

Hujan Asid dan Implikasinya Terhadap Kesihatan

ZAILINA HASHIM
SHAIRAH ZAKARIA
AZMAN ZAINAL ABIDIN
LIM SZE FOOK

ABSTRAK

Kajian ini telah dijalankan ke atas sampel air hujan dari kawasan Petaling Jaya. Objektif kajian ini adalah untuk mengkaji keasidan air hujan sebagai indikator kandungan H⁺ di atmosfera dan mengkaji korelasi di antara pH air hujan dengan kandungan plumbum di dalamnya. Implikasinya terhadap persekitaran dan kesihatan masyarakat secara langsung berpunca sekiranya air hujan dijadikan sebagai sumber air minum. Sebanyak 32 sampel komposit air hujan telah dikumpulkan setiap seminggu sepanjang tahun 1994 untuk dianalisis. Kepekatan plumbum telah diukur dengan menggunakan "inductively-coupled plasma". Hasil dari kajian ini menunjukkan purata keseluruhan pH air hujan di kawasan perindustrian Petaling Jaya adalah rendah (4.68), menggambarkan keasidan hujan yang tinggi berbanding dengan kawasan terpencil seperti Tanah Rata (5.37). Tahap keasidan air hujan ini didapati lebih tinggi selepas musim kering di antara bulan April hingga September 1994. Kajian ini juga menunjukkan bahawa purata paras pH (4.10) air hujan di kawasan Petaling Jaya didapati paling rendah pada bulan Oktober iaitu selepas episod jerebu di Malaysia, jika dibandingkan dengan paras normal (5.60). Hasil dari ujian korelasi menunjukkan terdapat perkaitan yang songsang tetapi tidak signifikan dari segi statistik di antara paras kepekatan plumbum dengan pH air hujan di kawasan perindustrian Petaling Jaya ($r = -0.2544$) dan kawasan Tanah Rata ($r = -0.1129$).

ABSTRACT

The study was conducted on rainwater collected in Petaling Jaya areas. The objectives of this study were to determine the pH of the rainwater, as an indicator of the H⁺ concentration in the atmosphere and to examine the correlation between the pH level and the lead concentration of rainwater. A direct health implications results if rainwater is used as a source of drinking water. A total of 32 composite samples of rainwater were collected weekly throughout the year 1994, for analysis. The concentration of heavy metals were analysed using inductively-coupled plasma (ICP). The findings showed

that the mean of pH level of rainwater at Petaling Jaya areas was low (4.68), indicating the high acidity of rainwater when compared to remote areas of Tanah Rata a (5.37). The acidity of rainwater at Petaling Jaya increased especially after the dry seasons from April to September. The data also showed that the pH was lowest (4.10) after the haze episode when compared to the normal pH of rainwater (5.60). Statistical test showed that there was a negative correlation but of no significance between the concentration of lead and the pH level of rainwater in both areas, Petaling Jaya ($r = -0.2544$) and Tanah Rata ($r = -0.1129$).

PENDAHULUAN

Hujan asid merupakan masalah pencemaran yang kini mula menular di persekitaran Asia Tenggara terutamanya di negara Malaysia. Kajian-kajian lepas (Nordberg et al. 1985; Spengler et al. 1990) telah menunjukkan bahawa pencemaran gas-gas beracun menjadi punca utama hujan asid terutamanya di kawasan bandar.

Air hujan mempunyai pH rendah dari 7 (berasid) secara semulajadi. Keadaan ini berlaku kerana karbon dioksida (CO_2) yang terdapat di atmosfera bumi bertindakbalas dengan molekul air hujan (H_2O) dan seterusnya menghasilkan asid karbonik (H_2CO_3). Mengikut Agensi Perlindungan Persekitaran, Amerika (EPA) (1980), paras pH air hujan normal adalah 5.6 dan pH sebegini boleh melarutkan bahan mineral dan logam yang terdapat di kerak bumi dan seterusnya menyebarkannya keseluruhan ekosistem akuatik dan tumbuhan melalui air.

