperlukan dalam denitrifikasi. Alkaliniti dihasilkan semasa penukaran nitrat kepada gas nitrogen dan ini boleh meningkatkan pH proses denitrifikasi. Adalah diketahui bahawa pH optimum proses denitrifikasi adalah dalam julat 7 hingga 8 (Metcalf & Eddy, 1991). Maka secara keseluruhannya, suhu dan pH optimum perlu dikekalkan demi mengawal keseluruhan aktiviti bakteria.

Biasanya bakteria anaerobik memperoleh tenaga untuk pertumbuhan daripada proses penurunan nitrat kepada gas nitrogen. Pada masa yang sama, sumber karbon diperlukan bagi sintesis sel. Disebabkan air buangan yang melalui proses nitrifikasi adalah rendah dalam sumber karbon, maka sumber karbon luaran diperlukan. Bagi sesetengah sistem biologik denitrifikasi, metanol ditambahkan sebagai sumber karbon. Kajian telah menunjukkan bahawa penambahan metanol sebagai sumber karbon telah meningkatkan kadar denitrifikasi (Louzeiro *et al.*, 2002).



Rajah 1.2 Transformasi nitrogen dalam proses pengolahan biologi (Metcalf & Eddy, 1991)

1.5 Model Kinetik Nitrifikasi

Mengikut Broste (1997), kadar substrat diuraikan semasa langkah pengisian dan tindak balas boleh ditentukan secara kuantitatif. Daripada keputusan yang diperoleh melalui model kinetik, maka pengubahsuaian boleh dilakukan terhadap tempoh PENGISIAN dan TINDAK BALAS SBR. Ini bertujuan untuk mengoptimumkan sistem SBR.

Bagi substrat, persamaan imbalan jisim:

$$\frac{d[(V_0 + V)S]}{dt} = QS_0 - kS(V_0 + V) \quad (1)$$

di mana,

V = isipadu cecair yang ditambah ke dalam reaktor pada masa t semasa langkah PENGISIAN (L)

V_0 = isipadu awal campuran reaktor sebelum langkah PENGISIAN (L)

Q = kadar aliran isipadu air buangan (L/min)

S = kepekatan substrat semasa tindak balas (mg/L)

S_0 = kepekatan substrat dalam air buangan (mg/L)

k = pemalar kinetik (min^{-1})

Dalam proses nitrifikasi, penguraian substrat dianggap mematuhi tertib pertama.

Semasa langkah TINDAK BALAS, kadar aliran isipadu air buangan adalah sifar iaitu $Q = 0$. Diketahui bahawa V adalah tetap, maka Persamaan (1) menjadi

$$(V_0 + V)dS/dt = -kS(V_0 + V) \quad (2)$$

Persamaan (2) diringkaskan menjadi,

$$dS/dt = -kS \quad (3)$$

Secara umumnya, penukaran nitrogen dalam proses nitrifikasi dan denitrifikasi merupakan tindak balas yang berturutan iaitu dimulakan dengan proses nitrifikasi yang melibatkan pengoksidaan AN-N kepada NO_2^- dan diikuti pula kepada NO_3^- . Selepas itu, proses denitrifikasi akan berlaku di mana NO_3^- diturunkan kepada NO_2^- dan N_2 .



Mekanisma tersebut dihuraikan dengan menggunakan persamaan berikut:-

$$d[\text{AN}]/dt = -k_1[\text{AN}] \quad (4)$$

Dikamirkan,

$$[\text{AN}] = [\text{AN}]_0 e^{-k_1 t} \quad (5)$$

Daripada graf $\ln[\text{AN}]$ melawan masa, maka nilai pemalar kadar k_1 boleh diperoleh daripada kecerunan graf.

$$d[\text{NO}_2^- - \text{N}]/dt = k_1[\text{AN}] - k_2[\text{NO}_2^- - \text{N}] \quad (6)$$

Persamaan (5) digantikan ke dalam Persamaan (6), kemudian didarabkan dengan $e^{k_2 t}$,

$$e^{k_2 t} d[\text{NO}_2^- - \text{N}]/dt + k_2[\text{NO}_2^- - \text{N}]e^{k_2 t} = k_1[\text{AN}]_0 e^{(k_2 - k_1)t} \quad (7)$$

Persamaan (7) dikamirkan,

$$e^{k_2 t}[\text{NO}_2^- - \text{N}] = k_1[\text{AN}]_0 e^{(k_2 - k_1)t}/(k_2 - k_1) + C_1 \quad (8)$$

