

**PENYINGKIRAN BAKI AI<sup>3+</sup> SELEPAS  
PROSES PENGENTALAN –  
PEMBERBUKUAN MENGGUNAKAN  
TEKNOLOGI MEMBRAN**

Oleh

**MAHAZRUL BIN KAMARRUDIN**

Tesis yang diserahkan untuk memenuhi  
keperluan bagi Ijazah Sarjana Sains

Mei 2003

## PENGHARGAAN

Dengan nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang serta selawat dan salam ke atas junjungan Rasulullah S.A.W, saya dahulukan sekalunguan ucapan jutaan terima kasih kepada Prof. Madya. Dr. Azlina Harun @ Kamaruddin, selaku penyelia utama yang sememangnya begitu prihatin dan amat bertanggungjawab di mana beliau sentiasa berasa tidak jemu, tidak bosan dan tidak berputus asa untuk memberikan idea, cadangan, pandangan, bimbingan, dorongan, nasihat, galakkan, bantuan dan pelbagai lagi kepada saya dalam menjayakan penyelidikan saya ini. Begitu juga kepada Prof. Madya. Dr. Abdul Latif Ahmad, selaku penyelia bersama yang sentiasa memberikan idea-idea yang bernas dan cadangan yang amat baik dalam memperbaiki kajian penyelidikan saya ini dari semasa ke semasa, terutama di dalam bahagian kajian pemisahan membran di mana sememangnya tidak dapat dinafikan bahawa beliau amat pakar dalam bahagian tersebut. Ucapan jutaan terima kasih juga buat Prof. Madya Dr. Abdul Rahman Mohamed, selaku Dekan yang menerajui Pusat Pengajian Kejuruteraan Kimia (PPKK) dengan baik. Semoga segala ilmu pengetahuan yang telah dicurahkan dan pengalaman yang telah saya perolehi ini dimanfaatkannya sepenuhnya untuk digunakan pada masa akan datang terutama di dalam bidang pekerjaan yang saya sedang terokai di kala ini.

Di samping itu, penghargaan ini juga saya sampaikan buat para pensyarah lain iaitu Dr. Zailani, Dr. Ridzuan, Dr. Zulkali, Dr. Mohd. Roslee, Dr. Ismail, Dr. Ghasem, Dr. Jalal, Pn. Noraini dan En. Tan Soon Huat di atas pelbagai jenis bantuan sampingan

yang diberikan serta para kakitangan teknikal dan bukan teknikal iaitu Pn. Ainon, Cik Mariam, Cik Aniza, Cik Sharida, Cik Badilah, Cik Zalilah, En. Osmarizal, En. Shahrin, En. Aziz, En. Hidayat, En. Yusof dan En. Yong, termasuklah mereka yang pernah berkhidmat di PPKK sebelum ini iaitu En. Norsyam dan En. Zamzuri (di UniKL) serta En. Sukri yang telah memberikan komitmen yang baik di dalam menjayakan penyelidikan saya ini. Buat rakan-rakan seperjuangan iaitu Steve, Norhafizah, Suhairi, Zuhairi, Megat Harun, Shamsul Rizal, Khalik, Nazri, Farouk, Farish, Habib, Irvan, Amizon, Norliza, Ku Syahida, Suzilawati dan lain-lain lagi, ribuan terima kasih diucapkan kerana bantuan, sokongan dan dorongan yang diberikan. Begitu juga dengan badan-badan berkanun yang pernah membantu saya iaitu MARA dan Petronas.

Khas buat ayahanda dan bonda yang tercinta iaitu, Tn. Hj. Kamarrudin Jantan, PJK, JP dan Pn. Hjh. Nafsiah Hamidah Md. Said serta ahli keluarga lain terutama Pn. Hjh Che' Mah Md. Derus, Tn.Hj. Minhad Sanuji, Pn.Hjh. Saonah Siraj, Pn.Marnida, En. Mahazan, Dr. Mohd. Dahlan Jantan (FRIM) dan sebagainya agar dilimpahi rahmat dan dimurahkan rezeki daripada Allah S.W.T selalu di mana segala pengorbanan, dorongan dan sokongan yang diberikan akan sentiasa dikenang buat selamanya.

Akhir sekali, teristimewa untuk isteri dan anakanda yang amat dikasihi, disayangi dan diingati selalu iaitu Pn. Khairun Nisa' binti Hj. Minhad (Mihat) dan Muhammad Adam bin Mahazrul yang menjadi ‘tulang belakang’ di atas kegigihan saya selama ini di mana pengorbanan mereka yang tidak terhingga di dalam pelbagai perkara senantiasa menaikkan semangat saya agar terus berusaha untuk kejayaan di suatu hari nanti. Pengorbanan beliau yang tidak ternilai harganya itu juga sentiasa menjadi satu pemangkin kepada saya untuk terus berusaha mengecapi kejayaan di dalam kerjaya yang sedang diceburi ini dan juga untuk memenuhi misi dan visi pada masa hadapan terutama apabila ingin melanjutkan pelajaran ke tahap yang lebih tinggi nanti.

## JADUAL KANDUNGAN

PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iv
SENARAI JADUAL	viii
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI ISTILAH	xiii
SENARAI TATANAMA	xvi
SENARAI KEPENDEKAN	xvii
ABSTRAK	xix
ABSTRACT	xxi
<b>BAB 1 PENGENALAN</b>	<b>1</b>
1.1 Kepentingan Air	1
1.2 Punca utama permasalahan yang berlaku	2
1.3 Pendekatan Penyelidikan	7
1.4 Objektif	
1.4.1 <i>Kajian prarawatan</i>	11
1.4.2 <i>Kajian proses pemisahan membran</i>	11
<b>BAB 2 SOROTAN LITERATUR</b>	<b>12</b>
2.1 Prarawatan	12
2.1.1 <i>Proses Pengentalan</i>	12
2.1.1 (a) <i>Aluminium sulfat</i>	13
2.1.1 (b) <i>Polialuminium klorida</i>	16
2.1.1 (c) <i>Mekanism proses pengentalan</i>	19

2.1.2	<i>Proses Pemberbukuan</i>	22
2.1.3	<i>Proses Pengendapan</i>	23
2.2	Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengentalan-pemberbukuan-pengendapan	24
2.3	Kaedah untuk mengatasi masalah-masalah proses prarawatan	25
2.4	Proses Pemisahan Membran	26
2.4.1	<i>Membran Penapisan Nano (NF)</i>	30
2.4.2	<i>Membran Osmosis Terbalik (RO)</i>	34
2.4.3	<i>Kombinasi penggunaan membran NF dan RO di dalam rawatan air dan air sisa</i>	39
2.5	Teknologi Proses Pemisahan Membran Untuk Merawat Air Sisa Domestik	40
<b>BAB 3</b>	<b>BAHAN DAN KAEADAH</b>	42
3.1	Penyediaan Sampel Air Sisa Sintetik	42
3.2	Kaedah Prarawatan	46
3.2.1	<i>Ujian Jar</i>	46
3.2.1 (a)	<i>Peralatan Eksperimen Ujian Jar</i>	46
3.2.1 (b)	<i>Bahan-Bahan Kimia</i>	47
3.2.1 (c)	<i>Prosedur Eksperimen Ujian Jar</i>	48
3.2.1 (d)	<i>Kaedah Analisis Sampel Ujian Jar</i>	53
3.3	Kaedah Pemisahan Membran	54
3.3.1	<i>Membran</i>	54
3.3.1 (a)	<i>Penyediaan Rig Eksperimen</i>	56

3.3.1 (b)	<i>Prosedur Eksperimen Kajian Pemisahan Membran</i>	60
3.3.1 (c)	<i>Kaedah Analisis Kajian Pemisahan Membran</i>	67
<b>BAB 4 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>		69
4.1	Pengenalan	69
4.2	Kajian Prarawatan	71
4.2.1	<i>Kesan Kepekatan Dos Alum dan PAC</i>	71
4.2.2	<i>Kesan pH</i>	75
4.2.3	<i>Kesan Keamatan Pencampuran</i>	79
4.2.3 (a)	<i>Keamatan Pencampuran Deras</i>	79
4.2.3 (b)	<i>Masa Pencampuran Pada Keamatan Pencampuran Deras</i>	81
4.2.3 (c)	<i>Keamatan Pencampuran Perlahan</i>	83
4.2.3 (d)	<i>Masa Pencampuran Pada Keamatan Pencampuran Perlahan</i>	85
4.2.4	<i>Kesan Masa Pengendapan</i>	91
4.2.5	<i>Perbandingan di antara tindakan alum dan PAC dalam ujian pengentalan</i>	94
4.3	Kajian Pemisahan Membran	103
4.3.1	<i>Fluks Telapan</i>	104
4.3.2	<i>Kesan Kepekatan dalam Larutan Suapan</i>	108
4.3.3	<i>Kesan Jenis Membran</i>	118

<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	124
5.1	Kesimpulan	124
5.2	Cadangan	127
<b>RUJUKAN</b>		129
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>		
<b>LAMPIRAN A</b>		141
Bahagian A	Keputusan data pencirian sampel air sisa domestik yang diperolehi dari tiga kawasan lokasi persampelan.	141
<b>LAMPIRAN B</b>		142
Bahagian B	Pengiraan kepekatan beberapa jenis larutan garam yang terlibat bagi penyediaan air sisa sintetik dalam proses pengentalan.	142
<b>LAMPIRAN C</b>		145
Bahagian C	Peralatan yang digunakan dalam unit ujian jar.	145
<b>LAMPIRAN D</b>		146
Bahagian D	Pengiraan kepekatan alum dan PAC dalam unit ujian jar dan proses pemisahan membran.	146
<b>LAMPIRAN E</b>		147
Bahagian E	Pengiraan penukaran unit kD kepada nm	147
<b>SENARAI PENERBITAN</b>		148