Sifat-sifat kimia air hujan yang berasid memudahkan lagi kelarutan bahan logam dan gas-gas toksik yang terdapat di udara. Menurut Gerhardsson *et al.*, (1994), hujan asid boleh menyebabkan nilai pH yang rendah di dalam air bumi dan air permukaan. Keadaan tanah dan air permukaan yang berasid juga boleh menjejaskan tumbuhan, hidupan air, hidupan darat dan boleh memasuki rantaian makanan dan bekalan air minum.

PENCEMARAN HUJAN ASID

Proses pembangunan dan perindustrian seperti pembakaran fosil, peleburan logam dan beberapa aktiviti manusia merupakan punca gas-gas beracun seperti sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen dioksida (NO_2) di udara. Berdasarkan Roth *et al.*, (1985), gas-gas SO_2 dan NO_2 yang bertindakbalas dengan molekul air (H_2O) di udara membentuk asid sulfurik (H_2SO_4) dan asid nitrik (HNO_3). Asid kuat yang terdapat di dalam air hujan adalah asid hidroklorik (HCl), HNO_3 , H_2SO_4 dan amonia bisulfit (NH_4HSO_4). Asid lemah pula terdiri daripada asid sulfit (H_2SO_3), asid nitrous (HNO_2), asid formik, asid asetik, asid piruvik dan

amonia sulfat(NH_4)₂SO₄. Kebanyakan partikel dari pengeluaran SO₂ akan dioksidakan kepada bentuk H₂SO₄ yang mana akan dinutrialisasikan oleh amonia di dalam beberapa peringkat di persekitaran.

Menurut USEPA (1980), di negara-negara maju seperti Amerika Syarikat, komponen hujan asid yang paling utama adalah H₂SO₄ Ia merangkumi 65% hingga 70% keasidan hujan. Ini diikuti pula oleh HNO₃ pada tahap 25% hingga 30% dan asid-asid yang lain pada 5% (USEPA 1980). Kajian Japan International Cooperation Agency (JICA 1993) di kawasan perindustrian Lembah Kelang, mendapati 290,407 tan per tahun dari pengeluaran pencemar ke atmosfera yang tertinggi adalah gas karbon monoksida (CO) (Jadual 1). Jadual ini juga menunjukkan jumlah pengeluaran bahan-bahan kimia ke atmosfera di kawasan Lembah Kelang. Pengeluaran NO₂ adalah lebih tinggi dari SO₂.

JADUAL 1. Jumlah pengeluaran bahan-bahan kimia di kawasan Lembah Kelang

Bahan Kimia	tan/tahun 1992
Sulfur oksida (SO ₂)	35,654
Nitrogen oksida (NO ₂)	54,454
Partikel	12,605
Karbon monoksida (CO)	290,407
Hidrokarbon (HC)	73,445

Sumber: Sham Sani (1982) dan JICA (1992)

Sukatan pH air hujan boleh menjadi petunjuk erosol asid di atmosfera. Erosol asid seperti asid sulfurik dan asid nitrik ini akan bertindakbalas dengan gas amonia untuk menghasilkan garam amonia yang sebahagian atau sepenuhnya mempunyai pH neutral. Kadar neutralisasi erosol ini bergantung kepada kadar pengoksidaan gas sulfur dioksida kepada sulfat partikel dan kepekatan ambien amonia. Walaupun konsentrasi amonia di lapisan bumi adalah tinggi untuk meneutralkan erosol asid, asid sulfurik yang dihasilkan di atas lapisan inversion akan dibawa ke jarak jauh tanpa neutralisasi.