Pada $t = 0$, $[\text{NO}_2^- - \text{N}] = 0$, maka $C_1 = -k_1[\text{AN}]_0/(k_2 - k_1)$

Gantikan C_1 ke dalam Persamaan (8),

$$e^{k_2 t}[\text{NO}_2^- - \text{N}] = k_1[\text{AN}]_0 e^{(k_2 - k_1)t}/(k_2 - k_1) - k_1[\text{AN}]_0/(k_2 - k_1)$$

$$[\text{NO}_2^- - \text{N}] = k_1[\text{AN}]_0 (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t})/(k_2 - k_1) \quad (9)$$

$$d[\text{NO}_3^- - \text{N}]/dt = k_2[\text{NO}_2^- - \text{N}] \quad (10)$$

Gantikan Persamaan (9) ke dalam Persamaan (10),

$$d[\text{NO}_3^- - \text{N}]/dt = k_2 \{ k_1[\text{AN}]_0 (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t})/(k_2 - k_1) \} \quad (11)$$

Persamaan (11) dikamirkan,

$$[\text{NO}_3^- - \text{N}] = k_2 k_1 [\text{AN}]_0 / (k_2 - k_1) [-e^{-k_1 t}/k_1 + e^{-k_2 t}/k_2] + C_2 \quad (12)$$

Pada $t = 0$, $[\text{NO}_3^- - \text{N}] = 0$, maka $C_2 = [\text{AN}]_0$

Gantikan C_2 ke dalam Persamaan (12),

$$\begin{aligned} [\text{NO}_3^- - \text{N}] &= k_2 k_1 [\text{AN}]_0 / (k_2 - k_1) [-e^{-k_1 t} / k_1 + e^{-k_2 t} / k_2] + [\text{AN}]_0 \\ &= \{[\text{AN}]_0 / (k_2 - k_1)\} [k_1 e^{-k_2 t} - k_2 e^{-k_1 t} + k_2 - k_1] \\ &= \{[\text{AN}]_0 / (k_2 - k_1)\} [k_2 (1 - e^{-k_1 t}) - k_1 (1 - e^{-k_2 t})] \end{aligned} \quad (13)$$

1.6 Kesan Logam Kromium Terhadap Pengolahan Biologi

Banyak jenis logam berat yang hadir dalam air buangan industri memberikan kesan toksik kepada mikroorganisma dalam enapan teraktif. Sekiranya kandungan logam berat mencapai kepekatan tertentu, maka ini akan menjejaskan operasi keseluruhan sistem pengolahan biologi (Cheng *et al.*, 1975; Nelson *et al.*, 1981). Salah satu spesies logam berat yang sangat toksik adalah Cr(VI). Logam ini perlu disingkirkan demi mengekalkan pengoperasian sistem biologi (Mearns *et al.*, 1978). Mengikut McCarty (1964), logam akan mendorong aktiviti biologi pada kepekatan tertentu. Pada kepekatan yang lebih tinggi, kesan sebaliknya akan diperhatikan. Walau bagaimanapun, Cr(VI) adalah toksik terhadap kebanyakan mikroorganisma pada kepekatan yang sangat rendah (Barth *et al.*, 1965). Dalam beberapa kajian yang telah dilakukan, kesan ketoksikan Cr(VI) adalah tidak konsisten. Misalnya, proses pengolahan aerobik biologi dapat bertoleransi tanpa gangguan yang signifikan dalam kecekapan pengolahan sehingga pada kepekatan Cr(VI) mencapai 10 mg/L, sama ada diaplikasikan secara tunggal atau dalam kombinasi dengan kuprum, nikel atau zink (Barth *et al.*, 1965). Selain itu, kepekatan Cr(VI) pada 5 mg/L turut memperbaiki prestasi enapan teraktif berbanding dengan reaktor kawalan iaitu reaktor tanpa penambahan Cr(VI) (Moore *et al.*, 1961). Kajian juga menunjukkan bahawa kepekatan Cr(VI) pada 1, 5, 10 dan 25 mg/L telah mendorong kadar pertumbuhan maksimum kultur (Gokcay & Yetis, 1991).

Daripada hasil kajian sebelumnya, diperoleh bahawa kesan Cr(VI) terhadap aktiviti mikroorganisma adalah tidak konsisten. Kehadiran Cr(VI) pada kepekatan tertentu boleh mendorong kadar pertumbuhan mikroorganisma. Sebaliknya bagi sesetengah kajian, diperoleh bahawa ketoksikan Cr(VI) terhadap aktiviti mikroorgasma adalah signifikan walaupun pada kepekatan yang rendah.