## SENARAI JADUAL

Jadual 1.1	Garis Panduan Nasional Kualiti Air Minuman, Oktober 1983 (Kementerian Kesihatan Malaysia).	3
Jadual 1.2	Bahan kimia dan kuantiti yang digunakan dalam rawatan air di Malaysia sejak 1997 (Shimamoto, 2002).	8
Jadual 2.1	Klasifikasi bagi jenis membran yang berbeza (Skelton, 2000).	27
Jadual 2.2	Contoh penggunaan membran NF.	33
Jadual 2.3	Contoh penggunaan membran RO.	38
Jadual 3.1	Ciri-ciri alum dan PAC sebagai bahan pengental	47
Jadual 3.2	Spesifikasi membran seramik NF.	55
Jadual 3.3	Spesifikasi pemegang cakera (disc-holder) bagi membran seramik NF.	55
Jadual 3.4	Spesifikasi membran polimer RO.	55
Jadual 3.5	Spesifikasi pemegang cakera (disc-holder) bagi membran polimer RO.	55
Jadual 4.1	Ringkasan bagi beberapa parameter di dalam kajian kesan kepekatan dos bahan pengental.	71
Jadual 4.2	Keputusan pada nilai kepekatan dos bahan pengental yang optimum, masing-masing bagi alum dan PAC.	74
Jadual 4.3	Ringkasan bagi beberapa parameter di dalam kajian kesan pH bahan pengental.	75
Jadual 4.4	Keputusan pada nilai pH yang optimum, masing-masing bagi alum dan PAC.	76
Jadual 4.5	Ringkasan bagi beberapa parameter di dalam kajian kesan keamatian pencampuran deras.	80
Jadual 4.6	Keputusan pada nilai keamatian percampuran deras yang optimum, 81 masing-masing bagi alum dan PAC.	81
Jadual 4.7	Ringkasan bagi beberapa parameter di dalam kajian kesan masa pencampuran pada keamatian pencampuran deras.	82

Jadual 4.8	Keputusan pada nilai masa pencampuran pada keamatan pencampuran deras yang optimum, masing-masing bagi alum dan PAC.	83
Jadual 4.9	Ringkasan bagi beberapa parameter di dalam kajian kesan keamatan pencampuran perlahan.	84
Jadual 4.10	Keputusan pada nilai keamatan pencampuran perlahan yang optimum, masing-masing bagi alum dan PAC.	85
Jadual 4.11	Ringkasan bagi beberapa parameter di dalam kajian kesan masa pencampuran pada keamatan pencampuran perlahan.	86
Jadual 4.12	Keputusan pada nilai masa pencampuran pada keamatan pencampuran perlahan yang optimum, masing-masing bagi alum dan PAC.	87
Jadual 4.13	Ringkasan bagi beberapa parameter di dalam kajian kesan masa pengendapan.	91
Jadual 4.14	Keputusan pada nilai masa masa pengendapan yang optimum, masing-masing bagi alum dan PAC.	92
Jadual 4.15	Ringkasan nilai-nilai optimum bagi setiap parameter yang diperolehi dalam kajian prarawatan dengan menggunakan alum dan PAC.	95
Jadual 4.16	Ringkasan nilai-nilai kekeruhan supernatan terendah diperolehi bagi setiap parameter dalam kajian prarawatan dengan menggunakan alum dan PAC.	95
Jadual 4.17	Ringkasan nilai-nilai kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) dalam supernatan dan peratus penyingkirannya bagi setiap parameter yang diperolehi.	96
Jadual 4.18	Fluks telapan air ternyahion yang dihasilkan pada tekanan operasi yang berbeza.	106
Jadual 4.19	Ringkasan nilai fluks telapan larutan alum (500 mg/L) pada tekanan operasi berbeza.	106
Jadual 4.20	Ringkasan nilai fluks telapan larutan PAC (500 mg/L) pada tekanan operasi berbeza.	107
Jadual 4.21	Ringkasan nilai purata bagi kepekatan ion aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) dalam larutan hasil turasan bagi larutan alum dalam suapan.	110
Jadual 4.22	Ringkasan nilai purata bagi kepekatan ion aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) dalam larutan hasil turasan bagi larutan PAC dalam suapan.	110

- Jadual 4.23 Ringkasan nilai purata bagi peratus penyingkiran ion aluminium  $\text{Al}^{3+}$  dalam larutan hasil turasan setelah larutan suapan alum digunakan. 113
- Jadual 4.24 Ringkasan nilai purata bagi peratus penyingkiran ion aluminium  $\text{Al}^{3+}$  dalam larutan hasil turasan setelah larutan suapan PAC digunakan. 113
- Jadual 4.25 Ringkasan nilai purata bagi peratus penyingkiran ion aluminium  $\text{Al}^{3+}$  yang dihasilkan pada tekanan operasi yang berbeza bagi larutan alum. 115
- Jadual 4.26 Ringkasan nilai purata bagi peratus penyingkiran ion aluminium  $\text{Al}^{3+}$  yang dihasilkan pada tekanan operasi yang berbeza bagi larutan PAC. 115
- Jadual 4.27 Ringkasan keputusan akhir yang diperolehi dalam proses pemisahan membran dengan menggunakan larutan suapan alum dan PAC. 116
- Jadual 4.28 Ringkasan keputusan bagi perbandingan di antara membran CA dengan membran N001. 121
- Jadual A1.1 Keputusan data pencirian sampel air sisa domestik dari kawasan kafeteria, perumahan dan asrama (Ping, 2002). 141

## SENARAI RAJAH

Rajah 1.1	Aliran skema bagi proses rawatan air (Perbadanan Bekalan Air Pulau Pinang, 2002).	6
Rajah 1.2	Rajah skema bagi proses fizikal dan pemisahan membran	9
Rajah 2.1	Hasil tindakbalas hidrolisis aluminium (American Water Works Association, 1999).	20
Rajah 3.1	Skema sel membran seramik NF yang digunakan.	57
Rajah 3.2	Skema sel membran polimer RO yang digunakan.	57
Rajah 4.1	Kesan kepekatan dos bahan pengental ke atas nilai kekeruhan supernatan.	72
Rajah 4.2	Kesan pH ke atas nilai kekeruhan supernatan.	76
Rajah 4.3 (a)	Kesan keamatian pencampuran deras ke atas nilai kekeruhan supernatan.	80
Rajah 4.3 (b)	Kesan masa pencampuran pada keamatian pencampuran deras ke atas nilai kekeruhan supernatan.	82
Rajah 4.4 (a)	Kesan keamatian pencampuran perlahan ke atas nilai kekeruhan supernatan.	84
Rajah 4.4 (b)	Kesan masa pencampuran pada keamatian pencampuran perlahan ke atas nilai kekeruhan supernatan.	86
Rajah 4.5	Kesan masa pengendapan ke atas nilai kekeruhan supernatan.	92
Rajah 4.6	Fluks air ternyahion melawan tekanan operasi yang berbeza	105
Rajah 4.7	Nilai purata bagi kepekatan ion aluminium ( $Al^{3+}$ ) dalam larutan hasil turasan, ( $Al^{3+}$ ) melawan kepekatan larutan alum dalam suapan.	109
Rajah 4.8	Nilai purata bagi kepekatan ion aluminium ( $Al^{3+}$ ) dalam larutan hasil turasan, ( $Al^{3+}$ ) melawan kepekatan larutan PAC dalam suapan.	109
Rajah 4.9	Nilai purata bagi peratus penyingkiran ion aluminium ( $Al^{3+}$ ) melawan kepekatan larutan alum dalam suapan.	112

Rajah 4.10	Nilai purata bagi peratus penyingkiran ion aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) melawan kepekatan larutan PAC dalam suapan.	113
Rajah C1.1	Peralatan yang digunakan dalam unit ujian jar.	145

## SENARAI ISTILAH

<b>Bahasa Melayu</b>	<b>Bahasa Inggeris</b>
Air payau	brackish water
Air sisa domestik	domestic wastewater
Aluminium sulfat (alum)	aluminum sulfate
Bahan bukan organik	inorganic material
Bahan organik	organic material
Bahan pengental	coagulant
Basuhan balik	backwashing
Berat hasil turasan	weight of permeate
Bilah pengacau pipih tunggal	single flat blade impeller
Dos	dosage
Fluks	flux
Garam terlarut	dissolved salt
Gentian-gentian berongga	hollow fibers
Injap 3-jalan	3-way valve
Jenis membran	type of membrane
Keamatan	intensity
Kebolehtelapan	permeability
Kecerunan	slope
Kekerasan	hardness
Kekeruhan	turbidity
Kememilihan	selectivity
Kepekatan dalam larutan suapan	feed concentration