Bagi erosol asid nitrik pula, ia juga boleh dineutralisasikan oleh gas amonia, tetapi proses ini bergantung kepada kepekatan amonia, kelembapan relatif, suhu dan pH erosol tersebut. Walau bagaimanapun, garam yang dihasilkan tidak stabil dan mungkin meruap dan menghasilkan asid nitrik dan gas amonia semula. Jangkahayat erosol asid nitrik bukan hanya bergantung kepada tindakbalas neutralisasi di udara tetapi juga kepada tindakbalas reaktif gas ini di lapisan permukaan. Kepekatan erosol asid adalah tinggi pada waktu siang berbanding dengan malam. Lazimnya kepekatan asid sulfurik adalah tinggi pada musim panas.

Berdasarkan Ronneau dan Hallet (1983), logam berat seperti plumbum dan kadmium yang termendak di dasar perairan seperti di dalam sedimen dan di permukaan tanah berpunca dari hujan asid. Ini adalah kerana logam plumbum dan kadmium yang terdapat di udara akan terikat dengan partikel-partikel halus dan termendak di muka bumi melalui enapan kering, manakala yang larut di dalam titisan air yang menjadi air hujan mendak ke persekitaran bumi melalui proses enapan basah (Georgii et al., 1983).

IMPLIKASI KESIHATAN

Implikasi hujan asid terhadap kesihatan manusia secara langsung masih belum diketahui sepenuhnya. Kebanyakan pakar sains kesihatan persekitaran lebih menekankan kepada masalah kesihatan yang diakibatkan oleh pencemaran gas SO_2 dan NO_2 secara langsung seperti masalah pernafasan akibat dari menghidu pencemar udara yang toksik.

Menurut EPA (1980), kesan kesihatan manusia secara langsung juga berlaku sekiranya air hujan dijadikan sebagai sumber air minum. Sistem takungan dan distribusi air minum yang berasid, boleh melarutkan logam berat dari sistem ini dan meningkatkan kepekatan logam tersebut di dalam bekalan air.

Kajian epidemiologi menunjukkan bahawa kadar morbiditi dan mortaliti berkait dengan jumlah kepekatan ion sulfat, hidrogen dan kepekatan kabus asid di udara. Pendedahan ini berlaku di kalangan pekerja yang terdedah kepada kabus asid di tempat kerja dan di kalangan penduduk yang terdedah kepada kabus asid dari serombong asap kilang. Pendedahan jangka panjang kepada erosol asid boleh menyebabkan bengkak di bahagian bronkiol paru-paru. Kabus asid dan partikel dari industri yang berukuran 5 micron akan terenap di bahagian atas sistem respiratori di mana kesan perit akan dirasai. Kesan kesihatan oleh erosol asid terhadap paru-paru telah dikaji oleh Kitigawa (1984), di Jepun.

Kajian oleh Bates and Sizto (1989) menunjukkan perhubungan di antara kepekatan sulfat, ozon dan suhu dengan masalah akut sistem respiratori bagi pesakit asma serta penduduk sihat. Pengukuran bahagian sulfat termasuk asid dan garam sulfat yang telah dineutraliskan, boleh dianggap sebagai pengukuran awal untuk partikel asid.

METODOLOGI

Air hujan yang dikumpulkan setiap minggu selama setahun ini, diawet dengan asid nitrik untuk melarutkan lagi plumbum di dalam larutan air dan mengurangkan presipitasi elemen ini. Penambahan asid ini dilakukan selepas pengukuran pH. Selain daripada pengukuran pH, pengukuran terhadap kandungan plumbum di dalam air hujan juga dilakukan. Pengukuran pH air hujan dilakukan dengan menggunakan pH meter manakala, kepekatan plumbum diukur dengan menggunakan "Inductively-Coupled Plasma" (ICP).

HASIL DAN PERBINCANGAN

Data kajian menunjukkan bahawa kawasan perindustrian Petaling Jaya mengalami hujan asid. Pada tahun 1994, purata min pH air hujan yang turun di kawasan perindustrian Petaling Jaya ialah 4.68. Jadual 2, menunjukkan min pH air hujan pada setiap bulan bagi tahun 1994 untuk kawasan perindustrian Petaling Jaya.

