

**PEMODELAN KEPEKATAN PM₁₀ DI EMPAT BULATAN UTAMA DI
BANDARAYA KOTA KINABALU**

SUHAIDA BT ABDULLAH

**DISERTASI INI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI SEBAHAGIAN
DARIPADA SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH SARJANA SAINS
DENGAN KEPUJIAN**

**PROGRAM SAINS SEKITARAN
SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH**

March 2005



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS@

JUDUL: PEMODELAN KEPEKATAN PM16 DI EUPAT BULATAN

UTAMA DI BANDARAYA KOTA KINABALU

IJAZAH: SARJANA MUDA DENGAN KEPUIJIAN (SAINS SEKITARAN)

SESI PENGAJIAN: 2002 / 2005

Saya SUHAIDA BT. ABDULLAH

(HURUF BESAR)

mengaku membenarkan tesis (LPS/Sarjana/Doktor Falsafah)* ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:

1. Tesis adalah hak milik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sabaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. **Sila tandakan (/)

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

TIDAK TERHAD

Disahkan oleh

(TANDATANGAN PENULIS)

(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Nama Penyelia

Alamat Tetap: 7A, LORONG
AIR PUTIH, 05050 ALOR SETAR
KEDAH.

Tarikh: 23/03/05

Tarikh: _____

CATATAN: * Potong yang tidak berkenaan.

** Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu diklasaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

@ Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan, atau disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).



PENGAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah dijelaskan sumbernya.

25 Februari 2004



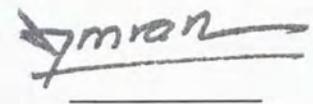
SUHAIDA BT ABDULLAH
HS2002-3927



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGAKUAN PEMERIKSA**DIPERAKUKAN OLEH**

Tandatangan

**1. PENYELIA
(EN JUSTIN SENTIAN)****2. PEMERIKSA-1
(CIK KAMSIA BUDIN)****3. PEMERIKSA-2
(CIK FARRAH ANIS FAZLIATUL ADNAN)****4. DEKAN
(PROFESOR MADYA DR. AMRAN AHMED)****UMS**
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGHARGAAN

Assalamualaikum.....

Alhamdulillah, syukur ke hadrat Allah s.w.t kerana dengan limpah kurnia-Nya saya dapat menyiapkan disertasi untuk memenuhi keperluan pengurniaan Ijazah Sarjana Muda Sains dengan Kepujian dalam bidang Sains Sekitaran bagi sessi 2005.

Di kesempatan ini, saya ingin mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan kepada En Justin Sentian selaku penyelia projek ini yang telah banyak memberi bimbingan dan tunjuk ajar serta idea-idea dalam melaksanakan projek ini. Ribuan terima kasih diucapkan kepada para pensyarah yang memberi kerjasama dan dorongan kepada saya. Tidak lupa kepada pihak Dewan Bandaraya Kota Kinabalu (DBKK), Jabatan Pengangkutan Jalan (JPJ) dan Jabatan Perkhidmatan Kaji Cuaca Sabah. Data-data statistik yang diperolehi daripada agensi-agensi tersebut banyak membantu dalam menyiapkan disertasi ini.

Kepada rakan-rakan seperjuangan Erna, Khalilah, Adzimah, dan Fitra, terima kasih di atas sokongan, dorongan dan bantuan yang diberikan. Untuk keluarga tersayang dan Zulrolfaizal, setinggi-tinggi terima kasih untuk segala dorongan serta bantuan yang diberikan sepanjang pengajian saya di Universiti Malaysia Sabah.

Wassalam.

Sekian, terima kasih.