Lapisan bahagian dalam	inner layer
Larutan hasil turasan	permeate
Logam berat	heavy metal
Masa penahanan	retention time
Membrane asimetrik sintetik	synthetic asymmetric membrane
Membran osmosis terbalik	reverse osmosis membrane
Membran penapisan mikro	microfiltration membrane
Membran penapisan nano	nanofiltration membrane
Membran penapisan ultra	ultrafiltration membrane
Membran polimer	polymeric membrane
Membran separa telap	semi permeable membrane
Membran seramik	ceramic membrane
Membran tersumbat	membrane fouling
Misel balikan	reverse micelles
Pemberbukan	flocculation
Pemendakan	sedimentation
Pemindahan jisim	mass transfer
Penapisan hujung-mati	dead-end filtration
Pencampuran deras	high mixing
Pencampuran perlahan	slow mixing
Pengagregatan	aggregation
Pengangkutan perolakan	convective transport
Pengatur tekanan	pressure regulator
Pengendapan	sedimentation
Pengentalan	coagulation

Pengutuban kepekatan	concentration polarization
Penolakan elektrostatik	electrostatic repulsion
Penyahstabilan	destabilization
Penyingkiran	rejection
Penyulingan	distillation
Persentuhan	contacting
Plasma berganding secara aruhan pemancaran spektrometri	inductive coupled plasma emission spectrometer
Polialuminium klorida	polyaluminum chloride
Polialuminium hidrokisisulfat	polyaluminum hydroxysulfate
Potongan berat molekul	molecular weight cut off
Prarawatan	pretreatment
Putaran per minit	rotation per minute
Regrasi lurus	regression linear
Saiz liang	pore size
Sel pengadukan penurasan hujung mati	stirred dead-end filtration cell
Selulos asetat	cellulose acetate
Tangki takungan	resevoir tank
Tekanan operasi	operating pressure
Ujian jar	jar test
Zarah-zarah koloid	colloid particles

## SENARAI TATANAMA

<b>Simbol</b>	<b>Tatanama</b>	<b>Unit</b>
$A_m$	luas membran	$\text{m}^2$
$C_{i, T}$	kekeruhan awal	$\text{mg/L}$
$C_{f, T}$	kekeruhan akhir	$\text{mg/L}$
$C_{i, Al}$	kepekatan ion $\text{Al}^{3+}$ di dalam dos bahan pengental optimum	$\text{mg/L}$
$C_{f, Al}$	kepekatan baki $\text{Al}^{3+}$ di dalam supernatan	$\text{mg/L}$
$C_{b, Al}$	kepekatan ion $\text{Al}^{3+}$ di dalam larutan suapan	$\text{mg/L}$
$C_{p, Al}$	kepekatan ion $\text{Al}^{3+}$ di dalam larutan hasil turasan	$\text{mg/L}$
$C_{p, Al, ave}$	purata kepekatan ion ( $\text{Al}^{3+}$ ) dalam larutan hasil turasan	$\text{mg/L}$
$d$	diameter liang	$\text{m}$
$J$	fluks telapan	$\text{L}/\text{m}^2\text{j}$
$J_{ave}$	purata fluks telapan	$\text{L}/\text{m}^2\text{j}$
$P$	tekanan operasi	$\text{kPa}$
$Q$	kadar aliran	$\text{m}^3/\text{s}$
$R_{Al}$	penyingkiran ion aluminium ( $\text{Al}^{3=}$ )	%
$R_{Al, ave}$	purata penyingkiran ion aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ )	%
$t$	masa	$\text{s}$

## SENARAI KEPENDEKAN

<b>Kependekan</b>	<b>Nama Penuh</b>
AFP	Persekutuan Wartawan Amerika Syarikat
AKAS	Akta Kualiti Alam Sekeliling
Alum	aluminium sulfat
APHA	American Public Health Association
ASCE	American Society of Civil Engineers
AWWA	American Water Works Association
AWWARF	American Water Works Association Research Foundation
COD	keperluan oksigen kimia
Da	dalton
g/mol	gram per mol
GAC	bebutir karbon teraktif
GPNKAM	Garis Panduan Nasional Kualiti Air Minum
ICP-ES	plasma berganding secara aruhan pemancaran spektrometri
IWK	Indah Water Konsortium
JAS	Jabatan Alam Sekitar
kD	kilodalton
KKM	Kementerian Kesihatan Malaysia
kPa	kiloPascal
L/m <sup>2</sup> .j	liter per meter <sup>2</sup> . jam
M	molar

MF	penapisan mikro
mg/L	milligram per liter
MPa	megaPascal
µm	mikrometer
NF	penapisan nano
nm	nanometer
NTU	unit kekeruhan nephelometer
PAC	polialuminium klorida
PAHS	polialuminium hidroksisulfat
PBAPP	Perbadanan Bekalan Air Pulau Pinang
ppb	bahagian sebillion (pecahan jisim)
ppm	bahagian setaja (pecahan jisim)
RO	penapisan osmosis terbalik
rpm	putaran per minit
s <sup>-1</sup>	per saat
SAJ	Syarikat Air Johor
UF	penapisan ultra
UNESCO	Pertubuhan Pelajaran, Sains, dan Kebudayaan Bangsa-Bangsa Bersatu
USD	dollar Amerika
USEPA	United State Environmental Protection Agency
WEF	Water Environment Federation
WHO	Pertubuhan Kesihatan Sedunia
WWF	Persekutuan Kehidupan Liar Sedunia

## ABSTRAK

Kepekatan baki ion aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang tinggi di dalam supernatan selepas proses pengentalan – pemberbukuan boleh menjadi bahan toksik yang merbahaya terhadap badan manusia, terutama di dalam proses metabolism. Bagi mengatasi masalah tersebut, ujian jar dan kaedah pemisahan membran telah digunakan dalam kajian ini. Dalam kajian ini juga, air sisa sintetik domestik disediakan sebagai larutan sampel dalam ujian jar. Alum dan PAC telah digunakan sebagai bahan pengental dalam ujian jar dan sebagai larutan suapan dalam kaedah pemisahan membran. Dalam kaedah pemisahan membran, membran polimer RO dan membran seramik NF telah digunakan kerana kedua-duanya mempunyai potensi yang baik untuk menyingkirkan ion terlarut.

Keputusan ujian jar yang diperolehi dalam proses prarawatan menunjukkan bahawa nilai kepekatan baki  $\text{Al}^{3+}$  yang diperolehi di dalam supernatan adalah 0.27 mg/L  $\text{Al}^{3+}$ , apabila 3.00 mg/L alum digunakan pada pH 6.0 dengan keamatan pencampuran deras pada 120 rpm selama 10 saat, keamatan pencampuran perlahan pada 40 rpm selama 30 minit dan masa pengendapan selama 40 minit. Sementara itu, 0.23 mg/L  $\text{Al}^{3+}$  pula diperolehi apabila 200 mg/L PAC digunakan pada pH 6.5 dengan keamatan pencampuran deras pada 100 rpm selama 8 saat, keamatan pencampuran perlahan pada 30 rpm selama 20 minit dan masa pengendapan selama 30 minit. Didapati bahawa, PAC adalah lebih berkesan untuk memberikan nilai optimum yang lebih rendah bagi setiap parameter berbanding dengan alum kecuali nilai pH.

Dalam proses pemisahan membran, nilai kepekatan ion  $\text{Al}^{3+}$  yang diperolehi di dalam larutan hasil turasan ialah 0.15 mg/L  $\text{Al}^{3+}$  bagi larutan alum dan 0.19 mg/L  $\text{Al}^{3+}$

bagi larutan PAC apabila masing-masing 500 mg/L alum dan PAC digunakan. Kedua-dua nilai ini diperolehi apabila membran polimer RO jenis CG digunakan pada tekanan operasi 100 kPa. Saiz liang membran tersebut adalah kurang daripada 0.1 nm. Kesimpulannya, daripada keputusan yang diperolehi ini menunjukkan bahawa nilai kepekatan ion  $\text{Al}^{3+}$  yang paling rendah dihasilkan iaitu kurang daripada 0.21 mg/L, selepas menggunakan teknologi membran di mana nilai tersebut mematuhi nilai piawai yang telah ditetapkan oleh Garis Panduan Nasional bagi Air Minuman (1983).

# REMOVAL OF RESIDUAL Al<sup>3+</sup> AFTER COAGULATION - FLOCCULATION PROCESS USING MEMBRANE TECHNOLOGY

## ABSTRACT

High concentration of residual aluminium ion ( $\text{Al}^{3+}$ ) in the supernatant after coagulation – flocculation processes, are considered to be toxic which is harmful to the human body, especially in the metabolism process. To overcome this problem, jar test and membrane separation were used in this research. In this research, synthetic domestic wastewater was prepared as a sample for the jar test. Alum and PAC were used as coagulants in the jar test and as feed in the membrane separation processes. RO polymeric and NF ceramic membrane were used in the membrane separation processes due to their good potential in removing dissolved ions.

The results from jar test in the pretreatment studies showed that 0.27 mg/L of residual  $\text{Al}^{3+}$  was found in the supernatant when 300 mg/L alum was used at pH 6.0 with rapid mix intensity at 120 rpm in 10 seconds, slow mix intensity at 40 rpm in 30 minutes and also within 40 minutes settling time. Meanwhile, 0.23 mg/L of residual  $\text{Al}^{3+}$  was found in the supernatant when 200 mg/L PAC was used at pH 6.5 with rapid mix intensity at 100 rpm in 8 seconds, slow mix intensity at 30 rpm in 20 minutes and also within 30 minutes settling time. PAC performed at higher efficiency than alum as it gave lower optimal values in all parameters except pH value.

