

**KOMPOSISI, CIRI-CIRI DAN PEMBAHAGIAN SUMBER BAGI SURFAKTAN
DALAM AEROSOL ATMOSFERA DI KUALA LUMPUR DAN BANGI,
MALAYSIA**

NURUL BAHYAH ABD WAHID

**TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH
DOKTOR FALSAFAH**

**FAKULTI SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI**

2015

ABSTRAK

Surfaktan adalah salah satu bahan pencemar di dalam udara yang mampu mempengaruhi perubahan iklim global di samping memberi kesan buruk kepada kesihatan manusia. Oleh itu, kajian ini telah dijalankan untuk menentukan komposisi, ciri-ciri serta pembahagian sumber bagi surfaktan dalam aerosol atmosfera, khususnya di kawasan bandar (pusat bandaraya Kuala Lumpur) dan separa bandar (Bangi, Selangor). Sampel aerosol atmosfera telah dikumpulkan dari Ogos 2010 hingga April 2011 mengikut monsun yang berbeza di Malaysia. Pensampelan aerosol dijalankan dengan menggunakan alat pensampelan udara berisipadu tinggi (HVS), dengan kadar alir $1.13 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ untuk mendapatkan sampel zarah halus ($< 1.5 \text{ }\mu\text{m}$) dan zarah kasar ($> 1.5 \text{ }\mu\text{m}$). Selain itu, sampel zarah dari ekzos diesel dan petrol serta sampel debu jalan turut dikumpul. Analisis kolorimetrik telah dijalankan untuk menentukan kepekatan surfaktan anionik sebagai sebatian aktif metilena biru (MBAS) dan surfaktan kationik sebagai sebatian aktif disulfina biru (DBAS). Serapan ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer ultra lembayung boleh nampak (UV-Vis) pada panjang gelombang 650 nm (MBAS) dan 628 nm (DBAS). Di samping itu, komposisi ionik bagi setiap sampel telah dikesan dengan menggunakan kromatografi ion untuk kation (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) dan anion (F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}). Analisis komponen utama (PCA) digabungkan dengan regresi linear berganda (MLR) telah digunakan untuk mengenalpasti pembahagian sumber bagi MBAS dan DBAS berdasarkan komposisi ionik. Hasil kajian menunjukkan bahawa kepekatan surfaktan di kedua-dua lokasi pensampelan telah dikuasai oleh MBAS berbanding DBAS untuk semua monsun yang dikaji. Perbandingan di antara stesen pensampelan menunjukkan bahawa kepekatan MBAS di Kuala Lumpur adalah lebih tinggi berbanding dengan Bangi dengan nilai 324.30 ± 18.57 dan $142.53 \pm 14.92 \text{ pmol m}^{-3}$ pada Monsun Barat Daya, manakala 291.18 ± 45.20 dan $191.69 \pm 13.28 \text{ pmol m}^{-3}$ pada Monsun Timur Laut, masing-masing. Kepekatan surfaktan dalam zarah halus ($< 1.5 \text{ }\mu\text{m}$) didapati lebih tinggi daripada zarah kasar ($> 1.5 \text{ }\mu\text{m}$). Tiga sumber utama surfaktan telah dikenal pasti daripada analisis PCA-MLR untuk MBAS dalam sampel zarah halus di Kuala Lumpur, yang didominasi oleh kenderaan bermotor, diikuti oleh debu tanah/jalan dan semburan laut. Bagi MBAS dalam zarah kasar, pembakaran biojisim/semburan laut adalah sumber dominan diikuti oleh kenderaan bermotor/debu jalan dan bahan binaan. Ujian korelasi Pearson pula menunjukkan bahawa surfaktan anionik sebagai MBAS mempunyai korelasi positif dengan NO_x ($p < 0.01$) dan SO_2 ($p < 0.01$), serta korelasi negatif dengan O_3 ($p < 0.01$). Bagi analisis surfaktan dari pelbagai sumber yang mungkin, jelaga dari ekstrak ekzos kenderaan diesel mencatatkan nilai yang paling tinggi dengan purata kepekatan $1.41 \pm 0.09 \text{ }\mu\text{g g}^{-1}$ bagi MBAS dan $0.32 \pm 0.06 \text{ }\mu\text{g g}^{-1}$ bagi DBAS. Bagi sifat-sifat surfaktan pula, jelas menunjukkan bahawa tegangan permukaan berkurang apabila kepekatan surfaktan meningkat. Kesan pendedahan terhadap sinar ultra lembayung dan ozon juga menunjukkan penurunan kepekatan surfaktan yang ketara. Keseluruhannya, hasil kajian membuktikan bahawa surfaktan di kawasan bandar dan separa bandar adalah didominasi oleh sumber antropogenik khususnya kesan kenderaan bermotor dan kepadatan trafik. Pengurusan pelepasan kenderaan bermotor yang boleh menyumbang kepada jumlah surfaktan yang tinggi di kawasan bandar perlu dipertimbangkan semula bagi membangunkan persekitaran bandar yang lebih baik pada masa depan.

COMPOSITION, CHARACTERISTICS AND SOURCE APPORTIONMENT OF SURFACTANTS IN ATMOSPHERIC AEROSOL OF KUALA LUMPUR AND BANGI, MALAYSIA