Suhaida bt Abdullah
Program Sains Sekitaran
Universiti Malaysia Sabah



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

ABSTRAK

Kajian ini telah dijalankan untuk memodelkan kepekatan PM₁₀ bagi tahun 2014 bagi empat bulatan utama di Bandaraya Kota Kinabalu Sabah iaitu di Bulatan Kingfisher, Bulatan Bandaraya, Likas Square dan Bulatan Pelabuhan. Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan perisian model computer penyebaran versi 2.0, CAL3QHC. Daripada korelasi Pearson yang dijalankan, ramalan kepekatan PM₁₀ pada tahun 2004 mempunyai korelasi yang baik iaitu ($r = 0.696$, $p < 0.05$) dengan nilai kepekatan PM₁₀ yang diukur di lapangan bagi keempat-empat bulatan utama tersebut. Hasil pemodelan menunjukkan paras maksimum kepekatan PM₁₀ pada tahun 2004 yang dicatatkan bagi Bulatan Kingfisher adalah sebanyak $128 \mu\text{gm}^{-3}$, Bulatan Bandaraya $216 \mu\text{gm}^{-3}$, Likas Square $104.4 \mu\text{gm}^{-3}$ dan Bulatan Pelabuhan sebanyak $244.4 \mu\text{gm}^{-3}$ manakala menjelang tahun 2014, kesemua kawasan kajian mengalami peningkatan dengan masing-masing mencatatkan nilai sebanyak $145 \mu\text{gm}^{-3}$, $214 \mu\text{gm}^{-3}$, $133.2 \mu\text{gm}^{-3}$ dan $254 \mu\text{gm}^{-3}$. Peratusan peningkatan tertinggi dicatatkan di Likas Square iaitu sebanyak 27.6 %. Penerima sensitif keempat-empat kawasan kajian ini menerima purata kepekatan yang masih lagi rendah iaitu di antara $10.4 \mu\text{gm}^{-3}$ hingga ke $150 \mu\text{gm}^{-3}$ (purata 24 jam) iaitu di bawah nilai $150 \mu\text{gm}^{-3}$ yang ditetapkan oleh *Malaysian Ambient Air Quality Guideline*.

PM₁₀ MODELLING AT FOUR MAIN ROUNDABOUTS IN KOTA KINABALU CITY.

ABSTRACT

PM₁₀ modelling study for the year 2014 was carried out at four main roundabouts in Kota Kinabalu Sabah by using dispersion model software CAL3QHC version 2.0. The predicted concentration of PM₁₀ in the year 2004 have shown a good correlation ($r=0.696$, $p<0.05$) with the measured concentration of PM₁₀. From the 2004 modelling result, the maximum concentration of PM₁₀ at four roundabouts were 128 μgm^{-3} , (Kingfisher), 216 μgm^{-3} (Bandaraya), 104.4 μgm^{-3} (Likas Square) and 244.4 μgm^{-3} (Pelabuhan) meanwhile for the year 2014, all the four roundabouts have shown the increased concentrations to 145 μgm^{-3} (Kingfisher), 214 μgm^{-3} (Bandaraya), 133.2 μgm^{-3} (Likas Square) and 254 μgm^{-3} (Pelabuhan). The highest percentage of increase was observed at Likas Square roundabout (27.6 %). Sensitive receivers for these four study area still receive low average of concentration that is between 10.4 μgm^{-3} to 150 μgm^{-3} (24-hours), below the value of 150 μgm^{-3} which fixed by the Malaysia Ambient Air Quality Standard.



KANDUNGAN

	HALAMAN
PENGAKUAN	ii
PENGAKUAN PEMERIKSA	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
SENARAI KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	x
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI FOTO	xii
SENARAI LAMPIRAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 PENGENALAN	1
1.2 OBJEKTIF	4
BAB 2 ULASAN PERPUSTAKAAN	
2.1 ZARAHAN TERAMPAI	5
2.1.1 Zarahan Terampai (TSP)	5
2.1.2 Zarahan Terampai Logam	7
2.1.3 Zarahan Terampai Radioaktif	9
2.2 BENTUK DAN SAIZ ZARAHAN TERAMPAI	10
2.3 CIRI-CIRI ZARAHAN TERAMPAI	13
2.4 PUNCA SERTA PENGARUH ZARAHAN TERAMPAI	14
2.4.1 Punca dari Kenderaan	15
2.4.2 Punca dari Industri	16
2.4.3 Punca dari Pembakaran	18
2.4.4 Punca Semulajadi	19
2.5 KESAN ZARAHAN TERAMPAI	19
2.5.1 Kesan terhadap Manusia	19
2.5.2 Kesan terhadap Tumbuhan dan Haiwan	21



