

KANDUNGAN ANION DAN KATION DALAM ZARAHAN TERMENDAP DI SEKITAR SERDANG, SELANGOR

¹Norela Sulaiman, ²Mohd Rozali Othman

¹Program Sains Sekitaran, Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam
²Program Kimia, Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor

Abstrak. Anion dan kation dalam zarahhan termendap telah dikaji di sembilan belas stesen persampelan di sekitar Serdang, Selangor. Persampelan zarahhan termendap telah dilakukan selama setahun iaitu dari Mac 1998 sehingga Februari 1999. Anion yang dikaji adalah nitrat (NO_3^-), sulfat (SO_4^{2-}) dan klorida (Cl^-) manakala kation yang dikaji adalah ammonium (NH_4^+), kalium (K^+), magnesium (Mg^{2+}) dan kalsium (Ca^{2+}). Anion dan kation kajian dalam zarahhan termendap telah dianalisis menggunakan alat kolorimeter dan spektrofotometer serapan atom. Hasil kajian menunjukkan SO_4^{2-} mempunyai kepekatan tertinggi dikalangan anion manakala dikalangan kation NH_4^+ mempunyai kepekatan tertinggi.

Abstract. Anion and cation in dustfall was studied at nineteen sampling stations in the vicinity of Serdang, Selangor. Sampling of dustfall was carried out for a year from March 1998 until February 1999. Anions studied were nitrate (NO_3^-), sulfate (SO_4^{2-}), and chloride (Cl^-), while cations studied were ammonium (NH_4^+), potassium (K^+), magnesium (Mg^{2+}) and calcium (Ca^{2+}). Anion and cation in the dustfall were analysed using colorimetric methods and atomic absorption spectrophotometer. Results showed that SO_4^{2-} is the highest concentration among anions while NH_4^+ is the highest concentration among cations studied.

Key words: dustfall, anion, cation

Pengenalan

Bahan-bahan pencemaran udara di atmosfera boleh disingkirkan ke permukaan bumi melalui proses pemendapan basah dan pemendapan kering [1]. Kedudukan bahan pencemar sama ada di dalam atau di bawah awan menjadi faktor utama berlakunya proses pemendapan basah [2]. Pemendapan bahan pencemar di dalam awan dikatakan lebih penting berbanding dengan pemendapan di bawah awan di mana zarahhan halus yang berada di dalam awan akan bertindak sebagai nukleus wap air dan membentuk gabungan yang lebih besar dan akhirnya akan termendap bersama-sama air hujan yang turun [3]. Keberkesanan mekanisme ini banyak dipengaruhi oleh darjah percampuran bahan pencemar di atmosfera dan jarak daripada punca pencemar kerana kepekatan bahan pencemar akan berkurangan apabila bercampur dengan awan. Jika bahan pencemar berada di bawah awan, ia akan termendap ke permukaan bumi melalui proses pembersihan oleh air hujan di mana keberkesanan proses pembersihan ini sangat bergantung kepada saiz, komposisi kimia dan kepekatan bahan pencemaran [1, 4]. Zarahhan termendap menjadi isu persekitaran yang penting terutama di kawasan penempatan di mana ia menjadi punca yang menghasilkan debu atau habuk. Salah satu daripada punca zarahhan termendap adalah aktiviti pemecahan batu [5, 6]. Punca lain adalah seperti stesen janakuasa yang menggunakan arang batu, kenderaan, aktiviti pembinaan dan pembakaran terbuka buangan pepejal [7].

Proses pemendapan merupakan tapak jalan utama bagi bahan pencemar udara daripada punca antropogenik atau punca semulajadi memasuki ekosistem lautan dan terrestrial [8]. Dengan peningkatan pelepasan bahan pencemar daripada punca antropogenik seperti gas sulfur dioksida (SO_2) dan oksida nitrogen (NO_x), boleh menyebabkan pH pemendapan bahan pencemar di beberapa bahagian dunia mencecah pH 4.0 yang disebabkan oleh peningkatan ion-ion nitrat (NO_3^-) sulfat (SO_4^{2-}) [9, 10]. Partikel debu mengandungi kira-kira 10.8% nitrat [11]. Di antara kesan langsung daripada peningkatan pH ini ialah kemusnahan hutan dan bangunan manakala kesan tidak langsung adalah terhadap ekosistem lautan dan ekosistem terrestrial di mana kelarutan dan kesiediaan logam surih untuk ekosistem tersebut terganggu.