Finally, the membrane separation studies showed that 0.15 and 0.19 mg/L of Al<sup>3+</sup> ion were obtained in permeate when 500 mg/L of alum and PAC solution were used, respectively. Both of the values were obtained when RO polymeric membrane which is the CG type, was used at 100 kPa. The pore size of CG membrane is under 0.1 nm. The results after using membrane technology showed that, the values of aluminium ion (Al<sup>3+</sup>) obtained was less than 0.21 mg/L. This value satisfied the criteria set by the National Drinking Water Quality Guidelines (1983).

## BAB 1

### PENGENALAN

#### 1.1 Kepentingan Air

Air adalah suatu entiti dan merupakan salah satu sumber semulajadi yang terhad. Air begitu penting kepada semua hidupan dan menjadi keperluan utama untuk pembangunan sejagat di muka bumi ini. Permintaan air sedunia berlipat kali ganda setiap 20 tahun. Sehingga kini terdapat lebih kurang 80 buah negara dan 40% populasi dunia sedang mengalami masalah kekurangan air. Kebanyakan negara-negara membangun di dunia ini telah membelanjakan di antara USD 600 - 800 billion setahun daripada tabung pembayar cukai mereka pada masa akan datang untuk membayai projek pengurusan sumber air (Perbadanan Bekalan Air Pulau Pinang, 2002).

Data daripada UNESCO pula menunjukkan bumi diliputi oleh 71% air dengan 2.53% daripada 1,386 juta kilometer padu kawasan di permukaan bumi terdiri daripada air tawar. Namun begitu, daripada jumlah air tawar tersebut, hanya 0.3% merupakan sumber bekalan air kepada manusia yang boleh dijadikan air minuman (Yasin, 2002). Oleh itu, manusia amat memerlukan air dan menjaga kepentingan air, khususnya daripada sumber air yang bersih untuk diminum. Jika tidak, manusia akan mudah

dihadapi pelbagai jenis penyakit dan kadangkala boleh menyebabkan kematian jika punca masalah ini tidak ditangani dengan segera (Yahaya, 2000).

Kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang tinggi di dalam air melebihi daripada garis panduan yang telah ditetapkan (Twort *et al.*, 1994, Strutt *et al.*, 1995) adalah punca yang boleh mendarangkan beberapa jenis penyakit kepada manusia apabila meminum air tersebut dan perlu diberikan perhatian serius. Di antaranya penyakit seperti Alzheimer iaitu gangguan mental yang melibatkan penurunan fungsi mental, menyebabkan seseorang itu sering terlupa dan hilang keupayaan untuk menjalankan tugas-tugas rutin akibat perubahan tisu-tisu otak (Hassan, 2001) serta sukar untuk bertutur dengan baik (Abdullah, 2001). Selain dari itu, ia juga boleh menyebabkan penyakit Parkinson (Campbell *et al.*, 2001) dan penyakit ginjal (Aziz, 1999a).

Jadual 1.1 menunjukkan Garis Panduan Nasional Kualiti Air Minuman Oktober 1983 yang mengandungi tahap kepekatan aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) iaitu 0.2 mg/L yang disyorkan oleh Kementerian Kesihatan Malaysia (KKM).

## 1.2 Punca utama permasalahan yang berlaku

Punca utama yang dikenalpasti berlakunya masalah kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang tinggi di dalam air terutamanya air minuman adalah disebabkan beberapa faktor. Di antaranya iaitu ketidakcekapan kebanyakan syarikat pengurusan air yang sering melakukan kesilapan dalam penambahan dos bahan pengental. Menurut Aziz, (1999a), kesilapan penambahan dos bahan pengental seperti aluminium sulfat (alum) berlaku semasa merawat air khususnya untuk keperluan domestik di loji rawatan air.

Jadual 1.1: Garis Panduan Nasional Kualiti Air Minuman, Oktober 1983 (Kementerian Kesihatan Malaysia).

Parameter	Piawai Kualiti air Minuman
<b>Fizikal</b>	
Warna	5 ICU
Bau	-
Suhu	-
Kekeruhan	15 NTU
<b>Mikrobiologi</b>	
Organisma koliform	< 10 MPN/100 mL
Virus	-
<b>Bahan bukan organik</b>	
Ammonia	0.5 mg/L
Aluminium	0.2 mg/L
Arsenik	0.05 mg/L
Besi	0.3 mg/L
Flourin	1.5 mg/L
Fosforus	0.2 mg/L
Jumlah Pepejal Terlarut	1000 mg/L
Jumlah Pepejal Terampai	-
Kadmium	0.005 mg/L
Kealkalian	1 mg/L
Keliatan	500 mg/L
Kjedhal Nitrogen	1.0 mg/L
Klorida	250 mg/L
Klorin	0.1 mg/L
Kromium	0.05 mg/L
Magnesium	150 mg/L
Mangan	0.1 mg/L
Merkuri	0.001 mg/L
Nitrat	10 mg/L
Nilai pH	6.5 – 8.5
Sulfat	400 mg/L
Zink	5 mg/L
<b>Organik</b>	
ABS (Detergen)	-
Lemak dan Minyak	0.3 mg/L
Sianida	0.1 mg/L
<b>Herbisid</b>	
Fenol	0.002 mg/L

Akibatnya, air yang telah dicemari ini akan disalurkan ke kawasan perumahan melalui paip, salah satu tujuannya adalah untuk dijadikan air minuman oleh para penduduk. Oleh itu, kesihatan para penduduk akan terancam jika masalah tersebut tidak ditangani dengan baik oleh kebanyakan syarikat pengurusan air berkenaan.

Sebagai contoh, kajian yang dilakukan oleh Cech & Montera, (2000) telah membuktikan bahawa kandungan air paip yang berpunca dari beberapa loji rawatan air di Amerika Syarikat yang menggunakan alum sebagai bahan pengental, mengandungi kepekatan baki aluminium ( $Al^{3+}$ ) melebihi daripada  $200 \mu\text{g/L}$ , iaitu 520, 688, 1029 dan  $270 \mu\text{g/L}$  di mana masing-masing terdapat di Texas, Pennsylvannia, Carolina Selatan dan Bandar Houston. Begitu juga hasil kajian yang diperolehi oleh Diaz *et al.*, (1999), Hermenegildo *et al.*, (1999), Omoike & Vanloon, (1999) di mana masih terdapat kepekatan baki aluminium ( $Al^{3+}$ ) yang tinggi di dalam kebanyakan air yang telah dirawat dari sumber air mentah.

Faktor seterusnya adalah penggunaan peralatan makanan dan memasak seperti pembuka tin, sudu, garpu, senduk, sudip, kuali, periuk, bekas lauk-pauk dan sebagainya di rumah, kafeteria, restoran, warung, hotel dan resort yang kebanyakannya diperbuat daripada aluminium dan ada yang telah berkarat.

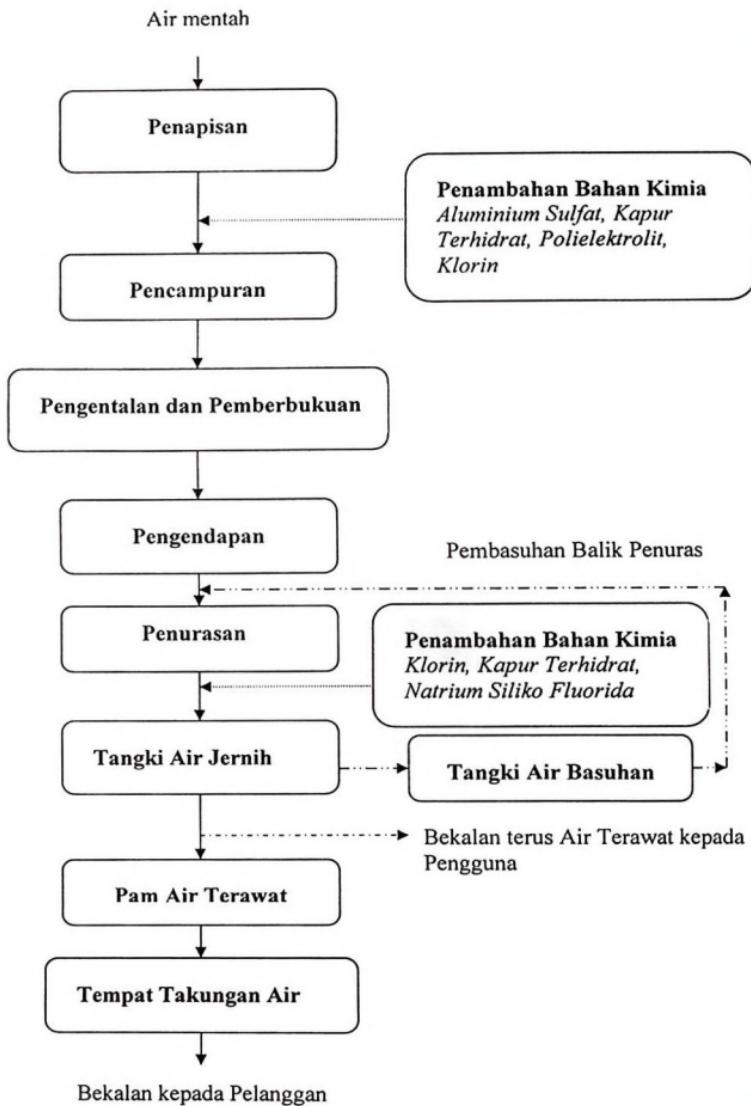
Oleh yang demikian, menurut Aziz, (1999b) apabila peralatan tersebut digunakan bersama sayuran yang dimasak dari jenis berasid dan berasa masam seperti tomato dan masakan berlimau, ia boleh melarutkan aluminium tersebut. Secara tidak langsung, faktor ini akan meningkatkan lagi kepekatan aluminium di dalam makanan dan minuman.