ABSTRACT

Surfactant is one of the pollutants in the air that can affect global climate and cause adverse effects on human health. Thus, this study was conducted to determine the composition, characterization and source apportionment of surfactants in atmospheric aerosols, particularly in urban area (Kuala Lumpur City Centre) and semi-urban area (Bangi, Selangor). Atmospheric aerosol samples were collected from August 2010 to April 2011 in accordance with the different monsoon in Malaysia. Aerosol sampling was conducted using a high volume sampler (HVS), with the flow rate of $1.13 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ for collecting fine ($< 1.5 \text{ }\mu\text{m}$) and coarse ($> 1.5 \text{ }\mu\text{m}$) mode particles. In addition, samples of diesel and petrol exhaust particulate matter as well as road dust were also collected. Colorimetric method was performed to determine the concentration of anionic surfactants as methylene blue active substance (MBAS) and cationic surfactants as disulphine blue active substance (DBAS). The absorption was then determined by using a visible ultraviolet spectrophotometer (UV-Vis) at a wavelength of 650 nm (MBAS) and 628 nm (DBAS). In addition, the ionic composition of each sample was detected using ion chromatography of cations (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) and anions (F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}). Principle component analysis (PCA) combined with multiple linear regression (MLR) was used to determine the possible sources for MBAS and DBAS based on ionic composition. The results showed that the concentration of surfactants in the two sampling locations was dominated by MBAS compared to DBAS for all monsoons studied. Comparison between the sampling stations indicated that the concentrations of MBAS in Kuala Lumpur is higher than Bangi, 324.30 ± 18.57 and $142.53 \pm 14.92 \text{ pmol m}^{-3}$ during the Southwest Monsoon, while 291.18 ± 45.20 and $191.69 \pm 13.28 \text{ pmol m}^{-3}$ during the Northeast Monsoon, respectively. Surfactant concentration in fine particles ($< 1.5 \text{ }\mu\text{m}$) was higher than in coarse particles ($> 1.5 \text{ }\mu\text{m}$). Three main sources of surfactants have been identified from the analysis of PCA-MLR for MBAS in fine mode samples, which is dominated by motor vehicles, followed by the soil/street dust and sea spray. For MBAS in coarse mode, biomass burning/sea spray were the dominant source, followed by motor vehicles/street dust and construction materials. Pearson correlation test showed that the anionic surfactants as MBAS was positively correlated with NO_x ($p < 0.01$) and SO_2 ($p < 0.01$), and negatively correlated with O_3 ($p < 0.01$). For surfactant analysis in the sample of possible sources, particulates from diesel exhaust extract recorded the highest average concentration of $1.41 \pm 0.09 \text{ }\mu\text{g g}^{-1}$ for MBAS and $0.32 \pm 0.06 \text{ }\mu\text{g g}^{-1}$ for DBAS. Surfactant characterization indicated that the surface tension decreased as the concentration of surfactant increased. Exposure to ultraviolet rays and ozone caused a significant decreased in the concentration of surfactant. The findings proved that the surfactant in urban and semi-urban areas is dominated by anthropogenic sources, particularly from the impact of motor vehicles and traffic density. Management of motor vehicle emissions that may contribute to the high amount of surfactant in the urban areas should be reconsidered to develop a better urban environment in the future.

KANDUNGAN

	Halaman
PENGAKUAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KANDUNGAN	vi
SENARAI JADUAL	xii
SENARAI RAJAH	xiv
SENARAI SIMBOL DAN UNIT	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Pengenalan	1
1.2 Latar Belakang Penyelidikan	1
1.3 Rasional dan Kepentingan Penyelidikan	4
1.4 Objektif Penyelidikan	5
1.5 Kerangka Konseptual dan Penulisan Tesis	6
1.6 Rumusan	9
BAB II KAJIAN KEPUSTAKAAN	10
2.1 Pengenalan	10
2.2 Atmosfera	10
2.3 Aerosol Atmosfera	11
2.3.1 Saiz Aerosol Atmosfera	12
2.3.2 Komposisi Ionik dalam Aerosol Atmosfera	14
2.3.3 Sebatian Organik dalam Aerosol Atmosfera	14
2.4 Surfaktan	15
2.4.1 Pengkelasan Surfaktan	17
2.4.2 Kegunaan Surfaktan Secara Komersil	18
2.4.2.1 Alkil Benzena Linear Sulfonat (LAS)	18
2.4.3 Sifat dan Ciri-ciri Surfaktan	20
2.4.3.1 Surfaktan dan Tegangan Permukaan	20
2.4.3.2 Surfaktan dan Keterlarutan	22
2.4.4 Sumber-sumber Surfaktan dalam Atmosfera	23

2.4.4.1	Sumber Semula Jadi	23
2.4.4.2	Sumber Antropogenik	24
2.4.5	Kesan-kesan Surfaktan dalam Atmosfera	26
2.4.5.1	Kesan Surfaktan terhadap Persekitaran	26
2.4.5.2	Kesan Surfaktan terhadap Kesihatan	27
2.5	Gas Pencemar Udara dan Surfaktan	28
2.5.1	Karbon Monoksida (CO)	28
2.5.2	Sulfur Dioksida (SO ₂)	29
2.5.3	Ozon (O ₃)	29
2.5.4	Nitrogen Oksida (NO _x)	30
2.6	Faktor Meteorologi dan Surfaktan	30
2.6.1	Angin dan Monsun di Malaysia	31
2.6.2	Hujan di Malaysia	32
2.6.3	Sinaran UV dan Suhu	33
2.6.4	Kelembapan Relatif	33
2.7	Episod Jerebu di Malaysia	34
2.8	Status Kajian Seumpama Ini di Malaysia	35
2.9	Rumusan	36
BAB III	BAHAN DAN KAEDAH	38
3.1	Pengenalan	38
3.2	Alatan dan Radas	38
3.3	Pensampelan	40
3.3.1	Pemilihan Lokasi Pensampelan	40
3.3.1.1	Pusat Bandaraya Kuala Lumpur	40
3.3.1.2	Bangi, Selangor	42
3.3.1.3	Tasik Chini, Pahang	44
3.3.2	Kaedah Pensampelan	45
3.3.2.1	Aerosol Atmosfera	45
3.3.2.2	Debu Jalanan dan Debu Pembinaan	49
3.3.2.3	Zarahan dari Jelaga Diesel dan Petrol	50
3.4	Penentuan Surfaktan	50
3.4.1	Kaedah Pengolahan Sampel	52
3.4.1	Penentuan Sebatian Aktif Metilena Biru (MBAS)	54
3.4.2.1	Penyediaan Larutan Reagen	55
3.4.2.2	Kaedah Pengekstrakan	56
3.4.2	Penentuan Sebatian Aktif Disulfina Biru (DBAS)	56
3.4.2.1	Penyediaan Larutan Reagen	58
3.4.2.2	Kaedah Pengekstrakan	58
3.5	Pencirian Surfaktan	59

3.5.1	Tegangan Permukaan	59
3.5.1.1	Tegangan Permukaan Berdasarkan Isipadu	60
3.5.1.2	Tegangan Permukaan Optik	61
3.5.2	Karbon Organik Terlarut (DOC)	62
3.5.3	Pendedahan kepada Ozon	62
3.5.4	Pendedahan kepada Sinar Ultra Lembayung	63
3.5.5	Spektrum Ultra Lembayung	63
3.6	Penentuan Komposisi Ionik	63
3.6.1	Prinsip Kromatografi Ion (IC)	63
3.6.2	Kaedah Pengolahan Sampel	64
3.6.3	Analisis Komposisi Ionik	64
3.7	Penentuan Alkil Benzena Linear Sulfonat (LAS)	65
3.7.1	Prinsip Kromatografi Cecair Berprestasi Tinggi (HPLC)	65
3.7.2	Kaedah Pengolahan Sampel	67
3.7.3	Analisis LAS	68
3.8	Analisis Data Sekunder	68
3.8.1	Data Kepadatan Trafik	68
3.8.2	Data Kualiti Udara	69
3.8.3	Data Meteorologi	69
3.9	Analisis Trajektori ke Belakang (HYSPLIT)	70
3.10	Analisis Serakan Angin	70
3.11	Analisis Statistik	70
3.11.1	Normaliti	71
3.11.2	Ujian-T Berpasangan	71
3.11.3	Analisis Varian (ANOVA)	71
3.11.4	Ujian Korelasi	71
3.11.5	Prinsip Komponen Utama (PCA)	72
3.11.6	Regresi Linear Berganda (MLR)	72
3.12	Kawalan Kualiti	73
3.12.1	Kawalan Kualiti Analisis Makmal	73
3.12.2	Had Pengesanan Kaedah (MDL)	74
3.12.3	Ujian Perolehan	75
3.13	Pengiraan Fluks Surfaktan	75
3.13.1	Fluks Surfaktan Daripada Pelbagai Sumber	76
3.13.2	Fluks Surfaktan Berdasarkan Latar Belakang Kawasan	77
3.14	Rumusan	78