Eksperimental

Persampelan dijalankan sebulan sekali secara berterusan selama setahun (Mac 1998 - Februari 1999). Air hujan beserta zarah termendap yang jatuh ke permukaan bumi ditadah menggunakan botol polietilena yang lengkap dengan corong berpenapis berdasarkan kaedah yang telah banyak dijalankan sebelum ini [12 - 15]. Kedudukan stesen kajian adalah seperti yang diringkaskan dalam Jadual 1. Sebelum penadahan dibuat, botol polietilena terlebih dahulu dicuci dengan asid nitrik 20% dan dibilas dengan air nyahion sebanyak tiga kali, dinding botol pula dicat dengan cat hitam dan dimasukkan 10 ml larutan 0.02M $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ke dalam botol untuk mengelakkan pertumbuhan kulat pada dinding bekas tersebut [13]. Botol diletakkan pada aras tertentu di tempat yang tidak terlindung oleh sebarang halangan pada kedudukan 30° dari botol tersebut. Botol sampel dibiarkan selama sebulan dan seterusnya pH air hujan ditentukan secara *in situ*. Kepekatan ion K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} di dalam air hujan ditentukan menggunakan spektrofotometer serapan atom Perkin Elmer Model 4100 ZL setelah sampel diasidkan dengan asid nitrik kepada pH 2. Kepekatan ion-ion nitrat (NO_3^-), sulfat (SO_4^{2-}) dan ammonium (NH_4^+) ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer HACH DR 2010 manakala kepekatan klorida ditentukan menggunakan kaedah argentometri [16, 17].

Jadual 1: Kedudukan stesen kajian zarah termendap di sekitar Serdang, Selangor

Stesen	Alamat	Garis lintang	Garis bujur
JS1	Sand Bag Station No.4, SJS	$2^\circ 58.04' \text{ U}$	$101^\circ 41.11' \text{ T}$
JS2	Sand Bag No.1, SJS	$2^\circ 58.01' \text{ U}$	$101^\circ 41.04' \text{ T}$
JS3	Kantin, SJS	$2^\circ 55.25' \text{ U}$	$101^\circ 40.99' \text{ T}$
JS4	Stor Kering, SJS	$2^\circ 57.86' \text{ U}$	$101^\circ 41.06' \text{ T}$
MAD	Ladang Madingley, Putrajaya	$2^\circ 58.24' \text{ U}$	$101^\circ 41.56' \text{ T}$
NUR	Nurseri Ekovest, Putrajaya	$2^\circ 58.13' \text{ U}$	$101^\circ 41.72' \text{ T}$
MAR	Stor Bahagian Penyelidikan Buah-buahan Mardi, Serdang	$2^\circ 59.33' \text{ U}$	$101^\circ 42.16' \text{ T}$
PM1	Kantin Fakulti Pengajian Bahasa Moden, UPM	$2^\circ 59.95' \text{ U}$	$101^\circ 42.95' \text{ T}$
PM2	Rumah Kesatuan Kakitangan Am, UPM	$3^\circ 00.01' \text{ U}$	$101^\circ 42.25' \text{ T}$
PM3	Fakulti Rekabentuk & Senibina, Universiti Putra Malaysia (UPM)	$2^\circ 59.95' \text{ U}$	$101^\circ 43.34' \text{ T}$
PUT	Kantin PutraJaya Holdings Sdn Bhd, Kajang	$2^\circ 57.05' \text{ U}$	$101^\circ 43.56' \text{ T}$
UNI	Makmal Kereta Elektrik, Universiti Tenaga Nasional Berhad	$2^\circ 58.51' \text{ U}$	$101^\circ 43.74' \text{ T}$
AB1	Sekolah Kebangsaan Abu Bakar Baginda, Sepang	$2^\circ 57.46' \text{ U}$	$101^\circ 43.80' \text{ T}$
AB2	Sekolah Rendah Agama Islam Datok Abu Bakar Baginda, Sepang	$2^\circ 57.63' \text{ U}$	$101^\circ 43.85' \text{ T}$
AB3	Kampung Datok Abu Bakar Baginda, Sepang	$2^\circ 57.53' \text{ U}$	$101^\circ 43.97' \text{ T}$
AB4	Agrotech & Advisory Services, Persiaran Institusi, Kajang	$2^\circ 57.95' \text{ U}$	$101^\circ 44.46' \text{ T}$
KAM	Kamunting Construction Sdn. Bhd (Makmal), Putrajaya	$2^\circ 54.23' \text{ U}$	$101^\circ 41.26' \text{ T}$
RAS	Kampung Sungai Rasau, Puchong	$2^\circ 57.65' \text{ U}$	$101^\circ 38.69' \text{ T}$
UKM	Kabin, UKM	$2^\circ 56.05' \text{ U}$	$101^\circ 46.84' \text{ T}$