2.5.3 Kesan terhadap Harta Benda	22
2.5.4 Kesan terhadap Atmosfera	23
2.6 GOLONGAN BERISIKO TERHADAP ZARAHAN TERAMPALI	25
2.7 PIAWAIAN KUALITI UDARA	26
2.7.1 Indek Pencemar Udara	27
2.7.2 Garis Panduan Kualiti Udara Ambient Malaysia	27
2.8 PERMODELAN UDARA	28
2.8.1 Permodelan Kualiti Udara	28
2.8.2 Model CAL3QHC	29
BAB 3 BAHAN DAN KAEDEAH	
3.1 KAWASAN KAJIAN	32
3.2 BAHAN PENCEMAR	32
3.3 PROSEDUR PEMODELAN	32
3.3.1 Prosedur Pertama	32
3.3.2 Prosedur Dua	33
3.3.3 Prosedur Tiga :Pemprosesan dan Analisis Data	35
3.3.4 Prosedur Empat : Analisis Statistik	35
3.3.5 Prosedur Lima : Ramalan untuk masa Hadapan	35
BAB 4 KEPUTUSAN DAN ANALISIS DATA	
4.1 DATA METEOROLOGIKAL	36
4.2 BILANGAN KENDERAAN	37
4.3 OUTPUT PEMODELAN 2004	38
4.3.1 Bulatan Kingfisher	39
4.3.2 Bulatan Bandaraya	41
4.3.3 Likas Square	43
4.3.4 Bulatan Pelabuhan	45
4.4 PENGESAHAN OUTPUT PEMODELAN	47
4.5 KORELASI ANTARA KEPEKATAN PM ₁₀ DENGAN BILANGAN KENDERAAN	48
4.6 OUTPUT PEMODELAN 2014	49
4.6.1 Bulatan Kingfisher	49
4.6.2 Bulatan Bandaraya	51

4.6.3 Likas Square	53
4.6.4 Bulatan Pelabuhan	55
4.7 PERBANDINGAN PARAS KEPEKATAN PM ₁₀ BAGI TAHUN 2004 DAN 2014.	57
BAB 5 PERBINCANGAN	
5.1 OUTPUT PEMODELAN	59
5.2 PENERIMA	62
BAB 6 KESIMPULAN	
RUJUKAN	67
LAMPIRAN	70

SENARAI JADUAL

No Jadual	Halaman
2.1 Zarahan Terampai mengikut Saiz	12
2.2 Indeks Pencemar Udara di Malaysia	26
2.3 Garis Panduan Kualiti Udara Ambient Malaysia	27
4.1 Bilangan kenderaan bagi kawasan kajian untuk tahun 2004 dan 2014	38
4.2 Ringkasan output pemodelan di Bulatan Kingfisher bagi tahun 2004	40
4.3 Ringkasan output pemodelan di Bulatan Bulatan Bandaraya bagi tahun 2004	42
4.4 Ringkasan output pemodelan di Likas Squre bagi tahun 2004	44
4.5 Ringkasan output pemodelan di Bulatan Pelabuhan bagi tahun 2004	46
4.6 Nilai Korelasi antara data pengukuran dan data pemodelan bagi kawasan kajian.	47
4.7 Ringkasan output pemodelan di Bulatan Kingfisher bagi tahun 2014	50
4.8 Ringkasan output pemodelan di Bulatan Bandaraya bagi tahun 2014	52
4.9 Ringkasan output pemodelan di Likas Squre bagi tahun 2014	54
4.10 Ringkasan output pemodelan di Bulatan Pelabuhan bagi tahun 2014	56