JADUAL 2. Min pH air hujan di Petaling Jaya, 1994

	Jan	Feb	Mac	April	Mei	Jun	Julai	Ogos	Sept	Okt	Nov	Dis
Min pH	5.40	5.10	5.30	4.80	4.40	4.80*	4.15*	4.15*	4.40	4.10	4.50	5.10
Sisihan piawai (\pm)	0.41	0.80	0.51	0.18	0.02	-	-	-	0.22	0.19	0.08	0.69

*Sumber: Perkhidmatan Kaji cuaca Malaysia

Min pH air hujan yang maksima adalah pada bulan Januari iaitu 5.4. Manakala min pH yang minima adalah pada bulan Oktober iaitu 4.1. Min keseluruhan pH air hujan menunjukkan bahawa hujan yang turun di persekitaran kawasan perindustrian Petaling Jaya adalah berasid. Keadaan berasid ini didapati lebih tinggi selepas musim kering iaitu antara bulan April hingga bulan September. Pada keseluruhannya, kajian telah menunjukkan bahawa pH air hujan di kawasan perindustrian Petaling Jaya adalah rendah dari pH normal air hujan iaitu 5.6.

Di Malaysia terutamanya di kawasan Lembah Kelang, keadaan berjerebu telah berlaku pada musim kering iaitu dalam bulan Julai hingga September 1994. Keadaan berjerebu ini disebabkan keadaan udara yang stabil tanpa pergerakan angin dan pengumpulan pelbagai pencemaran yang dihasilkan dari aktiviti manusia terutamanya di kawasan perindustrian pada masa itu. Hujan yang turun selepas tempoh jerebu menghasilkan pemendakan yang sangat berasid atau hujan asid kerana keadaan musim kering yang lama akan meningkatkan pengumpulan dan kepekatan bahan-bahan pencemar (seperti gas-gas SO_2 , NO_2 serta logam berat seperti plumbum dan kadmium) di udara. Hujan asid ini adalah disebabkan berlakunya tindakbalas molekul air hujan dengan gas-gas pencemar yang terdapat di udara.

Data yang didapati dari Perkhidmatan Kaji Cuaca Malaysia bagi kawasan Petaling Jaya, menunjukkan bahawa kawasan ini telah mengalami hujan asid sejak tahun 1986. Jadual 3 menunjukkan paras pH air hujan di kawasan

JADUAL 3. Min pH air hujan bulanan bagi kawasan Petaling Jaya

	Jan	Feb	Mac	Apr	Mei	Jun	Julai	Ogos	Sept	Okt	Nov	Dis	Min.	S.P.
1990	4.51	4.49	4.40	4.45	4.41	4.46	4.63	4.56	4.68	4.53	4.40	5.06	4.548	0.184
1991	4.70	4.55	4.32	4.30	4.05	4.17	4.32	4.81	5.21	4.44	5.05	5.30	4.629	0.402
1992	5.14	4.73	4.97	4.44	4.58	4.63	4.40	4.61	4.84	4.87	4.57	4.60	4.698	0.219
1993	4.44	4.45	4.47	4.36	4.38	5.59	5.45	5.34	4.71	4.64	4.54	4.74	4.759	0.443
1994	5.40	5.10	5.30	4.80	4.40	4.80	4.15	4.15	4.40	4.10	4.50	5.10	4.683	0.464

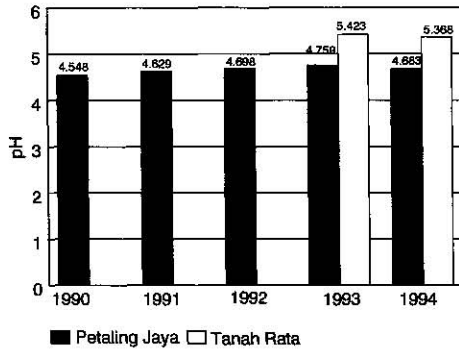
Sumber: Perkhidmatan Kajicuaca Malaysia

JADUAL 4. Min pH air hujan bulanan bagi kawasan Tanah Rata (1993-1994)