Nitrat

Kaedah penentuan nitrat yang digunakan diubahsuai daripada kaedah penurunan kadmium. Nitrat diturunkan menjadi nitrit dengan kehadiran kadmium. Nitrit yang terhasil kemudian bertindak balas dengan sulfanamida dan membentuk sebatian diazo yang berwarna. Tindak balas gandingan dilakukan dengan menambah N-(naftil)-etilena diamida dihidroklorida. Sebatian yang terhasil mempunyai perkadaran yang sama dengan kepekatan nitrat. Keamatan bahan pewarna diazo yang terhasil kemudiannya diukur secara kolorimeter pada jarak gelombang 400 nm. Sebanyak 25 ml sampel dimasukkan ke dalam sel. Reagent NitraVer 5 dicampurkan ke dalam sampel dan digoncangkan. Sel ditutup dan dibiarkan bertindak balas selama satu minit. Air suling nyah ion bertindak sebagai 'blank' juga dicampurkan dengan Reagent NitraVer 5. Campuran dibiarkan bertindak balas selama lima minit. Setelah itu, kepekatan sampel diukur menggunakan spektrofotometer Hach, setelah diselaraskan dengan sampel 'blank'.

Sulfat

Kaedah yang digunakan adalah ubahsuai kaedah kekeruhan. Tindak balas sulfat dengan barium klorida menghasilkan barium sulfat yang berwarna putih. Serapan ditentukan pada jarak gelombang 450 nm [17]. Sebanyak 25 ml sampel dipipetkan ke dalam sel dan ditambahkan ke dalamnya reagen SulfaVer 4. Campuran digoncang perlahan-lahan untuk melarutkannya dan dibiarkan selama lima minit untuk bertindak balas. Seterusnya kepekatan sampel diukur menggunakan spektrofotometer setelah diselaraskan dengan 'blank'.

Ammonium

Kaedah yang digunakan ialah kaedah Nessler. Tindak balas antara ammonia dengan reagen Nessler membentuk beberapa siri warna menunjukkan kepekatan ammonia yang dapat ditentukan menggunakan spektrofotometer pada jarak gelombang 400-425 nm [17]. Sebanyak 25 ml sampel dipipetkan ke dalam bikar berpenutup. Tiga titis agen penstabil dan tiga titis polivinil alkohol dimasukkan ke dalam bikar yang mengandungi sampel dan digoncang perlahan-lahan. Sebanyak 1 ml reagen Nessler dicampurkan ke dalam campuran sampel dan digoncang sekali lagi secara perlahan-lahan. Campuran dibiarkan selama satu minit. Kepekatan ammonium (dalam mg/L) diukur menggunakan spektrofotometer setelah diselaraskan dengan sampel 'blank' menggunakan air suling nyah ion sebagai ganti sampel dan diperlakukan seperti cara kerja di atas.

Klorida

Kaedah yang digunakan adalah kaedah argentometrik. Dalam larutan neutral dan sedikit beralkali, kalium kromat boleh digunakan sebagai penunjuk untuk menentukan takat akhir titratan antara argentum nitrat dan klorida. Argentum klorida secara kuantitatifnya dimendakkan sebelum warna merah bata argentum kromat terbentuk [17]. Sebanyak 100 ml sampel dipipetkan ke dalam kelalang kun dan pH larutan diselaraskan dalam julat 7-10 sama ada dengan menggunakan HNO₃ atau NaOH. Sebanyak 1 ml penunjuk kalium kromat ditambah dan seterusnya dititratkan dengan larutan piawai 0.0141M AgNO₃ yang lebih dahulu dipiawaikan dengan NaCl. Kepekatan klorida dalam sampel boleh ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kepekatan Cl}^- \text{ (ppm)} = \frac{(V_t - V_b) \times M \times \text{BM} \times 20 \times 10^3}{\text{Isipadu sampel (ml)}}$$

- V_t = isipadu titran untuk titrat sampel (ml)
- V_b = isipadu titran untuk titrat blank (ml)
- M = kepekatan titran (mol liter⁻¹)
- BM = berat molekul Cl⁻ (34.45 g mol⁻¹)