SENARAI RAJAH

No Rajah	Halaman
4.1 <i>Wind Rose</i> bagi Bandaraya Kota Kinabalu dari tahun 1992-2001	37
4.2 Kontur Paras Kepekatan PM ₁₀ (purata 1-jam) bagi Bulatan Kingfisher pada tahun 2004	40
4.3 Kontur Paras Kepekatan PM ₁₀ (purata 1-jam) bagi Bulatan Bandaraya pada tahun 2004	42
4.4 Kontur Paras Kepekatan PM ₁₀ (purata 1-jam) bagi Likas Square pada tahun 2004.	44
4.5 Kontur Paras Kepekatan PM ₁₀ (purata 1-jam) bagi Bulatan Pelabuhan pada tahun 2004	46
4.6 Korelasi di antara kepekatan PM ₁₀ dengan bilangan kenderaan di semua kawasan kajian pada tahun 2004.	48
4.7 Kontur Paras Kepekatan PM ₁₀ (purata 1-jam) bagi Bulatan Kingfisher pada tahun 2014.	50
4.8 Kontur Paras Kepekatan PM ₁₀ (purata 1-jam) bagi Bulatan Bandaraya pada tahun 2014.	52
4.9 Kontur Paras Kepekatan PM ₁₀ (purata 1-jam) bagi Likas Square pada tahun 2014.	54
4.10 Kontur Paras Kepekatan PM ₁₀ (purata 1-jam) bagi Bulatan Pelabuhan pada tahun 2014.	56
4.11 Nilai maksimum paras kepekatan PM ₁₀ bagi setiap kawasan kajian pada tahun 2004 dan 2014	58

SENARAI SIMBOL

%	peratus
g	gram
m	meter
km	kilometer
ppm	bahagian per juta
μgm^{-3}	mikrogram per meter padu
ms^{-1}	meter per saat
cms^{-1}	sentimeter per saat
μm	mikrometer
mph	meter per jam
j	jam
m	minit
s	saat
°	darjah Celcius
vehhr^{-1}	kenderaan per jam
$\text{gveh}^{-1}\text{mi}^{-1}$	gram per kenderaan per batu
$\text{gveh}^{-1}\text{hr}^{-1}$	gram per kenderaan per jam
=	sama dengan
<	kurang daripada
>	lebih daripada
REC	Penerima (RESEPTOR)
JAS	Jabatan Alam Sekitar



SENARAI LAMPIRAN

	Halaman
A Foto Bulatan Kingfisher dan Bulatan Bandaraya	70
B Foto Likas Square dan Bulatan Pelabuhan	71
C Kepekatan $PM_{10} \mu\text{gm}^{-3}$ bagi Bulatan Kingfisher	72
D Kepekatan $PM_{10} \mu\text{gm}^{-3}$ bagi Bulatan Bandaraya	73
E Kepekatan $PM_{10} \mu\text{gm}^{-3}$ bagi Likas Square	74

**UMS**
UNIVERSITI MALAYSIA SARAWAK

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Alam sekitar boleh didefinasikan sebagai gabungan keadaan luaran atau eksternal yang mempengaruhi kehidupan setiap organisme. Ia juga mencakupi keadaan-keadaan dalaman atau internal khususnya aspek-aspek kimia dan biologi yang menjadi teras kepada kehidupan tumbuhan, haiwan dan manusia khususnya. Kedua-dua keadaan eksternal dan internal ini saling bertindak antara satu sama lain mewujudkan keseimbangan kepada persekitaran dan kehidupan (Zaini, 1997).

Namun begitu, setiap keseimbangan pasti berhadapan dengan masalah. Masalah pencemaran merupakan masalah global yang dihadapi oleh kebanyakan masyarakat di dunia. Masalah pencemaran udara contohnya mengundang banyak pihak melakukan pelbagai kajian untuk mencari penyelesaian terbaik.

Pencemaran udara boleh didefinasikan sebagai kehadiran satu atau lebih bahan pencemar atau gabungannya di dalam atmosfera dalam kuantiti tertentu pada sesuatu jangka waktu yang boleh atau berkecenderungan menyebabkan mudarat kepada kehidupan manusia, haiwan, harta benda atau kelangsungan sesuatu kegiatan (Perkins, 1972).