1.7 Proses Penjerapan

Penjerapan ialah proses pemisahan yang berlaku pada permukaan atau pada antara muka. Penjerapan yang selalunya berlaku melibatkan pepejal, misalnya dalam sistem cecair-pepejal dan gas-pepejal. Dengan kata lain, penjerapan merupakan proses pemisahan di mana molekul-molekul, atom-atom atau ion-ion (cecair atau gas) yang dikenali sebagai bahan terjerap ke atas permukaan pepejal iaitu bahan penjerap melalui tindak balas fizik yang dikenali sebagai penjerapan fizik atau tindak balas kimia yang dikenali sebagai penjerapan kimia (Mattson & Mark, 1971). Penjerapan fizik tidak melibatkan gabungan atau pemindahan elektron, malah berlaku pada permukaan bahan penjerap akibat interaksi atau daya yang lemah seperti daya van der Waals dan dwikutub. Penjerapan kimia pula melibatkan pemindahan elektron pada antara muka iaitu terdapatnya pembentukan ikatan kimia. Namun begitu, dalam proses interaksi yang sebenarnya, tidak ada garis yang nyata yang dapat membezakan antara kedua proses tersebut, maka interaksi tersebut dinyatakan sebagai proses serapan (*sorption*).

Apabila kadar penjerapan adalah sama dengan nyahjerapan, maka keseimbangan tercapai dan kapasiti penjerap adalah tercapai. Titik keseimbangan merupakan takat di mana proses penjerapan berlaku sehingga tiada penjerapan bersih dari larutan ke permukaan bahan penjerap (Hassler, 1974). Secara teori, kapasiti penjerapan boleh ditentukan melalui pengiraan isoterma penjerapan (Metcalf & Eddy, 1991).

Secara keseluruhannya, kadar penjerapan bagi penjerap karbon dikawal oleh kadar pembauran molekul zat terjerap di sekitar liang kapilari karbon. Kadarnya dipengaruhi oleh diameter penjerap, kepekatan zat terjerap, suhu dan juga berat molekul zat terjerap. Mengikut Slejko (1985), faktor yang mempengaruhi proses penjerapan termasuklah kepekatan bahan penjerap dan terjerap, jangka masa sentuhan bahan terjerap dan penjerap, pH larutan, kehadiran bahan terjerap lain yang bersaing terhadap tapak penjerapan dan ciri-ciri permukaan bahan penjerap.

1.7.1 Model Isoterma Penjerapan

Isoterma penjerapan telah digunakan untuk menerangkan keadaan keseimbangan antara kepekatan zat terlarut yang terjerap dan zat terlarut yang tidak terjerap pada suhu tertentu. Kuantiti zat terjerap yang boleh diambil oleh zat penjerap adalah fungsi kepekatan pada suhu tertentu, dan hasil fungsi ini dikenali sebagai isoterma penjerapan (Metcalf & Eddy, 1991). Persamaan yang digunakan untuk penerangan data isoterma secara eksperimen telah dibangunkan oleh Freundlich, Langmuir, dan Brunauer, Emmet dan Teller (isoterma BET).

Daripada model yang diterbitkan ini, model tertentu mungkin dipatuhi oleh data yang diperolehi dalam proses penjerapan pada keadaan tertentu. Pada keadaan yang berbeza, proses penjerapan tersebut mungkin mematuhi model yang berlainan. Walau bagaimanapun, model isoterma penjerapan yang biasa digunakan dalam sistem pepejal-cecair ialah model Langmuir dan Freundlich. Berdasarkan Metcalf & Eddy (1991), isoterma Freundlich merupakan model yang paling biasa digunakan dalam penerangan penjerapan karbon teraktif dalam air dan pengolahan air buangan. Model BET pula biasanya digunakan dalam penerangan penjerapan pepejal-gas dan hanya digunakan dalam kes-kes tertentu bagi penjerapan pepejal-cecair (Tanin & Gurgey, 1987).

Mengikut McGuire & Suffet (1980), model Langmuir adalah dibuat berdasarkan 3 andaian iaitu:-

- a) Tenaga penjerapan adalah malar.
- b) Penjerapan berlaku pada tapak setempat.
- c) Penjerapan maksimum merupakan penjerapan monolapisan.