Keadaan bertambah buruk lagi apabila peralatan tersebut termasuklah bekas tin aluminium yang telah digunakan, banyak dibuang dengan sengaja ke dalam sumber air seperti sungai atau perigi. Justeru, jika sumber air yang telah tercemar itu pula digunakan oleh golongan tertentu untuk dijadikan air minuman terutama dalam keadaan terdesak seperti berlakunya bekalan air terputus atau musim kemarau, maka tidak mustahil para pengguna air berkenaan akan mendapat pelbagai jenis penyakit termasuklah penyakit yang disebabkan oleh ketinggian tahap kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) di dalamnya.

Selain dari itu, faktor di mana loji rawatan air dan air sisa domestik di negara ini yang lebih tertumpu kepada penyingkiran bahan organik menyebabkan kurangnya ion-ion terlarut termasuk ion aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) disingkirkan.

Menurut Yaacoub *et al.*, (2001), sehingga kini terdapat lebih daripada 8,000 buah loji rawatan air dan air sisa domestik di Malaysia di mana kebanyakannya terdiri daripada tangki septik, tangki Imhoff dan kolam yang lebih direkabentuk untuk menyingkirkan bahan organik dan hanya merangkumi rawatan yang tertentu sahaja kerana fungsinya yang terhad serta sangat sukar untuk mematuhi piawaian garis panduan yang telah ditetapkan.

Sebagai contoh, proses rawatan air yang dilakukan oleh Perbadanan Bekalan Air Pulau Pinang (PBAPP), Lembaga Air Perak (LAP), Perbadanan Air Melaka (PAM) dan Syarikat Air Johor (SAJ), ditunjukkan melalui aliran skematik dalam Rajah 1.1, yang boleh dibahagikan kepada tiga peringkat utama secara umumnya iaitu sumber-sumber air mentah, rawatan air mentah dan bekalan air terawat.



Rajah 1.1: Aliran skema bagi proses rawatan air (Perbadanan Bekalan Air Pulau Pinang, 2002).

Oleh yang demikian, kajian penyelidikan perlu diperaktikkan dalam tempoh yang terdekat ini untuk mengurangkan masalah kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang tinggi dan melebihi daripada garis panduan yang telah ditetapkan di dalam air dan air sisa domestik sebelum masalah tersebut menjadi bertambah serius. Tambahan lagi, air yang telah dirawat berkenaan boleh dikitar semula untuk menjadi air yang lebih bersih.

### 1.3 Pendekatan Penyelidikan

Cadangan proses rawatan pemisahan terbahagi kepada dua bahagian utama iaitu:

1. Proses prarawatan
2. Proses pemisahan membran.

Langkah pertama adalah proses prarawatan di mana kajian prarawatan yang berskala kecil dilakukan melalui ujian jar dengan mengoptimumkan beberapa parameter yang terlibat di dalam proses pengentalan, pemberbukuan dan pengendapan iaitu kepekatan dos bahan pengental, pH, keamatian pencampuran deras dan masa pencampurannya, keamatian pencampuran perlahan dan masa pencampurannya serta masa pengendapan. Tujuan utama kajian tersebut dilakukan ialah untuk mengetahui sama ada nilai kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) di dalam supernatan masih mematuhi nilai garis panduan ataupun tidak seperti yang telah dinyatakan dalam bahagian 1.1.

Punca kehadiran baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang tinggi salah satunya adalah akibat penggunaan bahan pengental berlebihan dos yang mengandungi unsur aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) seperti alum atau aluminium sulfat ( $\text{Al}_2\text{SO}_4$ ) yang seringkali diaplikasikan di dalam

proses rawatan air dan air sisa. Sehubungan itu, aluminium sulfat terhidrat (alum) dan polialuminium klorida (PAC) adalah dua jenis bahan pengental yang akan digunakan di dalam kajian ini. Tambahan lagi, kedua-dua bahan pengental tersebut adalah di antara bahan kimia yang digunakan di dalam rawatan air di Malaysia sejak tahun 1997, iaitu masing-masing adalah sebanyak 45,742,597.58 kg alum dan 171,124 kg PAC, seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1.2, yang diperolehi dari sumber laman web yang dikeluarkan oleh Jabatan Bekalan Air Negara (Shimamoto, 2002).

Jadual 1.2: Bahan kimia dan kuantiti yang digunakan dalam rawatan air di Malaysia sejak 1997 (Shimamoto, 2002).

Bahan kimia	Kuantiti (kg)
Klorin	16,073,537.08
Aluminium sulfat (alum)	45,742,597.58
Abu kapur	7,707,514.50
Kapur terhidrat	9,416,377.97
Kapur klorida	6,177,393
Sodium silikofluorida	444,972
Sodium aluminat	228,081
Kalsium hipoklorit	128,000
Polielektrolit hiperflok	179,661
Ferik klorida	1,785,000
Polialuminium klorida (PAC)	171,124

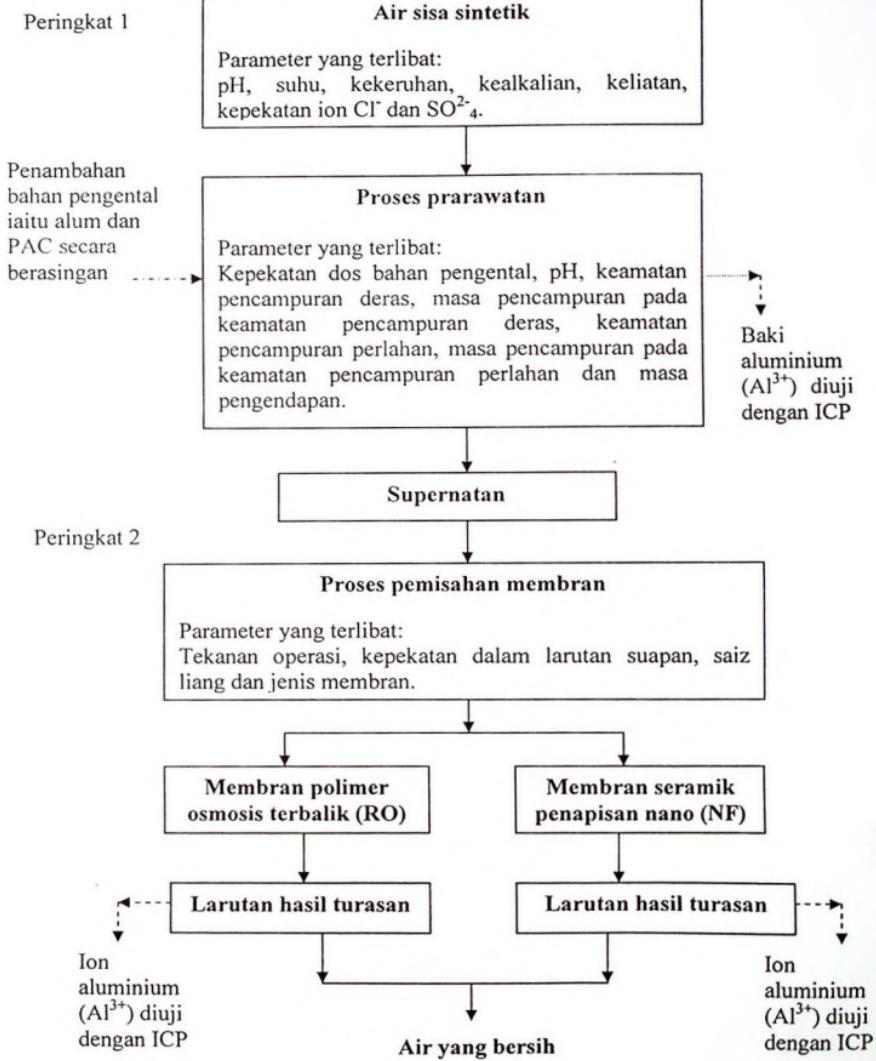
Kajian prarawatan ini juga banyak diaplikasikan sebelum proses pemisahan membran dilakukan di dalam kebanyakan loji rawatan air di negara-negara Eropah dan Amerika Syarikat untuk mengelakkan masalah berlakunya membran tersumbat dan pengutuban kepekatan di mana ia boleh mengakibatkan proses pemisahan membran terhenti dan turut memendekkan jangka hayat membran tersebut.

Langkah kedua pada adalah proses pemisahan membran dimana terdapat dua jenis membran yang digunakan iaitu membran osmosis terbalik (RO) dan penapisan nano (NF), masing-masing diperbuat daripada bahan polimer dan seramik. Proses pemisahan membran ini diaplikasikan untuk membandingkan keberkesanan penyingiran baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) di antara kedua-dua jenis membran dan di antara kedua-dua jenis bahan pengental sama ada alum ataupun PAC.