Hasil dan Perbincangan

Nilai pH air hujan pada setiap stesen persampelan ditunjukkan dalam Jadual 2. Nilai pH air hujan yang didapati dalam kajian ini berada dalam julat antara 4.47 - 4.61 iaitu nilai minimum pada stesen KAM dan nilai maksimum pada stesen UKM dengan purata min keseluruhan ialah 4.54 ± 0.04 (Jadual 2). Jika dibandingkan dengan data daripada Perkhidmatan Kajicuaca Malaysia yang bertempat di Petaling Jaya dalam jangkamasa yang sama, julat pH ialah di antara 4.02 - 4.73 dengan purata pH keseluruhan ialah 4.3. Kajian yang pernah dijalankan di sekitar Petaling Jaya, di kawasan perindustrian Air Keruh, Melaka dan Teluk Kalung, Terengganu mendapati purata pH air hujan yang direkodkan masing-masingnya ialah 4.68, 5.02 dan 5.75 [10, 18]. Data daripada kajian ini dan pengkaji lain menunjukkan pH air hujan adalah kurang daripada 5.6, menurut Agensi Perlindungan Persekitaran, Amerika (EPA) pH 5.6 merupakan air hujan yang didapati di atmosfera di mana kerpasan yang neutral mempunyai nilai pH 7 di mana bebas daripada sumber bahan cemar antropogenik dan pengaruh unsur surih di dalam atmosfera. Julat pH air hujan yang berasid ini telah mula dikesan di negara kita pada tahun 1986 lagi [19]. Walaupun pendedahan air hujan dalam kajian ini selama sebulan di lapangan boleh menyebabkan degredasi sesetengah ion tetapi masih terdapat korelasi negatif ($r = -0.360$) di antara data pH daripada kajian ini dengan data pH daripada Jabatan Kajicuaca di Petaling Jaya [4].

Hujan asid berlaku kerana penukaran bahan cemar primer seperti sulfur dioksida kepada asid sulfurik dan oksida nitrogen kepada asid nitrik dan kekekatannya adalah tinggi. Hujan asid boleh menyebabkan nilai pH

air permukaan dan air bumi menjadi rendah yang boleh menjejaskan pelbagai hidupan dan boleh memasuki rantai makanan dan bekalan air minum [20]. Walaupun kerosakan utama terhadap ekosistem daratan adalah disebabkan oleh pendedahan secara langsung terhadap gas beracun seperti sulfur dioksida dan oksida nitrogen, tetapi keadaan ini tidak boleh dibiarkan berlarutan kerana keadaan ini akan memutuskan bekalan logam surih yang penting pada pertumbuhan pokok yang sihat dan juga akan mengganggu ekosistem tanah [21].

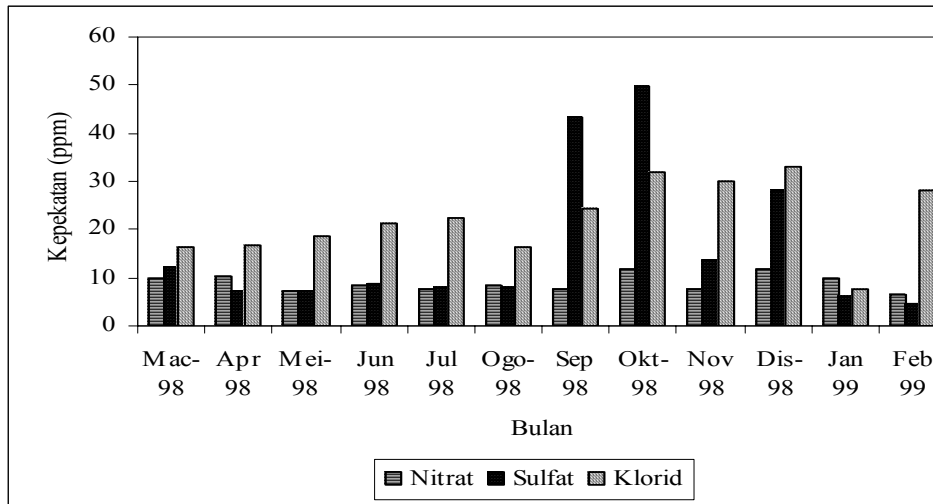
Ion-ion yang menyebabkan keasidan dalam air hujan ialah SO_4^{2-} , NO_3^- , yang bersifat asid dan NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^+ yang bersifat alkali [4, 22 - 25]. Gabungan di antara ion bersifat asid dan yang bersifat alkali inilah menyebabkan keasidan air hujan pada sesuatu kawasan [26 - 28]. Purata kepekatan bahan berasid dan berbes masing-masingnya ialah 25.61 dan 1.25 mgL^{-1} (Jadual 2). Hasil kajian menunjukkan pH air hujan akan rendah sekiranya terdapat lebih banyak bahan bersifat asid berbanding dengan bahan bersifat alkali.