1.7.1.1 Model Langmuir

Model Langmuir adalah ditakrifkan seperti berikut:

$$\frac{x}{m} = \frac{abC_e}{1 + bC_e} \quad (14)$$

di mana,

x = berat zat terjerap

m = berat bahan penjerap

x/m = amaun zat terjerap per unit berat penjerap (karbon)

C_e = kepekatan zat terjerap dalam larutan selepas penjerapan pada keadaan keseimbangan

a = amaun bahan penjerap yang membentuk satu monolapisan lengkap pada permukaan penjerap atau dikenali sebagai kapasiti penjerapan maksimum

b = pemalar Langmuir yang menunjukkan afiniti penjerapan atau tenaga antara bahan penjerap dan bahan terjerap

Selepas pelinearan Persamaan (14), kapasiti penjerapan iaitu a boleh ditentukan berdasarkan graf $C_e(x/m)$ melawan C_e .

$$\frac{C_e}{(x/m)} = \frac{1}{ab} + \frac{C_e}{a} \quad (15)$$

1.7.1.2 Model Freundlich

Model Freundlich ditakrifkan seperti berikut:-

$$x/m = K_f C_e^{1/n} \quad (16)$$

di mana,

x = berat zat terjerap

m = berat bahan penjerap

x/m = amaun zat terjerap per unit berat penjerap (karbon)

C_e = kepekatan zat terjerap dalam larutan selepas penjerapan pada keadaan keseimbangan

K_f = pemalar, sukatan relatif kapasiti penjerapan bahan penjerap oleh bahan terjerap

n = pemalar yang menunjukkan afiniti penjerapan atau tenaga antara bahan penjerap dan bahan terjerap

Persamaan (16) ditulis semula seperti berikut,

$$\log x/m = \log K_f + 1/n \log C_e \quad (17)$$

Pemalar isoterma Freundlich boleh ditentukan melalui graf $\log x/m$ yang diplot melawan $\log C_e$.

1.8 Karbon Teraktif Dan Penggunaannya

Karbon teraktif boleh dihasilkan daripada pemanasan buah badam, kelapa, kulit *walnut*, kayu atau arang. Pemanasan dilakukan untuk menyingkirkan hidrokarbon tetapi dengan kuasa yang mencukupi bagi mengekalkan pembekalan udara dalam pembakaran yang dilakukan. Partikel karbon diaktifkan melalui pendedahan kepada gas pengoksidaan pada suhu yang tinggi. Gas ini akan memberikan struktur yang berliang dan luas permukaan dalaman yang tinggi kepada karbon tersebut. Bahan yang berbeza dalam penghasilan karbon teraktif akan memberikan saiz liang yang berbeza. Terdapat dua jenis karbon teraktif iaitu serbuk karbon yang mempunyai diameter yang kurang daripada 200 mesh, dan granular yang mempunyai diameter yang melebihi 0.1 mm (Metcalf & Eddy, 1991).

Kapasiti penyerapan karbon teraktif ditinjau melalui keberkesanan karbon tersebut dalam penyingkiran COD, warna, fenol dan sebatian lain dalam air buangan. Banyak kajian telah dilakukan dalam pencirian serbuk karbon teraktif (PAC). Misalnya, nombor fenol digunakan sebagai indeks keupayaan karbon dalam penyingkiran sebatian yang berbau. Nombor iodin pula merupakan kemampuan karbon teraktif dalam penyerapan sebatian yang mempunyai berat molekul yang rendah, manakala nombor *molasses* adalah kemampuannya untuk menyerap sebatian yang mempunyai berat molekul yang tinggi (Eckenfelder, 1976).

Serbuk karbon teraktif banyak digunakan dalam pengolahan air buangan yang mengandungi bahan organik, iaitu dalam penyingkiran BOD₅, COD dan bahan-bahan lain yang bertoksik. Karbon telah digunakan sebagai agen penyahwarna sejak tahun 1785 (Hassler, 1974). Kajian Specchia dan Gianetto (1984) menunjukkan bahawa penambahan serbuk karbon teraktif dalam reaktor pengudaraan sistem enapan teraktif telah memberikan kesan yang positif di mana kecekapan penyingkiran COD telah

ditingkatkan daripada 55.8% ke 75.6%. Selain itu, kecekapan penyingkiran BOD₅ juga ditingkatkan iaitu daripada 78 % ke 98.5%.