Dalam kajian ini juga, keberkesanan kepekatan suapan dan jenis membran terhadap penyingiran baki aluminium ini juga diperhatikan. Akhir sekali, kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang dihasilkan di dalam larutan hasil turasan juga akan diukur seperti yang telah dilakukan pada langkah pertama. Secara ringkasnya cadangan bagi kedua-dua jenis kaedah rawatan pemisahan ini boleh ditunjukkan dalam Rajah 1.2.

Kepentingan menyingkirkan atau mengurangkan kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) di dalam air dan air sisa domestik ini adalah perlu untuk menyedarkan kepada masyarakat betapa bahayanya risiko yang diambil jika air minuman yang kita minum mengandungi kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang tinggi.

Di samping itu, proses pemisahan membran seperti membran osmosis terbalik (RO) dan penapisan nano (NF) akan menjadi satu teknologi terbaru di negara kita di mana ia diharapkan dapat membantu menyelesaikan masalah tersebut dengan pengubahsuaian dilakukan iaitu skala yang lebih besar boleh diaplikasikan bukan sahaja di k esemua loji rawatan air malah di dalam industri ber teknologi tinggi atau industri kecil dan sederhana (IKS).



Rajah 1.2 : Rajah skema bagi proses fizikal dan pemisahan membran.

## 1.4 Objektif

Di antara objektif-objektif penyelidikan tersebut adalah seperti berikut :

### 1.4.1 *Kajian prarawatan*

1. Mengoptimumkan nilai kepekatan dos bahan pengental, pH, keamatan pencampuran deras dan masa pencampurannya, keamatan pencampuran perlahan dan masa pencampurannya serta masa pengendapan bagi proses prarawatan menggunakan alum dan PAC melalui nilai kekeruhan terendah.
2. Membandingkan keberkesanan di antara tindakan alum dan PAC di dalam proses pengentalan, pemberbukan dan pengendapan.
3. Mengetahui nilai kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang didapati daripada alum dan PAC selepas proses prarawatan dilakukan.

### 1.4.2 *Kajian pemisahan membran*

1. Membandingkan keberkesanan di antara membran polimer osmosis terbalik (RO) dan membran seramik penapisan nano (NF), terhadap penyingkiran ion aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) dan penghasilan fluks telapan.
2. Mengkaji keberkesanan kepekatan suapan dan jenis membran terhadap penyingkiran ion aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ).
3. Mendapatkan nilai kepekatan ion aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ), masing-masing daripada larutan alum dan larutan PAC selepas disingkirkan melalui kajian proses pemisahan membran.

## BAB 2

### SOROTAN LITERATUR

#### 2.1 Prarawatan

Prarawatan air dan air sisa adalah proses rawatan air dan air sisa pada peringkat awal yang mengandungi kaedah rawatan konvensional seperti proses pengentalan, pemberbukan, pengendapan, penurasan, pengapungan, pembasmian, pemfluoridaan dan sebagainya bagi meningkatkan keberkesanan rawatan tersebut (Adlan, 2000; Logsdon, 2000).

##### 2.1.1 *Proses Pengentalan*

Pengentalan ialah proses penyahstabilan di antara zarah-zarah dan pepejal halus yang terampai di dalam air serta mengandungi bahan-bahan yang tercemar seperti bahan organik, oksida logam, bahan toksik tidak terlarut dan bahan humik yang tidak boleh disingkirkan atau terendap secara semulajadi dalam jangka masa yang agak panjang dari air sisa (Reynolds & Richards, 1996; Droste, 1997).

Proses ini dilakukan dengan menambahkan sesuatu bahan kimia ke dalam air, untuk mengurangkan daya tolakan di antara zarah-zarah tersebut yang kebanyakannya

bercas negatif dan menekat di antara satu sama lain, lalu menjadi flok atau pengentalan yang lebih besar, berat, cepat dan mudah disingkirkan di dalam proses rawatan yang berikutnya melalui daya tarikan graviti (Manahan, 2001; Rattanakawin & Hogg, 2001).

Menurut Yen, (1999) bahan kimia yang digunakan di dalam proses pengentalan ini bertindak sebagai reagen atau bahan pengental di mana kebanyakannya mempunyai gabungan ion positif bervalensi tinggi iaitu bercas 3+ atau 2+ seperti aluminium sulfat, ferik klorida, magnesium oksida dan sebagainya. Exall & Vanloo, (2001), telah menyatakan bahawa terdapat dua jenis bahan pengental iaitu bahan pengental organik dan bukan organik. Namun begitu, Watanabe & Ushiyama, (2000) pula melaporkan bahawa walaupun penggunaan bahan pengental tersebut adalah lebih berkesan, tetapi kadangkala pada situasi tertentu seperti kepekatan dosnya yang tinggi boleh menyebabkan pencemaran terhadap air.

#### 2.1.1 (a) *Aluminium sulfat*

Pada masa kini, kebanyakan rawatan air terutamanya di dalam proses penghasilan air minuman, kebanyakannya menggunakan bahan pengental bukan organik seperti aluminium sulfat terhidrat atau lebih dikenali sebagai alum  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O]$  (Omoike & Vanloon, 1999; Cech & Montera, 2000). Bahan pengental alum ini digunakan sehingga kini disebabkan beberapa kelebihannya seperti keberkesanannya yang tinggi di dalam proses pengentalan iaitu di antara pH 5.5 - 6.5 (Droste, 1997; Davis & Cornwell, 1998) atau 5.5 - 8.0 (Corbitt, 1998; Gray 1999),

berkebolehan untuk menghasilkan proses penyahstabilan yang baik terhadap zarah-zarah yang telah menyebabkan berlakunya kekeruhan (O'Melia, 1998).

Tambahan lagi, harganya adalah murah (Ooi *et al.*, 2001), kurang menghakis dan peratus penyingkirannya terhadap sesuatu bahan larut adalah tinggi (Watanabe & Ushiyama, 2000), penghubung yang baik dengan bahan pengental berpolimer untuk membentuk flok yang kuat (Mukhtar, 2000), gabungannya dengan ion sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) boleh meningkatkan purata saiz zarah yang digumpal (Boisvert *et al.*, 1999), berkebolehan untuk digunakan bersama bahan pengental organik atau bukan organik yang lain dalam proses pengentalan-pemberbukan (Amokrane *et al.*, 1997).

McConnachie *et al.*, (1999), telah melaporkan kajian yang dilakukan dengan menggunakan alum dan bahan pengental organik yang dikenali sebagai M.oleifera di dalam proses pemberbukan untuk mengurangkan kekeruhan air sungai di Malawi yang mempunyai purata kekeruhan di antara 15 - 5600 NTU, bagi menghasilkan air minuman. Hasilnya, air yang diperolehi adalah kurang daripada 1 NTU, mematuhi garis panduan yang telah ditetapkan oleh WHO iaitu kurang daripada 5 NTU.

Ooi *et al.*, (2001), melaporkan bahawa kajian yang menggunakan alum dan campuran alum/ $\text{MgCl}_2$  yang berkepekatan di antara 1000 - 5000 ppm untuk menyingkirkan bahan larut tertentu di dalam air sisa industri. Hasil yang diperolehi menunjukkan bagi dos bahan pengental yang optimum, pH, peratus penyingiran bahan pewarna, COD dan pepejal terampai yang diperolehi, masing-masing adalah 850 ppm, pH 5.29, 99% bahan pewarna, 89% COD dan 68% pepejal terampai bagi alum manakala 2800 ppm, pH 7.21, 97% bahan pewarna, 88% COD dan 69% pepejal

terampai bagi campuran alum/MgCl<sub>2</sub>. Oleh itu, kombinasi alum dengan bahan pengental lain tidak menunjukkan perbezaan ketara bagi peratus penyingkiran sesuatu bahan larut kecuali penggunaan kepekatan dos bahan pengental yang lebih tinggi iaitu 2800 ppm berbanding dengan menggunakan alum sahaja iaitu 800 ppm dalam proses rawatan air.

Menurut Marhaba & Pipada, (2000), terdapat lebih daripada 60 mg/L alum digunakan di dalam kajiannya untuk menyingkirkan bahan organik terlarut yang hadir di dalam air minuman. Hasilnya, sebanyak 13.10% bahan organik tersebut dapat disingkirkan dengan menggunakan dos optimum iaitu 60 mg/L alum pada pH 7.0.

Huang & Chiswell, (2000) melaporkan kajian yang telah dilakukan dengan menggunakan alum yang berkepekatan di antara 1300 - 5600 mg/L untuk menyingkirkan fosfat dalam effluen air sisa yang hendak dikitaran. Keputusan yang diperolehi menunjukkan penyingkiran fosfat berlaku sehingga alum mencapai kepekatan dos yang optimum. Tetapi, apabila kepekatan dos melebihi daripada kepekatan dos yang optimum, maka akan terdapat baki aluminium (Al<sup>3+</sup>) di dalam effluen berkenaan.

Chemat *et al.*, (2001), juga telah menggunakan alum di dalam kajiannya untuk menyingkirkan bahan humik daripada air mentah melalui proses pengentalan. Namun begitu, masalah telah timbul di mana kepekatan baki aluminium (Al<sup>3+</sup>) yang terhasil di dalam air yang telah dirawat adalah tinggi dan flok yang dihasilkan adalah kecil dan ringan. Oleh yang demikian pada sesetengah keadaan, bahan alternatif lain seperti bahan pengental polimer diperlukan untuk mengatasi masalah tersebut.