BAB IV TABURAN SURFAKTAN DALAM AEROSOL 79

4.1 Pengenalan 79

4.2	Kepekatan Aerosol Atmosfera	79
4.3	Graf Kalibrasi Surfaktan Sebagai MBAS Dan DBAS	81
4.4	Taburan Surfaktan dalam Aerosol Atmosfera	82
4.4.1	Surfaktan dalam Aerosol Atmosfera di Kuala Lumpur	82
4.4.2	Hubungkait MBAS dan DBAS dengan Aerosol di Kuala Lumpur	85
4.4.3	Surfaktan dalam Aerosol Atmosfera di Bangi	87
4.4.4	Hubungkait MBAS dan DBAS dengan Aerosol di Bangi	88
4.4.5	Surfaktan dalam Aerosol Atmosfera di Tasik Chini (Kawalan)	91
4.5	Korelasi antara MBAS dan DBAS	93
4.6	Perbandingan Surfaktan Berdasarkan Lokasi	95
4.7	Perbandingan Surfaktan Berdasarkan Saiz Zarah	98
4.8	Perbandingan Surfaktan Ketika Hari Bekerja dan Hujung Minggu	99
4.9	Kesan Monsun terhadap Kepekatan Surfaktan	100
4.9.1	Keputusan Trajektori Ke Belakang (HYSPLIT)	101
4.9.1.1	Trajektori ke Belakang Ketika Monsun Barat Daya	101
4.9.1.2	Trajektori ke Belakang Ketika Monsun Timur Laut	103
4.10	Surfaktan Ketika Episod Jerebu di Malaysia	105
4.11	Rumusan	108
BAB V	PENCIRIAN SURFAKTAN DALAM AEROSOL	110
5.1	Pengenalan	110
5.2	Surfaktan dan Tegangan Permukaan	110
5.2.1	Tegangan Permukaan Berdasarkan Isipadu	111
5.2.2	Tegangan Permukaan Optik	112
5.3	Surfaktan dan Karbon Organik Terlarut (DOC)	115
5.4	Kesan Pendedahan Ozon terhadap Surfaktan	118
5.5	Kesan Pendedahan Sinar Ultra Lembayung (UV) terhadap Surfaktan	119
5.6	Spektrum Sinar Ultra Lembayung (UV)	120
5.7	Surfaktan dan Komposisi Ionik	120
5.7.1	Komposisi Ionik dalam Aerosol	120
5.7.2	Korelasi antara Komposisi Ionik dalam Aerosol	124
5.7.3	Korelasi antara Surfaktan dengan Komposisi Ionik	129
5.8	Surfaktan dan Bahan Pencemar Udara	131
5.8.1	Komposisi Bahan Pencemar Udara	131
5.8.2	Korelasi antara Surfaktan dengan Bahan Pencemar Udara	132
5.9	Surfaktan dan Faktor Meteorologi	134

5.9.1	Hubungan MBAS dengan Suhu	136
5.9.2	Hubungan MBAS dengan Kelembapan Relatif	136
5.9.3	Hubungan MBAS dengan Halaju Angin	136
5.10	Rumusan	137

BAB VI SUMBER SURFAKTAN DALAM AEROSOL 139

6.1	Pengenalan	139
6.2	Debu Jalanan	140
6.2.1	Komposisi Ionik bagi Sampel Debu Jalanan	142
6.3	Debu Pembinaan	144
6.4	Zarah Terampai dari Jelaga Kenderaan	145
6.4.1	Jelaga dari Ekzos Kenderaan Diesel	145
6.4.2	Jelaga dari Ekzos Kenderaan Petrol	147
6.5	Profil Sumber yang Mungkin bagi Surfaktan	149
6.6	Penentuan Alkil Benzena Linear Sulfonat (LAS)	151
6.6.1	Graf Kalibrasi LAS	152
6.6.2	Kepekatan LAS dalam Aerosol Atmosfera	153
6.6.3	Perkaitan LAS dan MBAS	155
6.7	Pengagihan Sumber Surfaktan	156
6.7.1	Pengagihan Sumber Surfaktan dalam Aerosol Di Kuala Lumpur	157
6.7.2	Pengagihan Sumber Surfaktan dalam Aerosol Di Bangi	162
6.8	Rumusan	167

BAB VII FLUKS SURFAKTAN 169

7.1	Pengenalan	169
7.2	Anggaran Fluks Surfaktan dari Pelbagai Sumber	170
7.2.1	Fluks MBAS bagi Sumber Semula Jadi	170
7.2.2	Fluks MBAS bagi Sumber Antropogenik	172
7.3	Anggaran Fluks Surfaktan Berdasarkan Kawasan	175
7.3	Rumusan	177

BAB VIII KESIMPULAN DAN CADANGAN 178

8.1	Kesimpulan	178
8.2	Implikasi Penyelidikan	181
8.4	Cadangan Penyelidikan akan Datang	182

RUJUKAN**184****LAMPIRAN**

A1	Data Kepekatan Aerosol Atmosfera di Kuala Lumpur	198
A2	Data Kepekatan Aerosol Atmosfera di Bangi	200
B1	Data Kepekatan MBAS di Kuala Lumpur	202
B2	Data Kepekatan DBAS di Kuala Lumpur	207
B3	Data Kepekatan MBAS di Bangi	211
B4	Data Kepekatan DBAS di Bangi	216
C1	Data Tegangan Permukaan Aerosol Mod Halus	221
C2	Data Tegangan Permukaan Aerosol Mod Kasar	223
D1	Data DOC Aerosol Mod Halus	225
D2	Data DOC Aerosol Mod Kasar	226
E1	Data Kepekatan Ionik Aerosol Mod Halus (Kuala Lumpur)	227
E2	Data Kepekatan Ionik Aerosol Mod Kasar (Kuala Lumpur)	228
E3	Data Kepekatan Ionik Aerosol Mod Halus (Bangi)	229
E4	Data Kepekatan Ionik Aerosol Mod Kasar (Bangi)	230
F	Data Bahan Pencemar Udara (ppm)	231
G	Data Alkil Benzena Linear Sulfonat (LAS)	233
H	Senarai Penerbitan dalam Jurnal	235
I	Senarai Prosiding yang Diterbitkan	236