Secara umumnya, PAC banyak digunakan dalam pengolahan air buangan berorganik. Walau bagaimanapun, banyak kajian telah dijalankan bagi menunjukkan penggunaannya dalam penyingkiran bahan takorganik. Kajian menunjukkan bahawa penambahan PAC pada 143 mg/L dalam reaktor yang mengandungi 10 mg/L Cu dan 30 mg/L Cd memberikan kecekapan penyingkiran COD sebanyak 85 % dibandingkan dengan reaktor tanpa penambahan PAC iaitu penyingkiran COD adalah sebanyak 60 % (Lim *et al.*, 2002). Selain itu, kecekapan penyingkiran Cr(VI) meningkat bagi proses enapan teraktif yang ditambahkan karbon teraktif iaitu 41% dibandingkan dengan unit tanpa bahan penyerap iaitu penyingkiran Cr(VI) sebanyak 9% sahaja (Lee *et al.*, 1989). Terdapat beberapa kajian yang telah dijalankan dengan penggunaan PAC sebagai bahan penyerap. Hasil penyerapan telah memberikan keputusan yang baik dalam pengolahan air biologi. Misalnya, kajian telah dijalankan dalam penyingkiran bahan takorganik iaitu Cd(II) (Huang & Ostovic, 1978), Hg(II) (Huang & Blankenship, 1984), Co(II) (Huang *et al.*, 1985), dan Cr(VI) (Huang & Wu, 1977). Hasil kajian Huang & Wu (1977) menunjukkan bahawa PAC jenis *filtrisorb 400* adalah berkesan dalam penyingkiran Cr(VI) terutamanya pada pH 6 hingga 8 dan proses penyerapan adalah berdasarkan isoterma Langmuir. Daripada kajian Nelson *et al.* (1981), didapati penyerapan Cd, Cu dan Zn oleh enapan teraktif berlaku dalam masa yang lebih singkat dibandingkan dengan penyerapan Cr(VI) di mana penyerapan Cd, Cu dan Zn mencapai keseimbangan dalam masa 1 hingga 2 jam manakala penyerapan Cr(VI) memerlukan masa selama 5 hingga 10 jam.

1.9 Objektif

Pengolahan logam berat adalah penting memandangkan ketoksikannya terhadap kehidupan manusia dan juga kehidupan akuatik. Pada masa kini, pengolahan logam berat banyak melibatkan proses fizik-kimia seperti penggumpalan, penapisan dan penukar ion. Proses biologi dengan menggunakan SBR bagi pengolahan air buangan yang mengandungi logam berat masih pada tahap pengajian. Oleh itu, objektif penyelidikan ini bertujuan untuk:

- Menilai kesan ketoksikan Cr(VI) terhadap prestasi reaktor kelompok berturutan (SBR) – penilaian berdasarkan penurunan COD dan proses nitrifikasi-denitrifikasi.
- Menilai kesan penambahan PAC terhadap prestasi SBR yang mengandungi Cr(VI) iaitu kajian keberkesanan PAC dalam meredakan kesan sebatian penghalang terhadap aktiviti bakteria dalam sistem SBR.
- Menentukan pemalar kadar nitrifikasi dan denitrifikasi bagi reaktor kelompok berturutan (SBR) tanpa dan dengan kehadiran Cr(VI).

2.0 KAEDAH DAN BAHAN

2.1 Penyediaan Reaktor Kelompok Berturutan (SBR)

Sebanyak tiga buah reaktor yang berisipadu 10 L dibina daripada kepingan akrilik dengan panjang 40 cm, lebar 20 cm dan tinggi 25 cm. Setiap reaktor dibekalkan udara melalui batu pengudaraan dan pam udara pada langkah NITRIFIKASI. Batu pengudaraan yang digunakan diletakkan pada bahagian di mana air buangan sintetik dimasukkan supaya lebih banyak udara dapat dibekalkan pada bahagian air buangan sintetik. Selain itu, ini dapat membantu penyebaran udara yang lebih baik dalam keseluruhan reaktor. Bagi setiap reaktor, dua ejektor digunakan supaya biomas dapat dikacau dan disebar dengan baik dalam reaktor. Rajah 2.1 menunjukkan rupa bentuk reaktor SBR dan peralatan yang digunakan dalam kajian ini.