Menurut Rattanakawin & Hogg, (2001), bahan pengental polimer yang mempunyai berat molekul yang rendah akan menghasilkan flok yang besar atau berkeupayaan untuk menghapuskan cas dengan mudah berbanding dengan bahan pengental yang lain bagi meningkatkan kekuatan flok. Sebagai contoh, salah satu bahan pengental polimer tersebut iaitu polialuminium klorida (Hemboldt *et al.*, 1999).

### 2.1.1 (b) *Polialuminium klorida*

Polialuminium klorida  $[Al_{13}(OH)_{20}(SO_4)_2Cl_{15}]$  atau kebiasaannya dikenali sebagai PAC adalah bahan pengental polimer yang digunakan sejak kebelakangan ini kerana kompetitif dari segi ekonomi (Barkács *et al.*, 2000) dan menyebabkannya banyak digunakan dalam pelbagai bidang kajian penyelidikan (Boisvert *et al.*, 1999). Keberkesanannya semakin meningkat di mana pembentukan pempolimeran yang dihasilkan memberikan kelebihan untuk mengelompokkan zarah-zarah terampai dengan lebih mudah (Ooi *et al.*, 2001) khususnya di dalam proses rawatan air dan air sisa untuk menghasilkan air minuman (Ping *et al.*, 2001).

Selain dari itu, PAC juga mempunyai kedua-dua sifat bahan pengental tak organik dan bahan berpolimer, kurang menghakis, sangat berkesan pada julat pH yang besar, berkebolehan untuk digunakan pada julat dos yang besar dan sesuai untuk merawat pelbagai peringkat kekeruhan, berkebolehan untuk mengurangkan pencemaran serta digunakan secara berasingan atau bergabung dengan jenis polimer lain bagi mengurangkan penghasilan bahan enapcemar (Mukhtar, 2000).

Barkács *et al.*, (2000), melaporkan kajian di mana PAC dan poliakrilamida (sejenis bahan pengental organik), telah digunakan untuk merawat beberapa sampel air mentah dan air basuhan semula yang diambil dari beberapa tempat di Budapest, Hungary, mempunyai nilai kekeruhan dan kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) pada peringkat awal bagi menghasilkan air minuman iaitu masing-masing adalah 32 NTU dan 0.061 mg/L  $\text{Al}^{3+}$ . Hasil yang diperolehi menunjukkan kepekatan dos optimum, pH, kekeruhan akhir dan kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) di mana masing-masing adalah 15 mg/L, pH 7.65, 1.3 NTU, kurang daripada 0.01 mg/L  $\text{Al}^{3+}$  bagi PAC manakala 7 mg/L, pH 7.71, 9.7 NTU, 0.043 mg/L  $\text{Al}^{3+}$  bagi poliakrilamida. Walaupun kepekatan dos optimum bagi PAC yang digunakan adalah lebih tinggi berbanding dengan kepekatan dos optimum bagi poliakrilamida, nilai kekeruhan dan kepekatan baki aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang dihasilkan adalah lebih rendah di dalam supernatan.

Wenbin *et al.*, (2001), melaporkan bahawa sebanyak 0.5 – 3.0 mL larutan PAC digunakan untuk merawat air mentah dari Kolam Air Donghu, China yang mempunyai suhu 20°C dan kekeruhan 5 NTU. Keputusan yang diperolehi iaitu isipadu PAC, masa keamatan pencampuran perlahan dan masa pengendapan optimum yang diperolehi, masing-masing adalah sebanyak 1.5 mL, 50 minit dan 60 minit dapat mengurangkan nilai kekeruhan sehingga 0.16 NTU dan 96.8% bagi peratus penyingkiran kekeruhan yang dicapai.

Ping *et al.*, (2001), juga telah menggunakan PAC untuk merawat beberapa sampel air sisa domestik dari tiga buah lokasi iaitu kawasan perumahan, asrama pelajar dan kafeteria USM KCP, Tronoh, Perak. Keputusan akhir menunjukkan beberapa parameter optimum yang diperolehi adalah 400 mg/L bagi kepekatan dos PAC, pada pH

$6.00 \pm 0.05$ , keamatian pencampuran deras di antara  $150 - 170 \text{ s}^{-1}$  selama 60 saat dan keamatian pencampuran perlahan di antara  $20 - 30 \text{ s}^{-1}$  selama 20 minit serta masa pengendapan selama 20 minit untuk menyingkirkan bahan-bahan humik sebanyak 97%.

Terdapat juga rawatan air dan air sisa yang menggunakan secara kombinasi ataupun berasingan di antara kedua-dua alum dan PAC di dalam satu proses rawatan air dan air sisa (Exall & Vanloo, 2001). Contohnya Tumbas & Dalmacija, (2001), telah menggunakan alum dan PAC secara berasingan di dalam proses pengentalan untuk mengurangkan bahan-bahan karsinogen di dalam penghasilan air minuman dari sumber air bawah tanah di Banat Utara Yugoslavia. Keputusan akhir menunjukkan kepekatan dos PAC yang lebih rendah diperolehi iaitu sebanyak  $10 \text{ mg/L}$  berbanding dengan alum iaitu  $30 \text{ mg/L}$  untuk menyingkirkan bahan-bahan karsinogen dengan lebih berkesan.

Namun begitu, kadangkala alum dan PAC ini juga digunakan bersama dengan bahan pengental yang lain sama ada bahan pengental tersebut adalah organik atau bukan organik untuk meningkatkan lagi keberkesanan sesuatu proses rawatan air dan air sisa. Contohnya Exall & Vanloo, (2001), menggunakan alum, PAC dan PAHS secara kombinasi pada kepekatan yang sama untuk menyingkirkan kekeruhan dan bahan organik serta mengkaji keberkesanan kesemua bahan pengental tersebut di dalam suhu air yang berbeza iaitu suhu rendah dan tinggi.

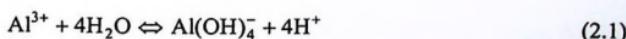
Hasilnya, dengan menggunakan alum, PAC dan PAHS, purata saiz flok yang diperolehi selepas proses pengentalan masing-masing adalah di antara  $26 - 85$ ,  $130 - 700$  dan  $87 - 280 \mu\text{m}$  di mana PAC menunjukkan nilai purata saiz flok yang lebih besar berbanding alum dan PAHS. PAC juga menunjukkan keberkesanan yang tinggi di

dalam kedua-dua air sejuk dan panas berbanding dengan alum yang kurang berkesan di dalam air sejuk manakala PAHS pula kurang berkesan di dalam air panas di mana flok-flok yang dihasilkan adalah kecil pada masa yang agak lama untuk membentuk flok-flok tersebut.

Selain dari itu, Tumbas *et al.*, (1999), pula telah menggunakan bersama alum, PAC dan ferik klorida untuk menentukan kesan proses pengentalan, pemberbukuan, penjerapan dan penukaran ion terhadap pengurangan kadar pembentukan klorofom yang boleh mendatangkan bahaya di dalam air minuman. Keputusan yang diperolehi menunjukkan kepekatan dos PAC yang lebih rendah iaitu 10 mg/L, dapat mengurangkan kadar pembentukan klorofom dengan lebih baik berbanding alum dan ferik klorida iaitu masing-masing adalah 30 dan 50 mg/L. Ini menunjukkan bahawa keberkesanannya PAC dalam memperbaiki kualiti rawatan air adalah dua hingga tiga kali ganda lebih tinggi berbanding dengan bahan pengentalan lain (Exall & Vanloo, 2001).

### 2.1.1 (c) *Mekanisma proses pengentalan*

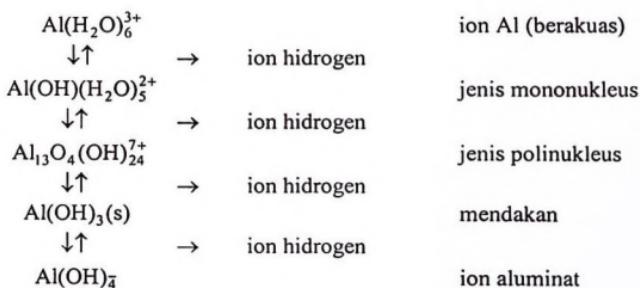
Apabila alum dan PAC ini ditambahkan ke dalam air, kedua-duanya akan terlarut dengan cepat dan bertindakbalas untuk menghasilkan bahan hidrolisis aluminium di mana satu persamaan tindakbalas awal boleh ditunjukkan melalui persamaan 2.1 (Casey, 1997) :



Namun begitu, adalah didapati bahawa tindakbalas untuk menghasilkan bahan hidrolisis aluminium ini boleh diterangkan dengan lebih terperinci lagi di mana terdapat

beberapa turutan tindakbalas lain yang terlibat, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.1 (American Water Works Association, 1999).

Menurut American Water Works Association, (1999) tindakbalas untuk menghasilkan bahan hidrolisis aluminium tersebut berlaku dengan cepat di mana ion aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) ini dikelilingi dengan enam molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) iaitu gabungan di antara atom oksigen ( $\text{O}_2$ ) dengan hidrogen ( $\text{H}_2$ ) di dalam molekul air mempunyai ikatan yang lemah serta mengakibatkan atom  $\text{H}_2$  cenderung untuk dilepaskan di dalam larutan. Proses tindakbalas ini dikenali sebagai proses hidrolisis dan ion aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang dihasilkan pula dikenali sebagai produk hidrolisis. Sehubungan itu, secara kimia penghasilan hidrolisis aluminium adalah rumit, kompleks dan sukar untuk difahami.