Secara umumnya, bahan pencemar udara boleh dikategorikan dalam tiga bentuk utama iaitu pepejal, cecair dan gas. Partikel zarahan terampai merupakan salah satu daripada bahan pencemar yang terdapat di dalam kandungan udara di atmosfera. Ia terdiri daripada pelbagai saiz dan bentuk yang mana setiap satunya mempunyai ciri-ciri tersendiri seperti PM_{10} . PM_{10} ialah partikel yang bersaiz kurang daripada $10 \mu\text{m}$.

Permodelan kualiti udara ambient merupakan model yang mengaitkan pelepasan kepekatan bahan pencemar dengan kepekatan bahan pencemaran di atmosfera. Ia melibatkan rupa bentuk pelepasan, meteorologi, tindak balas kimia dan proses pembersihan bahan cemar daripada atmosfera. Model pencemaran udara dapat dibahagikan kepada dua jenis iaitu model fizikal dan matematikal (Core, 1986).

Model komprehensif ini telah banyak digunakan sejajar dengan peningkatan teknologi peralatan yang penting untuk memahami hubungan di antara reseptor dengan punca pencemaran atmosfera. Ia juga untuk membangunkan serta memperkembangkan teknologi permodelan ini berdasarkan kepada kelebihannya dalam menangani masalah kualiti udara persekitaran. Permodelan ini merupakan salah satu cara untuk menguji strategi pengawalan pelepasan bahan pencemar (Hopke, 1992).

Permodelan udara di kawasan bandar adalah penting bukan sahaja untuk menjelaskan tentang cara perpindahan bahan pencemaran dari suatu tempat ke tempat yang lain tetapi juga ianya merupakan peralatan yang berguna kepada masyarakat dan saintis khususnya (Hopke, 1992).

Terdapat beberapa peringkat dan cara dalam permodelan kualiti udara antaranya ialah :

- bentuk data adalah berdasarkan kepada kepekatan bahan pencemaran dan juga parameter meteorologi.
- menjadi salah satu peralatan untuk mengkaji tentang kepentingan relatif bagi proses yang berbeza di dalam model yang mana ia akan membawa kepada pengiraan kepekatan pada titik dan masa yang spesifik.
- boleh digunakan sebagai salah satu cara untuk mengenal pasti sesuatu fenomena.

1.2 OBJEKTIF

Objektif kajian ini ialah :

- Memodelkan paras kepekatan PM₁₀ di empat bulatan utama di sekitar Kota Kinabalu.
- Meramalkan paras kepekatan PM₁₀ untuk tempoh sepuluh tahun akan datang iaitu pada tahun 2014.
- Menilai potensi pendedahan bahan pencemar terhadap kesihatan manusia atau penerima di sekitar tapak kajian dan membandingkan dengan *Malaysian Ambient Air Quality Guideline*.

BAB 2

ULASAN PERPUSTAKAAN

2.1 ZARAHAN TERAMPAL

Bahan zarahana secara umumnya didefinasikan sebagai sebarang bahan yang berserakan di atmosfera sama ada dalam bentuk pepejal atau cecair. Sesuatu zarahana lebih besar daripada molekul tunggal yang kecil iaitu kira-kira $0.0002 \mu\text{m}$ tetapi lebih kecil daripada $500 \mu\text{m}$ diameternya. Terdapat beberapa jenis zarahana terampai di atmosfera yang dikelaskan berdasarkan kepada saiz, sifat fizikal dan sifat kimianya (Perkins, 1972).

2.1.1 Zarahan Terampai (TSP)

Pelbagai istilah turut digunakan untuk menerangkan komposisi bahan serta sifat sesuatu partikel. Biasanya istilah yang digunakan merujuk kepada fasa kewujudannya samada dalam bentuk cecair atau gas. Istilah yang sering dikaitkan dengan zarahana terampai ialah aerosol. Aerosol merupakan titisan cecair yang kecil dalam aliran gas atau atmosfera.



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

Aerosol biasanya terbahagi dalam dua kategori iaitu aerosol peluwap dan aerosol terserak. Aerosol peluwap merupakan aerosol yang terbentuk apabila gas-gas yang lembap menjadi sejuk manakala aerosol terserak pula merupakan pepejal yang terserak ataupun disebut pengatoman cecair (Zaini, 1997).