	Jan	Feb	Mac	Apr	Mei	Jun	Julai	Ogos	Sept	Okt	Nov	Dis	Min.	S.P.
1993	4.95	5.36	5.15	4.79	4.89	5.54	5.52	5.72	5.69	5.65	5.88	5.94	5.423	0.393
1994	6.29	5.41	5.42	5.12	5.48	5.26	5.52	4.73	5.11	4.97	5.40	5.71	5.368	0.395

Sumber: Perkhidmatan Kajicuaca Malaysia.

perindustrian Petaling Jaya dari tahun 1990 sehingga tahun 1994. Rajah 1 menunjukkan perbezaan di antara min pH air hujan di kawasan Petaling Jaya dan Tanah Rata. Hujan asid yang terhasil dari proses pembangunan dan perindustrian bukan sahaja melanda kawasan bandaraya Kuala Lumpur, malahan kawasan di sekitarnya turut mengalami masalah ini.

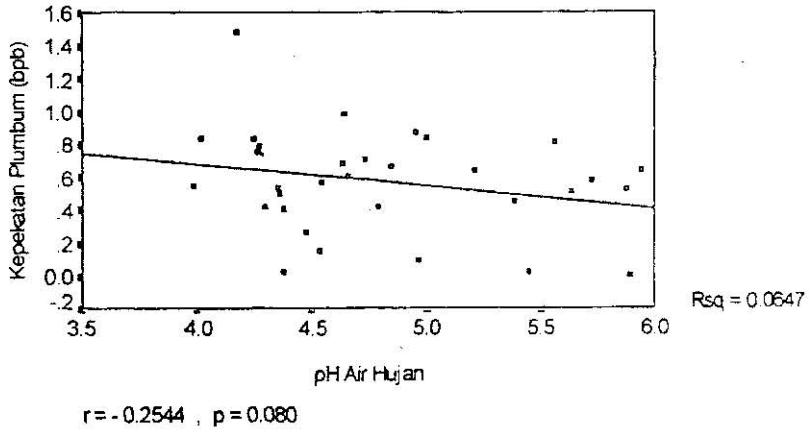


RAJAH 1. Perbandingan min pH air hujan di kawasan Petaling Jaya dengan Tanah Rata (1990 - 1994)

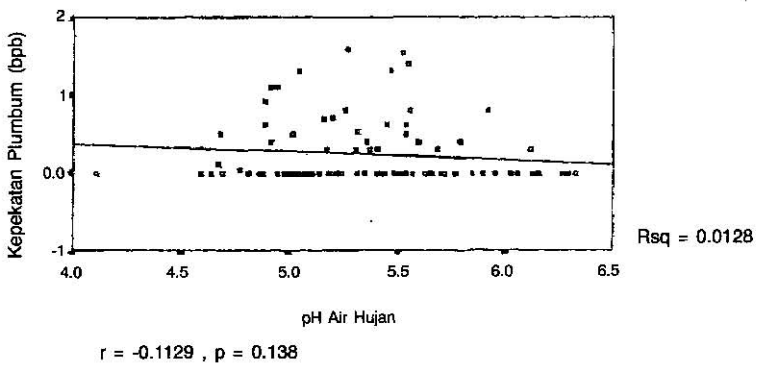
Cameron Highlands, kawasan pinggir bandar seperti kawasan Tanah Rata juga mengalami masalah pencemaran hujan asid. Jadual 4, menunjukkan min pH air hujan bulanan bagi kawasan Tanah Rata dari tahun 1993 sehingga tahun 1994. Min keseluruhan pH air hujan bagi tahun 1993 ialah 5.42 dan bagi tahun 1994 ialah 5.37 untuk kawasan Tanah Rata. Data ini menunjukkan kawasan Tanah Rata juga mengalami masalah pencemaran hujan asid tetapi tidak begitu serius berbanding dengan Petaling Jaya. Keadaan hujan asid di kawasan Tanah Rata didapati tinggi pada musim kering iaitu pada bulan April 1993 (4.79) dan pada bulan Ogos 1994 (4.73).