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
2.1	Senarai jenis surfaktan yang digunakan secara komersil	19
3.1	Senarai Peralatan dan Radas	39
3.2	Pensampelan bagi aerosol atmosfera mengikut monsun di Malaysia	45
3.3	Taburan saiz zarah (µm) bagi <i>cascade impactor</i>	46
3.4	Bahan kimia yang digunakan bagi penentuan surfaktan	51
3.5	Spesifikasi instrumen Attension Theta	61
3.6	Spesifikasi alat penganalisis Thermalox TOC/TN bagi DOC	62
3.7	Tetapan alatan HPLC dalam analisis LAS	67
3.8	Nilai perolehan dan had pengesanan (MDL) bagi penentuan LAS	68
3.9	Butiran lokasi stesen kualiti udara yang terdekat	69
3.10	Fluks zarah bagi setiap sumber surfaktan dalam aerosol atmosfera	76
4.1	Kepekatan purata aerosol atmosfera di Kuala Lumpur dan Bangi	80
4.2	Ujian normaliti Kurtosis Kepencongan surfaktan Kuala Lumpur	82
4.3	Kepekatan purata MBAS dan DBAS di Kuala Lumpur	83
4.4	Kepekatan purata MBAS dan DBAS di Bangi	89
4.5	Purata kepekatan bagi aerosol dan surfaktan di Tasik Chini	92
4.6	Isipadu trafik pada 2010 bagi Kuala Lumpur dan Bangi	96
4.7	Perbandingan kepekatan MBAS berbanding kajian terdahulu	97
4.8	Kepekatan purata MBAS dan DBAS ketika episod jerebu 2013	106
5.1	Kepekatan DOC dalam sampel aerosol di Kuala Lumpur	116
5.2	Kepekatan MBAS sebelum dan selepas pendedahan kepada ozon	119
5.3	Kepekatan MBAS sebelum dan selepas pendedahan kepada sinar UV	120
5.4	Kepekatan purata anion dan kation di Kuala Lumpur	125
5.5	Kepekatan purata anion dan kation di Bangi	126

5.6	Korelasi antara komposisi ionik dalam aerosol mod halus	127
5.7	Korelasi antara komposisi ionik dalam aerosol mod kasar	128
5.8	Analisis deskriptif bagi bahan pencemar udara (ppm)	131
5.9	Pekali korelasi MBAS mod halus dengan bahan pencemar udara	132
5.10	Pekali korelasi MBAS mod kasar dengan bahan pencemar udara	134
5.11	Analisis deskriptif bagi data meteorologi ketika pensampelan (n=52)	135
5.12	Pekali korelasi MBAS mod halus dengan faktor meteorologi	135
5.13	Pekali korelasi MBAS mod kasar dengan faktor meteorologi	135
6.1	Komposisi ionik (mg g^{-1}) dalam sampel debu jalanan di Kuala Lumpur	143
6.2	Komposisi ionik (mg g^{-1}) dalam sampel debu jalanan di Bangi	143
6.3	Komposisi ionik (mg g^{-1}) dalam sampel debu pembinaan	145
6.4	Kepekatan purata MBAS dan DBAS dalam sampel jelaga diesel	146
6.5	Komposisi ionik (mg m^{-3}) bagi sampel jelaga diesel	147
6.6	Kepekatan purata MBAS dan DBAS dalam sampel jelaga petrol	148
6.7	Komposisi ionik (mg m^{-3}) bagi sampel jelaga petrol	148
6.8	Kepekatan LAS (ng m^{-3}) dan perbandingan dengan MBAS	153
6.9	Faktor bebanan menggunakan PCA di Kuala Lumpur	158
6.10	Faktor bebanan menggunakan PCA di Bangi	164
7.1	Kepekatan purata MBAS bagi sumber semula jadi	171
7.2	Kepekatan purata MBAS bagi sumber antropogenik	172
7.3	Fluks MBAS dalam aerosol atmosfera daripada pelbagai sumber	174
7.4	Fluks bagi surfaktan dalam aerosol atmosfera di ekosistem berbeza	176

UNIVERSITI PENDIDIKAN SULTAN IDRIS UNIVERSITI PENDIDIKAN SULTAN IDRIS UNIVERSITI PENDIDIKAN SULTAN IDRIS

SENARAI RAJAH

UNIVERSITI PENDIDIKAN SULTAN IDRIS UNIVERSITI PENDIDIKAN SULTAN IDRIS UNIVERSITI PENDIDIKAN SULTAN IDRIS

No. Rajah		Halaman
1.1	Carta Alir Penyelidikan	7
2.1	Proses pembentukan aerosol sekunder	12
2.2	Pengkelasan aerosol mengikut saiz zarah	13
2.3	Struktur molekul surfaktan	16
2.4	Sebatian surfaktan dalam larutan akues	16
2.5	Struktur molekul surfaktan bagi pengkelasan berbeza	17
2.6	Penggunaan surfaktan secara global	19
2.7	Penggunaan surfaktan LAS mengikut kawasan secara global	20
2.8	Daya tarikan molekul air	21
2.9	Keadaan titisan air yang berbeza tegangan permukaannya	22
2.10	Proses yang berlaku di permukaan laut yang mengandungi surfaktan	24
2.11	Proses penyejukan dan pemanasan bumi oleh awan albedo	27
2.12	Sistem pernafasan yang mengalami masalah asma brokial	28
3.1	Kedudukan stesen utama pensampelan (Kuala Lumpur dan Bangi)	41
3.2	Lokasi pensampelan di Kuala Lumpur (S1)	42
3.3	Lokasi pensampelan di Bangi, Selangor (S2)	43
3.4	Lokasi pensampelan di Tasik Chini, Pahang (S3)	44
3.5	Alat pensampelan udara berisipadu tinggi dan rajah skematiknya	47
3.6	Lukisan skematik <i>cascade impactor</i>	48
3.7	Proses pensampelan debu jalanan dan debu pembinaan	50
3.8	Ringkasan pengolahan sampel aerosol bagi tujuan penentuan surfaktan	53
3.9	Carta alir pengolahan sampel debu dan jelaga bagi penentuan surfaktan	54
3.10	Ringkasan kaedah penentuan MBAS	57