Habuk pula merupakan istilah yang biasa digunakan terhadap zarahan yang sebahagian besarnya mempunyai saiz yang lebih besar jika dibandingkan dengan bahan berkoloid. Habuk boleh terampai seketika di dalam atmosfera atau di dalam gas-gas yang lain. Disebabkan saiz habuk yang agak besar, ia tidak boleh meresap tetapi boleh mengenap ke permukaan bumi dengan adanya pengaruh graviti.

Titisan pula merupakan partikel zarahan dalam bentuk cecair yang halus dan mempunyai ketumpatan yang rendah. Berdasarkan kepada sifatnya, titisan boleh mengenap di permukaan sesuatu bahan. Namun begitu, dalam persekitaran yang tidak stabil, titisan ini lebih cenderung untuk terampai di atmosfera (Perkins, 1972).

Selain itu, zarahan terampai juga merangkumi abu terbang. Abu terbang merupakan partikel halus yang terhasil daripada pembakaran bahan api fosil. Kebanyakan zarahan ini mungkin mengandungi partikel yang masih belum terbakar sepenuhnya.

Wap adalah zarahan dalam fasa gas yang wujud dalam bentuk cecair atau pepejal. Wasap pula merupakan zarahan pepejal yang terbentuk apabila berlaku aktiviti pemeluwapan wap air. Ia merupakan pemeluwapan daripada sebatian-sebatian yang mencair. Istilah wasap biasanya dikaitkan dengan keadaan pencemaran yang agak bahaya yang mana melibatkan tindak balas kimia seperti pengoksidaan (Perkins, 1972).

Istilah yang lain yang biasa digunakan adalah kabus. Kabus merupakan keadaan penyerakan berkepekatan rendah bagi zarahan cecair yang bersaiz besar. Selain itu, asap dan jelaga juga merupakan dua istilah yang digunakan untuk menjelaskan partikel zarahan yang terdiri daripada karbon yang terhasil daripada sesuatu proses pembakaran yang tidak lengkap.

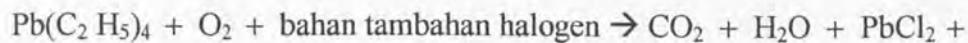
Istilah ‘smog’ adalah gabungan antara ‘smoke’ dan ‘fog’ yang mana ia menggambarkan keadaan bahan-bahan zarahan yang terdiri daripada zarahan pepejal dan cecair yang mana ia mengandungi sebatian karbon (Perkins, 1972).

2.1.2 Zarahan Terampai Logam

Di atmosfera, terdapat juga beberapa jenis zarahan terampai yang bersifat logam. Zarahan terampai jenis logam ini kebanyakannya terbebas ke atmosfera samada melalui punca antropogenik atau semulajadi. Partikel logam yang terbebas biasanya cenderung untuk bergabung dengan zarahan terampai apabila berada di atmosfera.

Logam merkuri merupakan salah satu antara logam yang diketahui ketoksikannya. Hanya sesetengah sahaja daripada partikel merkuri yang cenderung untuk bergabung dengan zarahan terampai. Kebanyakan partikel merkuri terbebas ke atmosfera dalam bentuk elemen merkuri volatile yang terhasil daripada pembakaran bahan api arang batu dan letusan volkano. Keadaan tersebut akan membebaskan sebatian volatile organomerkuri seperti metilmerkuri, $(CH_3)_2Hg$ dan garam monometilmerkuri, CH_3HgBr ke atmosfera (Manahan, 1999).