Rajah 2.1 : Hasil tindakbalas hidrolisis aluminium (American Water Works Association, 1999).

Seterusnya menurut American Water Works Association, (1999) lagi, dos yang optimum dengan sukatan yang sesuai dan memadai diperlukan untuk menghasilkan sejumlah ion logam di mana bahan mononukleus ringkas dan polinukleus kompleks mengandungi lebih daripada 13 bilangan ion  $\text{Al}^{3+}$  bersama cas pelbagai valensi.

Tindakbalas seterusnya pada permukaan zarah-zarah, menyebabkan bahan ini menjadi mendakan hidroksida logam dan bersifat amfoterik iaitu boleh bertindakbalas dengan ion  $H^+$  atau  $OH^-$ , bergantung pada nilai pH. Ia juga adalah bahan polimer yang lebih kompleks, menghasilkan flok yang lebih besar dan kuat daripada zarah-zarah terlarut serta menjadikan pemendakan berlaku dengan lebih cepat.

Kawamura, (1991) menyatakan bahawa flok yang bersaiz besar, mudah untuk dimendapkan ke bawah secara tarikan graviti berbanding flok yang bersaiz kecil, sukar untuk dimendapkan ke bawah secara tarikan graviti disebabkan ianya bergabung sesama sendiri akibat daya tolakan elektrostatik. Daya ini boleh dikurangkan apabila bahan pengental ditambahkan ke dalam air sisa tersebut.

Kation iaitu ion beras positif daripada bahan pengental ini akan dijerap masuk ke dalam lapisan yang paling dalam bagi zarah-zarah beras negatif dan berubah mengikut valensi serta bilangan ion yang dijerapkan. Ion-ion yang berlawanan cas akan membentuk lapisan luar yang berselerak di mana ia akan melekat berhampiran dengan permukaan zarah oleh daya elektrostatik, termasuklah daya Van der Waals dan daya yang disebabkan oleh terjerapnya makromolekul.

Davis & Cornwell, (1998) melaporkan bahawa cas yang terdapat pada zarah dikenali sebagai  $\zeta$  eta. Proses pengentalan dan pemendakan yang optimum diperolehi jika keupayaan  $\zeta$  eta ini mencapai nilai sifar. Titik di mana keupayaan ini bernilai sifar juga dikenali sebagai titik seelektrik.

Pada titik ini, boleh dikatakan hampir semua cas-cas negatif pada zarah-zarah telah dineutralkan dengan lebih cepat oleh kation bervalensi tinggi seperti kation tiga valensi (3+) berbanding kation dua (2+) dan satu valensi (1+). Kation tiga valensi ini akan menekan cas-cas zarah dan mengurangkan keupayaan zeta.

Gray, (1999) pula menyatakan bahawa koloid-koloid yang terdapat dalam air sisa sebahagiannya mempunyai sifat hidrofilik atau hidrofobik. Koloid-koloid yang bersifat hidrofobik seperti oksida logam tidak menunjukkan sebarang tarikan terhadap medium cecair dan kurang stabil dengan adanya elektrolit serta mudah untuk mengalami proses pengentalan. Koloid-koloid bersifat hidrofilik pula menunjukkan tarikan yang agak kuat terhadap air dan boleh membantutkan proses pengentalan kerana molekul-molekul air akan dijerapkan pada koloid-koloid tersebut.

### 2.1.2 *Proses Pemberbukan*

Vesilind *et al.*, (1993) mendefinisikan proses pemberbukan sebagai proses yang menggabungkan zarah-zarah halus yang terampai, stabil dan tersebar di merata tempat di dalam air untuk dineutralkan, dinyahstabilkan dan dikelompokkan menjadi flok atau gentalan-gentalan besar supaya mudah untuk dipisahkan secara tarikan graviti. Menurut Biggs & Lant, (2000), saiz flok akan berubah dengan masa dan terus meningkat untuk flok tersebut menjadi lebih besar.

Rattanakawin & Hogg, (2001), telah melaporkan kajian ujian jar yang dilakukan terhadap pembentukan flok di dalam proses pengentalan-pemberbukan dan juga bahan pengental berpolimer adalah untuk mengukur pengagihan saiz flok. Hasilnya

menunjukkan bahawa melalui proses pemberbukuan ini, kadar pembentukan dan pengagihan saiz flok menjadi lebih cepat dan seragam kerana flok yang dihasilkan adalah lebih besar dan kuat.

Ketika berlakunya proses pengentalan, tindakbalas di antara lapisan dua elektrik yang ada pada zarah-zarah terampai dihapuskan dan semasa pemberbukuan, bahan polimer tersebut membentuk ‘jambatan molekul’ di antara zarah-zarah terampai yang akan bergabung untuk menjadi flok.

### 2.1.3 *Proses Pengendapan*

Watson, (1999) mendefinisikan proses pengendapan atau penjernihan sebagai proses pemisahan pepejal-cecair di dalam rawatan air dan air sisa untuk menyingkirkan zarah-zarah bersaiz besar, hasil daripada penggumpalan zarah-zarah bersaiz kecil yang terampai di dalam proses pengentalan dan pemberbukuan yang menjadikan kesemua proses tersebut saling berkait rapat.

Ooi *et al.*, (2001), menyatakan bahawa proses pengendapan ini dapat diperbaiki melalui proses pemberbukuan. Lee & Lin, (2000), pula menyatakan bahawa penyingkiran zarah-zarah yang besar dan berat atau flok ini adalah terdiri daripada sama ada bahan organik atau bukan organik, termasuklah logam berat.

Menurut Aziz, (1999) apabila flok terbentuk, ia akan tertolak ke hadapan atau terendap ke bawah secara tarikan graviti hingga ke lantai tangki pengendapan dan menjadi bahan enapcemar. Gray, (1999) dan Rattanakawin & Hogg, (2001) pula

berpendapat bahawa air yang jenih iaitu supernatan yang berada di bahagian atas tangki pengendapan akan dirawat dan boleh dijadikan sumber air minuman.

Schweitzer, (1997) melaporkan bahawa proses pengendapan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yang turut menjadikan proses sebelumnya iaitu proses pengentalan dan pemberbukan untuk berfungsi dengan lebih berkesan.

## **2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengentalan-pemberbukan-pengendapan**

Casey, (1997) berpendapat bahawa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi penambahan bahan pengental dan tindakbalas yang kompleks disebabkan pengiraan untuk penambahan bahan pengental ini tidak boleh dilakukan terus di loji rawatan air dan air sisa. Rump, (1999) menyatakan bahawa ujian jar atau ujian bikar perlu dilakukan di dalam makmal untuk merancang dan mendapatkan dos optimum bahan pengental yang ditambahkan, sebelum digunakan dalam loji rawatan air dan air sisa sebenar.

Menurut Davis & Cornwell, (1998) di antara faktor-faktor tersebut yang menjadi parameter di dalam proses pengentalan ini adalah dos bahan pengental, pH, keamatan pencampuran deras dan perlahan, masa pencampuran bagi keamatan pencampuran deras dan perlahan serta masa pengendapan.

Gray, (1999), menyatakan bahawa keadaan optimum bagi faktor-faktor ini perlu diperolehi supaya proses pengentalan boleh dikawal, bagi mengelakkan pembaziran dari

segi kos, masa dan keberkesanannya proses tersebut menjadi berkurangan. Seterusnya Lee & Lin, (2000) melaporkan setelah keadaan optimum ini telah diperolehi, maka larutan supernatan akan dinilai kandungan di dalamnya dari segi kepekatan baki bahan pencemar, kekeruhan, warna dan sebagainya.

Zhang & Emery, (1999), telah mengkaji kesan dos bahan pengental alum, pH, keamatan pencampuran deras dan perlahan bersama masa pencampuran masing-masing serta masa pengendapan terhadap penyingkirkan atrazin iaitu bahan beracun yang ditemui di dalam bekalan air minuman di Midwestern, USA. Keputusan yang didapati menunjukkan penyingkirkan atrazin sebanyak 60% diperolehi dengan menggunakan 12 mg/L alum, pada pH 5.8, keamatan pencampuran deras iaitu 100 rpm selama 3 minit dan keamatan pencampuran deras dan perlahan pada 30 rpm selama 12 minit serta masa pengendapan selama 15 minit.

Tan *et al.*, (2000), pula telah menggunakan alum, PAC dan magnesium klorida ( $MgCl_2$ ) pada kepekatan dos yang tinggi iaitu di antara 1000 - 5000 ppm dalam menyingkirkan bahan pewarna sintetik dan pencelup dari kilang pencelupan dan percetakan. Hasil yang diperolehi iaitu penyingkirkan sebanyak 97.9%, 88.4% dan 95.5% masing-masing bagi bahan pewarna, COD dan jumlah pepejal terampai.

### **2.3 Kaedah untuk mengatasi masalah-masalah proses prarawatan**

Boisvert *et al.*, (1999), dalam kajiannya telah menggunakan membran penapisan ultra (UF) untuk mengurangkan kepekatan baki aluminium ( $Al^{3+}$ ) yang terhasil di dalam larutan air sisa selepas menggunakan alum yang berkepekatan di antara 0.02 - 2.0 M.