3.11	Ringkasan kaedah penentuan DBAS	59
3.12	Prinsip alat pengukur tegangan permukaan isipadu AL-20	60
3.13	Rajah skematik kromatografi ion (IC)	64
3.14	Rajah skematik HPLC	66
4.1	Graf kalibrasi bagi MBAS menggunakan larutan piawai SDS	81
4.2	Graf kalibrasi bagi DBAS menggunakan larutan piawai Zefiramina	81
4.3	Taburan kepekatan MBAS mod halus ($< 1.5\mu\text{m}$) di Kuala Lumpur	85
4.4	Taburan kepekatan DBAS mod halus ($< 1.5\mu\text{m}$) di Kuala Lumpur	86
4.5	Taburan kepekatan MBAS mod kasar ($> 1.5\mu\text{m}$) di Kuala Lumpur	86
4.6	Taburan kepekatan DBAS mod kasar ($> 1.5\mu\text{m}$) di Kuala Lumpur	87
4.7	Taburan kepekatan MBAS mod halus ($< 1.5\mu\text{m}$) di Bangi	90
4.8	Taburan kepekatan MBAS mod kasar ($> 1.5\mu\text{m}$) di Bangi	90
4.9	Taburan kepekatan DBAS mod halus ($< 1.5\mu\text{m}$) di Bangi	90
4.10	Taburan kepekatan DBAS mod kasar ($> 1.5\mu\text{m}$) di Bangi	91
4.11	MBAS dan DBAS bagi sampel aerosol Tasik Chini (kawalan)	92
4.12	Korelasi antara MBAS dan DBAS dalam mod halus di Kuala Lumpur	93
4.13	Korelasi antara MBAS dan DBAS dalam mod kasar di Kuala Lumpur	94
4.14	Korelasi antara MBAS dan DBAS dalam mod halus di Bangi	94
4.15	Korelasi antara MBAS dan DBAS dalam mod kasar di Bangi	95
4.16	Perbandingan MBAS bagi setiap monsun mengikut saiz zarah	98
4.17	Perbandingan DBAS bagi setiap monsun mengikut saiz zarah	99
4.18	Perbandingan MBAS pada hari bekerja dan hujung minggu	100
4.19	Trajektori ke belakang bagi Kuala Lumpur ketika Monsun Barat Daya	102
4.20	Trajektori ke belakang bagi Bangi ketika Monsun Barat Daya	103
4.21	Trajektori ke belakang bagi Kuala Lumpur ketika Monsun Timur Laut	104
4.22	Trajektori ke belakang bagi Bangi ketika Monsun Timur Laut	104
4.23	Perbandingan MBAS dan DBAS ketika episod jerebu 2013	106

4.24	Korelasi antara aerosol dan MBAS ketika episod jerebu 2013	107
4.25	Trajektori ke belakang bagi Bangi ketika episod jerebu 2013	108
5.1	Tegangan permukaan aerosol (mod halus)	111
5.2	Tegangan permukaan aerosol (mod kasar)	111
5.3	Perubahan tegangan permukaan aerosol mod halus (Kuala Lumpur)	113
5.4	Perubahan tegangan permukaan aerosol mod kasar (Kuala Lumpur)	114
5.5	Perubahan tegangan permukaan aerosol mod halus (Bangi)	114
5.6	Perubahan tegangan permukaan aerosol mod kasar (Bangi)	115
5.7	Korelasi antara MBAS dengan DOC (mod halus di Kuala Lumpur)	117
5.8	Korelasi antara MBAS dengan DOC (mod kasar di Kuala Lumpur)	117
5.9	Spektrum UV bagi ekstrak aerosol berbanding dengan asid humik	121
5.10	Kromatograf bagi anion menggunakan kromatografi ion	121
5.11	Kromatograf bagi kation menggunakan kromatografi ion	122
5.12	Graf kalibrasi komposisi anion major (IC Metrohm)	122
5.13	Graf kalibrasi komposisi kation major (IC Dionex)	123
5.14	Korelasi antara MBAS dengan NO_3^- dalam aerosol mod halus	130
5.15	Korelasi antara MBAS dengan SO_4^{2-} dalam aerosol mod halus	130
5.16	Korelasi antara MBAS dengan K^+ dalam aerosol mod kasar	130
5.17	Korelasi antara MBAS dengan SO_4^{2-} dalam aerosol mod kasar	131
6.1	Kepekatan purata MBAS dan DBAS dalam debu jalanan Kuala Lumpur	141
6.2	Kepekatan purata MBAS dan DBAS dalam debu jalanan Bangi	142
6.3	Kepekatan purata MBAS dan DBAS dalam debu pembinaan	144
6.4	Profil sumber bagi aerosol atmosfera berdasarkan komposisi ionik	150
6.5	Regresi lurus antara aerosol mod halus dengan jelaga diesel	151
6.6	Regresi lurus antara aerosol mod halus dengan jelaga petrol	151
6.7	Graf kalibrasi bagi C_{10-13} LAS	152
6.8	Kromatograf bagi LAS berkepekatan 100 ppb	152

6.9	Perbandingan LAS dalam aerosol atmosfera di Kuala Lumpur	154
6.10	Perbandingan LAS dalam aerosol atmosfera di Bangi	154
6.11	Hubungan antara LAS dan MBAS dalam aerosol mod halus	155
6.12	Hubungan antara LAS dan MBAS dalam aerosol mod kasar	156
6.13	Nilai Eigen dan varian kumulatif aerosol mod halus di Kuala Lumpur	157
6.14	Nilai Eigen dan varian kumulatif aerosol mod kasar di Kuala Lumpur	157
6.15	Pembahagian sumber MBAS dalam mod halus di Kuala Lumpur	160
6.16	Pembahagian sumber DBAS dalam mod halus di Kuala Lumpur	160
6.17	Pembahagian sumber MBAS dalam mod kasar di Kuala Lumpur	161
6.18	Pembahagian sumber DBAS dalam mod kasar di Kuala Lumpur	161
6.19	Nilai Eigen dan varian kumulatif aerosol mod halus di Bangi	162
6.20	Nilai Eigen dan varian kumulatif aerosol mod kasar di Bangi	163
6.21	Pembahagian sumber bagi MBAS dalam mod halus di Bangi	165
6.22	Pembahagian sumber bagi DBAS dalam mod halus di Bangi	165
6.23	Pembahagian sumber bagi MBAS dalam mod kasar di Bangi	166
6.24	Pembahagian sumber bagi DBAS dalam mod kasar di Bangi	166

SENARAI SIMBOL DAN UNIT

g	gram
mg	miligram
ml	mililiter
mg L ⁻¹	miligram per liter
nm	nanometer
μM	mikromolar
M	molar
μmol g ⁻¹	mikromol per gram
μmol L ⁻¹	mikromol per liter
pmol m ⁻³	pikomol per meter padu
Mmol tahun ⁻¹	megamol per tahun
Tmol tahun ⁻¹	teramol per tahun
MBAS	methylene blue active substance
DBAS	disulphine blue active substance
HULIS	humic like substance
CCN	cloud condensation nuclei
VOC	volatile organic carbon
SML	surface microlayer
DOC	dissolved organic carbon
LAS	alkil benzena linear sulfonat
ppm	part per million
ppb	part per billion

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Bab ini merupakan bab pendahuluan bagi tesis ini yang menjelaskan perkara-perkara asas yang penting serta konsep reka bentuk penyelidikan. Bab ini akan menerangkan tentang latar belakang penyelidikan, rasional dan kepentingan penyelidikan serta matlamat dan objektif. Selain itu, kerangka penuh konseptual dan penulisan tesis dari Bab I hingga Bab VIII juga akan turut diperjelaskan dalam bab ini.