Bagi logam plumbum, penurunan penggunaan bahan api yang mengandungi unsur plumbum telah mengurangkan pembebasan partikel plumbum ke atmosfera. Namun begitu, beberapa dekad dahulu, telah dinyatakan bahawa penggunaan minyak gasoline yang mengandungi unsur plumbum merupakan bahan api pembakaran yang utama. Keadaan tersebut menyebabkan partikel plumbum halida terhasil dan terbebas ke atmosfera. Ia adalah akibat daripada tindak balas dikloroetana dan metana yang ditambah sebagai halogen tambahan kepada sebatian untuk menghalang proses akumulasi oleh plumbum oksida di dalam enjin. Halida plumbum akan membentuk ;



PbClBr + PbBr₂ (tidak
stabil)



Berilium pula merupakan logam yang digunakan untuk pembuatan barang elektrik, komponen elektronik dan komponen di dalam reaktor nuklear. Berilium mempunyai masa yang singkat di atmosfera, namun begitu ia tetap mempunyai ketoksikan seperti logam yang lain dan boleh mendatangkan masalah (Manahan, 1999).

2.1.3 Zarahan Terampai Radioaktif

Zarahan terampai radioaktif yang dikesan di atmosfera wujud dalam pelbagai bentuk dan punca tertentu. Ia terhasil samada melalui tindak balas semulajadi yang berlaku di kawasan atmosfera ataupun terbebas ke atmosfera akibat dari aktiviti manusia. Kebanyakan daripada bahan radioaktif di atmosfera adalah dalam bentuk partikel.

Aktiviti semulajadi yang menyumbang kepada zarahan terampai radioaktif ialah tindak balas sinaran kosmik dengan ‘nuklei’. Tindak balas ini menghasilkan radionuklik termasuklah ^7Be , ^{10}Be , ^{14}C , ^{39}Cl , ^3H , ^{22}Na dan ^{23}P . Sumber utama bagi radionuklik ialah gas adi yang merupakan hasil pereputan daripada unsur radium.

Selain daripada itu, penggunaan bahan api fosil seperti arang batu di stesen-stesen janakuasa juga akan menyebabkan partikel radioaktif, radionuklik terbebas dalam kuantiti yang tinggi ke atmosfera. Kebanyakan daripada partikel radioaktif ini adalah dalam bentuk abu terbang dan campuran partikel organik yang lain. Pembebasan partikel dalam kuantiti yang tinggi ini adalah akibat daripada sistem pengawalan pelepasan asap yang tidak berkesan dan sistematik (Manahan, 1999).

Gas radioaktif ^{85}Kr yang mempunyai separuh hayat 10.3 tahun pula dibebaskan ke atmosfera akibat daripada proses pembakaran bahan api di reaktor nuklear. Proses pembelahan yang berulang-ulang ini menyebabkan peningkatan terhadap kepekatan ^{85}Kr di atmosfera. Proses di reaktor nuklear ini juga membebaskan radionuklik lain yang bersifat kimia dan mempunyai separuh hayat yang singkat (Manahan, 1999).

Di samping itu, letusan senjata nuklear juga dapat menyumbangkan partikel radioaktif ke atmosfera dalam kuantiti dan kepekatan yang tinggi. Dalam kajian yang lepas, antara radioisotop yang pernah di kesan berada dalam kandungan air hujan selepas penggunaan senjata nuklear adalah seperti ^{91}Y , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{147}Nd , ^{147}Pm , ^{149}Pm , ^{151}Sm , ^{153}Sm , ^{155}Eu , ^{156}Eu , ^{89}Sr , ^{129}Te , ^{131}I dan ^{140}Ba (Manahan, 1999).

2.2 BENTUK DAN SAIZ ZARAHAN TERAMPALI

Zarahan terampai boleh wujud dalam pelbagai bentuk serta saiz yang berbeza mengikut keadaan. Zarahan terampai pepejal boleh wujud dalam bentuk yang bebas, spirikal dan pelbagai. Zarahan di atmosfera adalah berada pada spektrum yang agak besar iaitu di antara saiz yang melebihi $10\ \mu\text{m}$ sehingga lebih kurang ke saiz $0.001\ \mu\text{m}$ (Perkins, 1972).

Bentuk dan saiz zarahan terampai amat penting dari segi fizikal. Zarahan terampai yang mempunyai saiz sekitar $500\ \mu\text{m}$ boleh dilihat dengan mata kasar tanpa sebarang peralatan khas. Manakala untuk zarahan bersaiz antara $0.005\ \mu\text{m}$ pula, ia hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron.