Setiap reaktor diisi dengan 500 mL kultur bakteria. Usaha membiak dimulakan dengan menjalankan dua kitaran sehari seperti operasi yang ditunjukkan dalam Jadual 2.1. Dua kitaran sehari dijalankan demi menggalakkan pertumbuhan mikroorganisma. Bagi setiap reaktor, dua pam peristaltik (Cole-Parmer) digunakan dengan satu untuk pengisian air buangan sintetik dan satu lagi untuk pengeluaran air buangan terolah.

2.2 Pengoperasian Reaktor SBR

Komposisi air buangan sintetik yang disediakan adalah seperti dalam Jadual 2.2. Pembiakan dijalankan selama tiga bulan sehingga enapan teraktif dalam reaktor semakin banyak iaitu isipadunya lebih kurang 3 L dan warnanya kelihatan coklat muda. Jadual 2.2 pula menunjukkan masa operasi sistem SBR.

Didapati tiga buah reaktor yang dibiak pada keadaan yang sama mempunyai sifat yang hampir sama. Beberapa parameter seperti pepejal terampai (MLSS), indeks isipadu enapan (SVI) dan pemendapan (SV_{30}) bagi campuran reaktor (*mixed liquor*)

nitrat (NO_3^- -N) ditentukan ui

tersebut. Nilai pH reaktor dikekalkan dalam julat 6.5-7.5

natrium asetat semasa tempoh NITRIFIKASI dan 1 g natrium asetat semasa tempoh DENITRIFIKASI. Setelah sistem telah mencapai keadaan mantap iaitu biomas telah menyesuaikan diri dengan air buangan sintetik, kajian selanjutnya dilakukan. Secara umumnya, pengoperasian reaktor SBR dibahagikan kepada 5 fasa seperti berikut:

Fasa 1: Pengkulturan enapan teraktif dijalankan dua kitaran sehari selama 30 hari. Ini bertujuan untuk mempercepatkan pertumbuhan mikroorganisma.

Fasa 2: Pengoperasian sistem SBR ditukar daripada dua kitaran sehari kepada satu kitaran sehari. Fasa ini dibiarkan selama 60 hari supaya enapan teraktif dapat menyesuaikan diri dengan keadaan baru.

Fasa 3: Natrium asetat ditambahkan kepada ketiga-tiga reaktor. Sistem ini dioperasikan selama 30 hari dan data profil bagi kepekatan AN , NO_2^- -N, NO_3^- -N, COD dan DO diambil untuk memperlihatkan perkembangan prestasi sistem SBR.

Fasa 4: Data profil diambil sehingga tren profil yang konsisten diperoleh. Selain itu, data kualiti efluen diambil untuk melihat perkembangan sistem SBR. Fasa ini dibiarkan selama 30 hari.

Fasa 5: Reaktor R2 ditambahkan Cr(VI) manakala reaktor R3 ditambahkan Cr(VI) dan serbuk karbon teraktif (PAC). Reaktor R1 digunakan sebagai reaktor kawalan. Sebanyak 15 mg/L Cr(VI) ditambahkan bersama dengan air sintetik ke dalam reaktor R2 dan R3. Sebanyak 1 g PAC yang

disediakan dikacau di dalam 500 mL air dengan pengacau magnet dan
ditambahkan ke dalam reaktor R3 dalam masa 30 minit semasa tempoh
PENGISIAN. Fasa ini dibiarkan selama 60 hari sehingga akhir pengoperasian
SBR. Data profil dan data efluen diambil demi mengkaji prestasi sistem SBR.

Jadual 2.1 Langkah pengoperasian sistem SBR

Langkah	Masa, jam (2 kitaran sehari)	Masa, jam (1 kitaran sehari)	Pengudaraan	Pengacauan
PENGISIAN (<i>Fill</i>)	4.00	4.00	Tidak	Tidak
NITRIFIKASI (<i>Nitrification</i>)	2.30	9.00	Ya	Ya
DENITRIFIKASI (<i>Denitrification</i>)	2.15	3.00	Tidak	Ya
PEMENDAPAN (<i>Settle</i>)	1.00	2.00	Tidak	Tidak
PENGELUARAN (<i>Draw</i>)	2.00	2.00	Tidak	Tidak
REHAT (<i>Rest</i>)	0.15	4.00	Tidak	Tidak

Jadual 2.2 Komposisi air buangan sintetik

Bahan Kimia	Kepekatan, mg/L
Baktopepton	188
Sukrosa	563
NH ₄ Cl	172
MgSO ₄	49
FeCl ₃	11.3
K ₂ HPO ₄	250
KH ₂ PO ₄	318
NaHCO ₃	100