1.2 LATAR BELAKANG PENYELIDIKAN

Fenomena pencemaran udara sering diperkatakan dewasa ini seiring dengan pembangunan pesat yang berlaku di dunia. Aktiviti manusia secara global dalam persekitaran yang pesat membangun telah mempengaruhi kualiti udara dan perubahan iklim. Pertumbuhan penduduk yang pesat dan peningkatan permintaan tenaga adalah punca utama yang menyebabkan gas rumah hijau serta kuantiti pencemar yang berbahaya semakin meningkat dari semasa ke semasa. Masalah pencemaran udara adalah masalah utama yang dihadapi oleh kebanyakan bandar khususnya di negara-negara membangun. Organisasi Kesihatan Sedunia (WHO) mendapati bahawa pencemaran udara adalah risiko alam sekitar yang utama kepada kesihatan, di mana kira-kira dua juta kelahiran pra-matang berlaku dalam setahun disebabkan pencemaran udara (World Health Organization 2006). Salah satu bahan pencemar udara yang berbahaya kepada persekitaran dan kesihatan manusia adalah aerosol.

Aerosol adalah kombinasi kompleks partikel, wap air serta gas yang terampai di atmosfera. Aerosol atmosfera terbentuk daripada sumber-sumber semulajadi seperti debu angin, sumber dari laut, gunung berapi serta dari sumber-sumber antropogenik seperti pembakaran biojisim dan bahan api (Seinfeld & Pandis 1998). Aerosol atmosfera terbentuk secara langsung sebagai zarah (aerosol primer) atau terbentuk di atmosfera melalui proses penukaran dari fasa gas ke fasa zarah (aerosol sekunder). Pada kepekatan yang tinggi, aerosol mampu mengganggu penglihatan dan berbahaya kepada kesihatan manusia. Aerosol atmosfera dipercayai mampu mempengaruhi perubahan iklim bumi secara langsung dan tidak langsung melalui peranannya sebagai agen nukleas pemeluwapan awan (Svenningsson et al. 1992; Kulmala et al. 1996). Pada dasarnya, awan yang mengandungi zarah aerosol yang rendah serta titisan awan yang bersaiz besar boleh menyebabkan tidak berlakunya penyerakan cahaya dengan sempurna. Cahaya matahari dapat menembusi awan dan mengenai permukaan bumi serta mampu menyebabkan pemanasan global berlaku. Sebaliknya, zarah aerosol yang tinggi di dalam awan menggalakkan pembentukan awan bersaiz lebih kecil. Fenomena ini mampu menyebabkan 90% pantulan radiasi solar berlaku sekaligus menghalang pemanasan bumi berlaku (Facchini et al. 1999). Oleh itu, zarah aerosol penting untuk dikaji atas pengaruhnya terhadap iklim global.

Sebatian aktif permukaan (*surface active substance*) atau surfaktan adalah salah satu bahan organik di dalam aerosol atmosfera yang dipercayai mampu mempengaruhi iklim global melalui kesannya terhadap proses pembentukan awan (Facchini et al. 1999; Latif 2006). Molekul surfaktan secara asasnya mempunyai hujung yang berbeza iaitu sifat kumpulan hidrofilik dan hidrofobik, serta menunjukkan ciri-ciri amfilik pada surfaktan (Desai & Banat 1997; Myers 2006). Komposisi surfaktan boleh dikategorikan sebagai anionik, kationik dan bukan ionik berdasarkan ciri-ciri kumpulan polarnya (Schramm 2000; Latif 2006). Sifat ini menyebabkan surfaktan mampu menjerap pada permukaan dan antara permukaan sesuatu bahan. Menurut Kiss et al. (2005), surfaktan juga merupakan agen pelarut di dalam partikel aerosol.

Kajian awal menunjukkan bahawa kehadiran surfaktan dalam aerosol atmosfera berpotensi mempengaruhi iklim global melalui keupayaannya untuk mengurangkan ketegangan permukaan yang seterusnya memberi kesan kepada sifat-sifat fizikal titisan awan serta membawa kepada peningkatan awan albedo (Facchini et al. 2001; Sukhapan & Brimblecombe 2002; Vejrurp & Wolkoff 2002). Tambahan pula, surfaktan boleh meningkatkan kebolehlarutan komposisi aerosol (Kiss et al. 2005; Frka et al. 2012). Dari segi kesihatan, surfaktan boleh menjejaskan kestabilan lendir dalam membran yang boleh menyebabkan asma dan alergi (Cserhati et al. 2002; Zimmer et al. 2002) dan juga dapat mengurangkan ketegangan permukaan dalam mata, menyebabkan kerengsaan dan kekeringan mata (Vejrup & Wolkoff 2002).

Oleh kerana surfaktan dikatakan memberi kesan negatif kepada persekitaran dan kesihatan, adalah penting untuk mengkaji sumber yang mungkin bagi surfaktan. Kenderaan bermotor telah dijangka menjadi sumber utama aerosol dalam atmosfera kerana aktiviti pemandaran, pertumbuhan ekonomi yang pesat dan peningkatan penduduk telah menyebabkan peningkatan dalam jumlah trafik di negara-negara membangun (Colville et al. 2001). Memandangkan surfaktan digunakan secara meluas dalam minyak pelincir dan bahan api diesel, surfaktan dalam aerosol atmosfera mungkin berasal daripada penggunaan kenderaan bermotor (Jao & Passut 2009). Walau bagaimanapun, sumber-sumber lain seperti industri, pembakaran biojisim, debu jalan dan pembinaan juga boleh meningkatkan tahap surfaktan dalam atmosfera (Facchini et al. 1999; Srivastava et al. 2008; Viana et al. 2008). Pengaruh angin beserta lain-lain faktor meteorologi juga mampu menyebarkan aerosol yang mengandungi molekul surfaktan dari permukaan lautan, walaupun pada jarak yang jauh (Roslan et al. 2010; Becagli et al. 2011).

Terdapat banyak kajian telah dijalankan mengenai penentuan dan pembahagian sumber aerosol oleh para penyelidik kualiti udara di serata dunia. Dengan menggunakan pelbagai teknik seperti analisis komponen utama (PCA), analisis faktor (FA), analisis regresi linear berganda (MLR), keseimbangan jisim kimia (CMB) dan juga gabungan kaedah-kaedah ini, pembahagian sumber sesuatu pencemar boleh diramalkan (Gupta et al. 2006; Srivastava et al. 2008; Mansha et al. 2012). Walau bagaimanapun, penyelidikan mengenai surfaktan anionik dan kationik

dalam aerosol atmosfera terutamanya di kawasan tropika masih belum dikaji dengan mendalam.