Secara amnya, gas SO_2 dan NO_x yang terbebas ke dalam atmosfera dari sumbernya akan ditukarkan kepada garam sulfat dan garam nitrat yang berasid dan disingkirkan melalui pemendapan basah atau pemendapan kering ke permukaan bumi. Ion SO_4^{2-} dan NO_3^- adalah berpunca daripada sumber antropogenik hasil aktiviti manusia, ion Ca^{2+} dan K^+ pula daripada kerak bumi dan ion Na^+ , Mg^{2+} dan Cl^- berpunca daripada semburan laut [22, 29, 30]. Purata kepekatan anion yang tertinggi dalam kajian ini ialah Cl^- diikuti oleh SO_4^{2-} dan NO_3^- dengan nilai masing-masing ialah 22.91 ± 1.57 , 16.53 ± 6.09 dan 9.08 ± 5.83 ppm manakala purata kepekatan kation yang tertinggi adalah NH_4^+ diikuti oleh Mg^{2+} , K^+ dan Ca^{2+} dengan nilai masing-masing ialah 0.66 ± 0.36 , 0.25 ± 0.09 , 0.23 ± 0.16 dan 0.11 ± 0.05 ppm. Kajian ini juga mendapati urutan kepekatan anion dan kation yang serupa dengan kajian yang pernah dilakukan ditempat lain [30]. Berdasarkan kepekatan anion yang tinggi di dalam air hujan di kawasan kajian ini, menunjukkan kawasan kajian dipengaruhi oleh punca antropogenik seperti asap daripada kenderaan dan kilang di kawasan industri ringan serta tanah yang terdedah [31, 32].

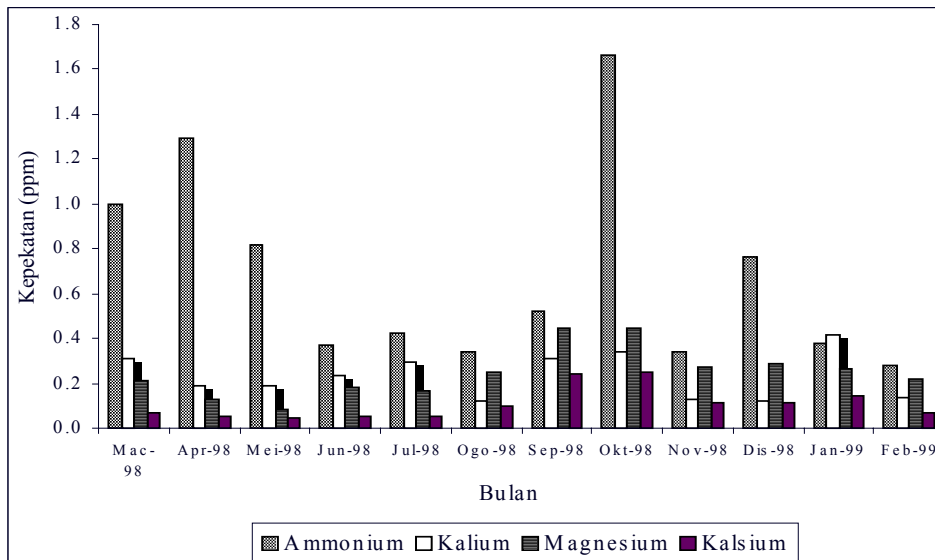
Jadual 2: Kepekatan anion dan kation (unit ppm) dalam air hujan