RUJUKAN

- Allaban M. A., Gillies J. A. dan Gertler A. W., 2003. Application of multi-lag regression approach to determine on-road PM₁₀ and PM_{2.5} emission rates. *Atmospheric Environment* **37**, 5157-5164.
- Allaban M. A., Gillies J. A., Gertler A. W., Clayton R. dan Proffitt D, 2003. Tailpipe, Resuspended Road Dust and Brake-wear Emission Factors from On-road Vehicles. *Atmospheric Environment* **37**, 5283-5293.
- Botkin D. B. dan Keller E. A., 2000. *Environmental Science, Earth as a Living Planet (3rd Ed)*. John Wiley and Sons Inc.
- Brags G. M. dan Strauss W., 1981. *Air Pollution Control Part IV*. John Wiley and Sons, Inc.
- Brimblecombe P. (Eds), *The Effects of Air Pollution on The Built Environment*. Imperial College Press.
- Core J. E., 1986. *Application of Receptor Modeling to Local Air Quality Problem*. Air Quality Division.
- Donalson K., Gilmaur M. I., dan Macnee W., 2000. Asthma and PM₁₀. *Respiratory Research* **1**, 12-15.
- Donalson K., Stone V., Borm P. J A., Jamenez L. A., Gilmour J. S., Schins R. P. F., Knaapen A. D., Irfan Rahman, Faux S. P., Brown D. M dan MacNee W, 2003. Oxidative Stress and Calcium signaling in Adverse Effects of Environmental Particles (PM₁₀). *Free Radical Biology and Medicine* **34** (11), 1369-1382.
- Elsom D. M., 1992. *Atmospheric Pollution: A Global Problem Second Edition*. Blackwell Publishers.

- Hopke P. K., 1991. *Receptor Modeling For Air Quality Management*. Elsevier Science Publishers.
- Jabatan Alam Sekitar Malaysia, Kementerian Sains dan Teknologi dan Alam Sekitar 2000. Malaysia : Laporon Kualiti Alam Sekeliling.
- Koumitzis T. dan Samara C., 1995. *Airborne Particulate Matter*. Berlin : Springer Publisher.
- Manahan S. E., 1999. *Environmental Chemistry ; Seventh Edition*. Lewis Publishers.
- Mukae H., Vincent R., Quinlan K., English D., Hards J., Hogg J.C. dan Stephan F van Eeden, 2001. The Effect Of Repeated Exposure to Particulate Air Pollution PM₁₀ on The Bone Marrow. *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine* **163** (1), 201-209.
- Namdoe A. K. dan Colls J. J., 1996. Development and Evaluation of SBLINE, a Suite of Models for the Prediction of Pollutant Concentrations from Vehicles in Urban Areas. *Science of The Total Environment*. **190**, 311-320.
- Nor Azlan Mohd. Noor, 2003. Kajian Paras Zarahan Terampai (TSP, PM₁₀ DAN PM_{2.5}) Bagi Beberapa Kawasan Di Sekitar Bandaraya Kota Kinabalu. Disertasi Sarjana Sains, Universiti Malaysia Sabah (tidak diterbitkan).
- Perkins H. C., 1974. *Air pollution*. McGraw Hill Book Company.
- Quantifying Effects Of Traffic Measure Using Individual Exposure Modeling. *Atmospheric Environment* **34** (27), 4737-4744.
- Ross R. D, 1972. *Air pollution and Industry*. Van Nostrand Reinhold Company.

US Department of Energy, 2000. Energy Efficiency and Renewable Energy.
www.fuelcells.org. Washington D. C.

Voirol A. J. dan Pelt P., 2000. PM₁₀ emission inventory in Ile de France for transport and industrial sources: PM₁₀ re-suspension, a key factor for a quality. *Atmospheric Environment* **34**, (25).

Wark K. dan Warner C. F., *Air Pollution ; Its Origin and Control Second Edition*. Harper Collins Publishers.

Zaini Ujang, 1997. *Pengenalan Pencemaran Udara*. Dewan Bahasa dan Pustaka.