Atas dasar tersebut, penyelidikan ini dijalankan bagi mengkaji komposisi, ciri-ciri dan pembahagian sumber bagi surfaktan dalam aerosol atmosfera. Dengan kepesatan pembangunan masa kini, tahap pencemaran udara semakin meningkat dan menyebabkan tahap surfaktan dalam aerosol atmosfera telah bertambah. Keadaan ini amat membimbangkan kerana tanpa disedari pembangunan pesat di Malaysia khususnya di kawasan perbandaran telah menjana kepada fenomena pencemaran udara yang semakin kritikal dan menyebabkan berlakunya perubahan iklim.

1.3 RASIONAL DAN KEPENTINGAN PENYELIDIKAN

Seiring dengan pembangunan yang semakin pesat di Malaysia, penyelidikan yang menjurus kepada pencemaran udara semakin diberi perhatian oleh semua pihak. Walau bagaimanapun, penyelidikan mengenai surfaktan masih kurang dijalankan dalam bidang penyelidikan kualiti dan pencemaran udara khususnya di negara-negara beriklim tropika. Selain mampu mempengaruhi perubahan iklim, dari aspek kesihatan, surfaktan juga mampu mengurangkan tegangan permukaan pada lapisan tipis dalam mata manusia (Vejrup & Wolkoff 2002). Surfaktan juga mampu mengurangkan kestabilan membran mukus pada sistem pernafasan, justeru menyebabkan berlakunya masalah alahan dan asma (Zimmer et al. 2002). Oleh itu, penyelidikan ini wajar dilakukan bagi membantu mengelakkan masalah alam sekitar yang lebih serius dan menjamin kualiti hidup yang lebih baik bagi penduduk di Malaysia.

Melalui penyelidikan ini, kepekatan surfaktan khususnya bagi kawasan bandar dan separa bandar di Malaysia boleh dikenal pasti. Keistimewaan kajian ini adalah ia turut memfokuskan kepada mengenal pasti ciri-ciri surfaktan dan mengkaji sumber surfaktan di aerosol atmosfera yang masih kurang dilakukan oleh penyelidik kimia atmosfera di rantau ini. Kebanyakan penyelidik aerosol atmosfera lebih memfokuskan kepada mengkaji kepekatan surfaktan khususnya dalam ekosistem marin. Walau bagaimanapun, penyelidikan ini turut membandingkan kesan daripada perubahan monsun di Malaysia terhadap kepekatan dan ciri-ciri surfaktan. Satu kajian kes

berkaitan dengan masalah jerebu di Malaysia turut dikaji dengan terperinci di dalam penyelidikan ini memandangkan masalah jerebu telah menjadi satu isu yang serius di Malaysia setiap tahun.

Hasil dapatan kajian ini juga dapat memberi sumbangan sebagai rujukan para penyelidik kimia atmosfera dalam kajian terhadap surfaktan selain dapat membantu pihak kerajaan dan agensi-agensi swasta dalam mengurangkan risiko pencemaran udara di Malaysia. Lokasi kajian yang dipilih juga bersesuaian kerana kawasan bandar dan separa bandar adalah antara kawasan yang menghadapi ancaman pencemaran udara yang agak kritikal di Malaysia. Justeru, penyelidikan ini mampu menjadi pemangkin kepada persekitaran yang bersih dan masyarakat Malaysia yang lebih sihat pada masa akan datang.

1.4 OBJEKTIF PENYELIDIKAN

Penyelidikan yang dijalankan ini mempunyai empat objektif iaitu:

- i. Menentukan komposisi dan taburan surfaktan dalam aerosol atmosfera daripada sampel yang diambil dari persekitaran berbeza.
 - Kajian adalah tertumpu kepada kawasan bandar dan separa bandar bagi melihat kesan latar belakang kawasan tersebut terhadap kepekatan surfaktan. Selain itu perbandingan juga dijalankan terhadap kawasan luar bandar sebagai sampel kawalan. Komposisi surfaktan anionik dan surfaktan kationik diperolehi serta dibandingkan mengikut monsun yang berbeza di Malaysia yang mengalami iklim tropika. Selain itu, komposisi surfaktan dalam aerosol atmosfera ketika episod jerebu juga dikaji dalam kajian ini.
- ii. Menentukan ciri-ciri surfaktan dan kesan faktor meteorologi terhadap kepekatan surfaktan dalam aerosol atmosfera.
 - Kajian ini turut membincangkan ciri-ciri seperti perkaitan surfaktan dengan sinar ultra lembayung, perkaitan dengan ozon, tegangan permukaan, perkaitan dengan karbon organik terlarut (DOC) dan

keasidan. Hubungkait surfaktan dengan gas pencemar udara juga dikaji. Selain itu, analisis statistik turut dijalankan bagi melihat kesan faktor meteorologi seperti kelembapan, suhu, kelajuan angin dan arah angin terhadap kepekatan surfaktan dalam aerosol atmosfera.

iii. Mengenalpasti sumber-sumber yang mungkin bagi surfaktan dalam aerosol atmosfera.

- Sumber-sumber yang mungkin bagi surfaktan dalam aerosol atmosfera diperolehi dengan kaedah statistik analisis komponen utama (PCA) dan regresi linear berganda (MLR) menggunakan data komposisi ionik aerosol. Selain itu, bagi menyokong keputusan ini, beberapa sampel dari jelaga diesel, jelaga petrol, debu jalanan dan debu pembinaan turut dianalisis.