Menurut Ter Haar et al. (1967), angin merupakan faktor cuaca yang menyumbang kepada penyebaran bahan-bahan pencemar udara dari satu kawasan ke satu kawasan yang lain. Hasil kajian ini menunjukkan keadaan berasid di kawasan Tanah Rata wujud semasa pola arah angin di Semenanjung Malaysia berubah haluan. Pola arah angin di Semenanjung Malaysia berubah dan menjadi tidak menentu semasa musim peralihan monsun yang merentasi Semenanjung Malaysia pada bulan April hingga Mei. Hujan asid ini juga wujud semasa angin Monsun Barat Daya bertiup pada bulan Jun hingga Septembar dan tidak membawa banyak hujan ke kawasan-kawasan yang tertentu.

Terdapat kolerasi negatif yang tidak signifikan di antara paras plumbum dengan pH air hujan di kawasan perindustrian Petaling Jaya. Nilai r adalah -0.2544 . Begitu juga dengan kawasan Tanah Rata di mana nilai r adalah -0.1129 . Ini menunjukkan bahawa perkaitan paras plumbum dengan pH adalah songsang iaitu paras plumbum akan meningkat apabila pH rendah. Untuk



RAJAH 2. Perkaitan antara kepekatan plumbum (ppb) dengan pH air hujan, di kawasan Petaling Jaya (1994)



RAJAH 3. Perkaitan di antara kepekatan plumbum (ppb) dengan pH air hujan di kawasan Tanah Rata (1993 dan 1994)

JADUAL 5. Korelasi antara pH air hujan dengan kepekatan logam plumbum

	Nilai Pekali Korelasi (r)	Nilai p	Signifikan
Korelasi antara kepekatan plumbum dengan pH air hujan di kawasan Petaling Jaya	$r = - 0.2544$	$p = 0.080$	Tidak
Korelasi antara kepekatan plumbum dengan pH air hujan di kawasan Tanah Rata.	$r = - 0.1129$	$p = 0.138$	Tidak

korelasi yang signifikan, mungkin sampel yang lebih besar diperlukan. Rajah 2 dan 3 menunjukkan korelasi di antara kepekatan plumbum dengan paras pH air hujan di kawasan perindustrian Petaling Jaya dan kawasan Tanah Rata. Jadual 5 menunjukkan nilai pekali korelasi bagi perkaitan di antara pH air hujan dengan kepekatan logam plumbum.

Korelasi yang songsang di antara kepekatan plumbum dengan paras pH air hujan, menunjukkan bahawa keasidan yang tinggi di dalam air hujan boleh melarutkan unsur-unsur logam yang berada di sekelilingnya dan meningkatkan kepekatan logam di dalam air hujan. Ini akan menyebabkan pendedahan manusia kepada plumbum meningkat melalui mobilisasi plumbum dari tanah kepada tanaman. Permukaan bahan yang mengandungi plumbum juga mudah musnah dan akan didedahkan kepada manusia melalui rantai makanan seterusnya kepada sistem penghadaman.

Pendedahan kepada logam melalui bekalan air minum juga ditingkatkan melalui hujan asid kerana bahan logam juga lebih mudah larut dalam pH rendah. Perkaitan di antara plumbum dalam darah dengan kandungan plumbum dalam bekalan air juga didapati signifikan dari segi statistik (WHO 1984). Hasil kajian (WHO 1989) mendapati bahawa perkaitan ini wujud walaupun kepekatan Pb kurang dari 50 $\mu\text{g/L}$.

KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, didapati hujan asid melanda persekitaran kawasan perindustrian Petaling Jaya kerana paras pH air hujan rendah terutama semasa musim kering (antara monsun) iaitu pada bulan Oktober. Keadaan yang kering dapat memekatkan lagi konsentrasi gas-gas pencemar sulfur dioksida dan nitrogen dioksida di atmosfera. Oleh sebab ini, hujan yang turun selepas musim

kering akan melarutkan gas-gas pencemar dan menjadikan air hujan semakin berasid di mana ia boleh melarutkan lagi bahan-bahan logam di dalamnya.