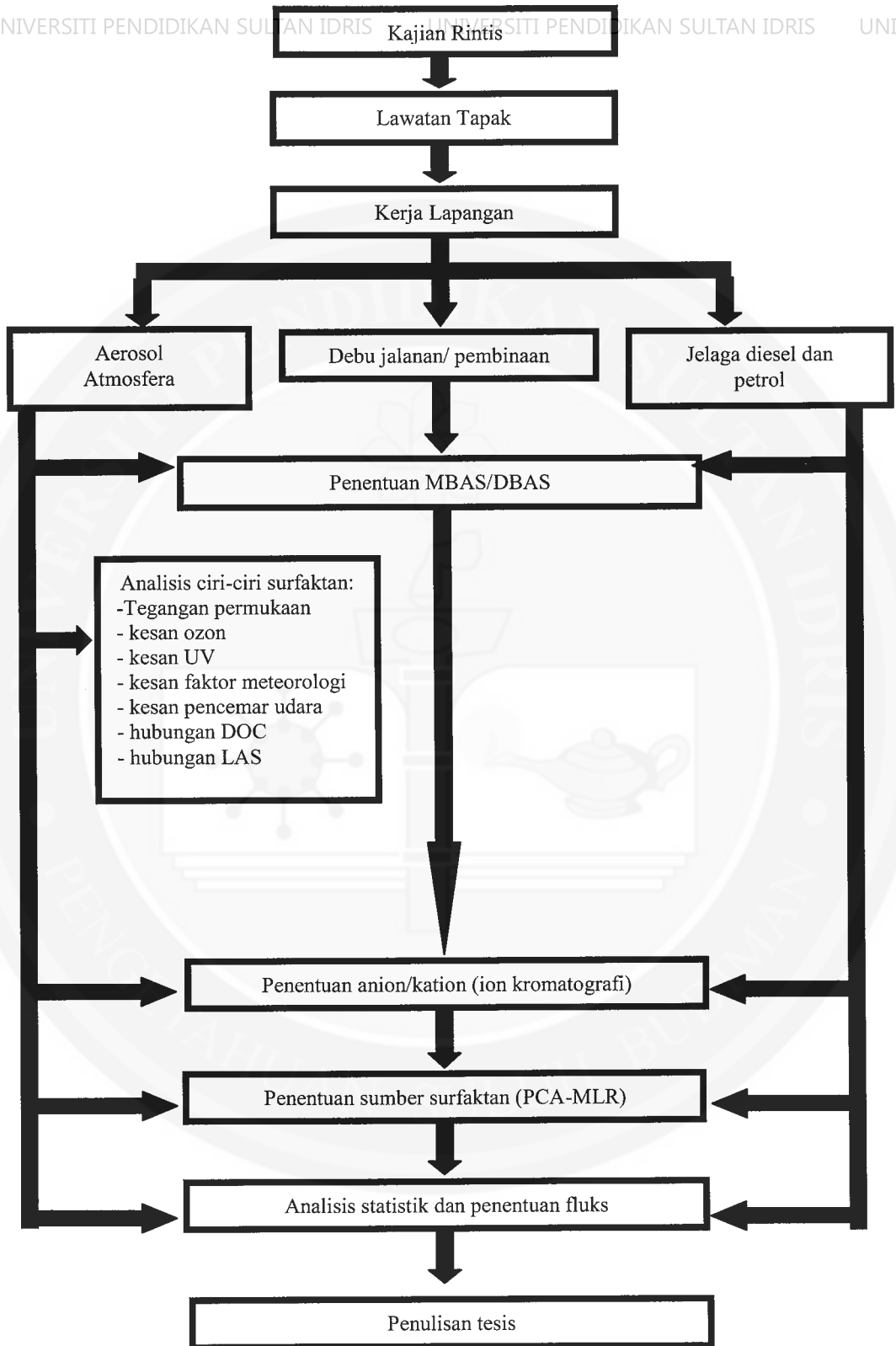
iv. Menganggar fluks surfaktan dalam aerosol atmosfera

- Pengiraan fluks dijalankan bagi melihat anggaran penyebaran MBAS dari sumber berbeza dan anggaran jumlah fluks bagi ekosistem berbeza. Satu model ringkas telah digunakan bagi tujuan ini.

1.5 KERANGKA KONSEPTUAL DAN PENULISAN TESIS

Penyelidikan ini dilakukan melalui beberapa peringkat iaitu kajian rintis, lawatan tapak, kerja lapangan, kerja makmal, analisis data makmal, analisis statistik, pengiraan fluks dan penulisan tesis. Carta alir penyelidikan ini diringkaskan dalam Rajah 1.1.

Penulisan tesis penyelidikan ini merangkumi lapan bab yang menerangkan tentang terperinci mengenai keseluruhan penyelidikan. Bab I merupakan pendahuluan yang menerangkan tentang asas penyelidikan yang dijalankan. Dalam bab ini dibincangkan tentang kesan-kesan aerosol dan surfaktan dalam aerosol atmosfera serta faktor-faktor yang mempengaruhi kepekatan aerosol tersebut. Ia turut membincangkan rasional dan kepentingan serta objektif penyelidikan yang dijalankan.



Rajah 1.1 Carta Alir Penyelidikan

Bab II pula merangkumi keseluruhan ulasan kepustakaan. Dalam bab ini akan diterangkan secara terperinci mengenai aerosol atmosfera, ciri-ciri dan sumber aerosol, sifat-sifat fizikal dan kimia aerosol serta perkaitan aerosol dengan perubahan iklim (awan albedo). Penerangan lengkap mengenai surfaktan iaitu jenis-jenis surfaktan, sifat dan kesan surfaktan turut dibincangkan. Komposisi kimia dalam aerosol (komposisi ionik) turut dikupas dalam bab ini. Ulasan mengenai kajian-kajian lepas berkaitan aerosol dan surfaktan di dalam dan luar negara turut dibincangkan. Kupasan mengenai fenomena jerebu serta faktor-faktor meteorologi dan perubahan monsun juga turut diselitkan dalam bab ini.

Bab III merangkumi keseluruhan bahan dan kaedah yang digunakan sepanjang penyelidikan ini. Dimulakan dengan penerangan mengenai lokasi kajian, bab ini seterusnya mengupas mengenai proses-proses yang diambil ketika lawatan tapak, kajian percubaan dan proses ketika pensampelan sebenar dilakukan. Seterusnya bab ini membincangkan mengenai pengolahan sampel yang melibatkan beberapa proses yang berbeza mengikut sampel dan analisis yang dijalankan. Proses kawalan kualiti turut diselitkan dalam bab ini. Seterusnya, keseluruhan prosedur analisis makmal yang dijalankan turut dibincangkan dengan terperinci. Prinsip alatan yang digunakan dan analisis statistik juga diterangkan dengan mendalam dalam bab ini. Bab IV merupakan bab hasil dan perbincangan yang pertama di dalam tesis ini. Ia melibatkan hasil dapatan dari analisis taburan surfaktan dalam aerosol atmosfera. Dalam bab ini, perbandingan mengikut jenis surfaktan iaitu anionik dan kationik, perbandingan mengikut monsun iaitu Barat daya, Timur laut dan peralihan antara monsun, perbandingan antara kawasan kajian dan perbandingan antara aerosol kasar dan halus telah dibincangkan.

Bab V pula merupakan bab hasil dan perbincangan yang berfokus kepada pencirian surfaktan dalam aerosol atmosfera. Bab ini membincangkan dengan terperinci sifat-sifat surfaktan seperti perkaitan surfaktan dengan tegangan permukaan, spektrum sinar ultra lembayung, kesan pendedahan sinar ultra lembayung kepada surfaktan, kesan pendedahan ozon, perkaitan surfaktan dengan kandungan karbon organik terlarut, perkaitan antara surfaktan dengan komposisi ionik, serta korelasi surfaktan dengan gas pencemar udara dan faktor meteorologi. Bab VI pula merupakan