Hujan asid boleh memberi kesan secara langsung kepada persekitaran dan secara tidak langsung kepada manusia. Hujan asid juga boleh dijadikan indikator keadaan keasidan atmosfera di Lembah Klang, di mana dari kajian epidemiologi terdahulu terutama semasa episod "London smog" perkaitan didapati di antara kepekatan ion hidrogen serta kabus asid di udara dengan kadar morbiditi dan mortaliti (Spengler et al., 1990).

Kajian dapat memberi satu gambaran awal mengenai pencemaran kabus asid yang sedang melanda persekitaran Malaysia terutamanya di kawasan bandar dan industri di dalam bentuk penyukatan keasidan hujan. Keadaan atmosfera yang berasid ini boleh menjejaskan sistem pernafasan terutama di kalangan pesakit bronkitis dan asma. Pemantauan kualiti udara serta kawalan pencemar dari sumber dengan menggunakan teknologi moden diperlukan untuk mengurangkan pencemaran udara dan seterusnya hujan asid.

RUJUKAN

- Bates, D.V. & Sizto, R. 1989. *Research environmental health perspective* 79: 69-77.
- EPA. 1980. *Acid rain*. United States: Environmental Protection Agency.
- Georgii, H.W.,C., Perseke & Rohbock E. 1983. Wet and dry deposition of acidic and heavy metal components in Federal Republic of Germany. *Acid Deposition: Proceedings of the CEC Workshop organized as part of the Concerted Action Physico-Chemical Behaviour of Atmospheric Pollutants* held in Berlin, 9 September 1982, ed. Beilke, S. & Elshout, A.J. 142-148.
- Gerhardsson, L., Oskarsson, A. & Skerfving, S. 1994. Acid precipitation-effects on trace elements and human health. *Science Total Environ.* 153: 237-245.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). 1993. *Air quality management study for Kelang Valley region*. Final Report Vol. 1 Summary, August 1993.
- Matthew, G.K. 1981. Lead in drinking water and health. Leyveld, H.V. and Zoeteman, B.C.J. (ed.) *Water Supply and Health: Proceedings of an International Symposium, Noordwijkerhout, The Netherlands, 27-28 August 1980*. 61-74.
- Nordberg, G.F., Goyer, R.A. & Clarkson, T.W. 1985. Impact of effects of acid precipitation on toxicity metals. *Environmental Health Perspectives* 63: 169-180.
- Ronneau, C. & Hallet, J-Ph. 1983. Heavy elements in acid rain. *Acid Deposition: Proceedings of the CEC Workshop organized as part of the Concerted Action Physico-Chemical Behaviour of Atmospheric Pollutants* held in Berlin, 9 September 1982, ed. Beilke, S. and Elshout, A.J. 149-154.
- Roth, P., Blanchard, C., Harte, J., Michaels, H. & El-Ashry, M.T. 1985. *The American Wests acid rain test: Research report*. California: World Resources Institute.
- Sham, S. 1982. *Pembandaran: Iklim bandar dan pencemaran udara*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Spengler, J.D., Brauer, M. & Koutrakis, P. 1990. Acid air and health. *Environment Sci. Technol.* 24 (7)

Ter Haar, G.L., Holtzman, R.B. & Lucas, H.F. 1967. Lead and lead-210 in rainwater. *Nature* 216: 353-354.

WHO. 1984. *Guidlines for drinking water quality*. Geneva: World Health Organization.

WHO. 1986. Health impact of acidic deposition. *Science Total Environ.* 52: 157-187.

Jabatan Sains Alam Sekitar
Fakulti Sains dan Alam Sekitar
43600 Universiti Putra Malaysia
Selangor Darul Ehsan