Stesen	Parameter dan kepekatan							
	pH	Anion (ppm)			Kation (ppm)			
		NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
JS1	4.51±0.68	8.14±3.64	13.58±12.93	21.72±11.17	0.71±0.58	0.18±0.12	0.22±0.12	0.09±0.06
JS2	4.55±0.38	8.03±3.22	12.67±9.92	22.41±12.20	2.11±4.55	0.73±0.78	0.30±0.17	0.12±0.10
JS3	4.55±0.44	8.47±3.21	12.67±12.09	20.14±10.00	0.44±0.39	0.23±0.18	0.21±0.13	0.10±0.06
JS4	4.54±0.52	10.20±6.34	16.55±10.60	27.75±11.19	0.61±0.37	0.18±0.09	0.19±0.09	0.08±0.06
MAD	4.56±0.61	7.84±3.79	17.18±25.49	21.82±8.91	0.50±0.40	0.16±0.10	0.25±0.18	0.10±0.10
NUR	4.53±0.54	11.59±5.17	13.08±10.51	25.29±10.99	0.52±0.34	0.19±0.14	0.21±0.12	0.11±0.09
MAR	4.52±0.50	7.96±2.31	16.90±22.03	26.23±8.69	0.63±0.46	0.13±0.04	0.23±0.16	0.10±0.06
PM1	4.50±0.39	9.09±4.04	21.33±29.62	24.20±11.19	0.56±0.37	0.17±0.14	0.19±0.11	0.09±0.07
PM2	4.51±0.60	8.14±2.76	17.08±22.31	23.02±10.67	0.52±0.40	0.21±0.17	0.19±0.09	0.10±0.05
PM3	4.52±0.58	7.37±2.36	16.83±21.36	21.79±13.37	0.56±0.39	0.16±0.09	0.16±0.08	0.09±0.04
PUT	4.54±0.52	9.55±2.54	19.00±17.14	30.75±11.55	0.36±0.30	0.16±0.13	0.24±0.15	0.18±0.17
UNI	4.58±0.44	18.26±28.33	21.50±23.25	26.60±11.56	0.41±0.38	0.22±0.20	0.31±0.34	0.12±0.07
AB1	4.61±0.41	8.80±3.45	16.17±19.43	16.15±8.52	0.87±0.37	0.25±0.18	0.28±0.16	0.08±0.05
AB2	4.58±0.51	7.96±2.51	16.50±20.57	23.99±8.39	0.71±0.36	0.19±0.09	0.18±0.09	0.07±0.04
AB3	4.55±0.41	8.51±3.24	15.42±18.88	21.79±12.30	0.79±0.41	0.20±0.10	0.23±0.11	0.10±0.05
AB4	4.53±0.39	7.48±3.33	17.42±20.56	20.21±11.55	0.65±0.35	0.18±0.10	0.22±0.12	0.11±0.08
KAM	4.47±0.40	7.88±1.96	17.17±18.52	22.75±10.71	0.40±0.21	0.22±0.11	0.29±0.13	0.12±0.07
RAS	4.48±0.32	8.36±3.41	19.55±26.50	18.44±13.39	0.57±0.43	0.19±0.13	0.63±0.45	0.26±0.26
UKM	4.61±0.38	8.84±2.77	13.50±8.99	20.20±8.63	0.63±0.42	0.35±0.19	0.27±0.17	0.13±0.11
Purata	4.54±0.04	9.08±5.83	16.53±6.09	22.91±1.57	0.66±0.36	0.23±0.16	0.225±0.09	0.11±0.05

Kepekatan ion Ca^{2+} adalah disebabkan oleh peningkatan zarah berpasir yang ditiup angin ke atmosfera disebabkan oleh aktiviti pemunggaran tanah di kawasan kajian yang mendap semasa proses 'pencucian'. Kehadiran kation dalam zarah mendap ialah sebagai penimbal kepada anion [22, 27, 28, 33, 34]. Kira-kira 90% daripada ion-ion dalam kerak bumi dan zarah daripada sumber antropogenik dibersihkan melalui mekanisme di antara awan [35]. Ujian korelasi di antara kation mendapati terdapat korelasi di antara ion Ca^{2+} dan ion Mg^{2+} ($r = 0.852$), ini kerana kedua-dua ion berasal daripada kerak bumi iaitu dalam bentuk zarah yang memungkinkan pemendapan berlaku melalui air hujan. Selain daripada itu terdapat juga korelasi di antara NH_4^+ dan K^+ ($r = 0.896$), ini kerana sebanyak 49-79% pemendapan NH_4^+ adalah dalam bentuk zarah [34].



Rajah 1: Kepekatan anion mengikut bulan



Rajah 2: Kepekatan kation mengikut bulan

Rajah 1 dan 2 menunjukkan kepekatan anion dan kation mengikut bulan di kawasan kajian. Kepekatan anion berbeza mengikut bulan dengan ion SO_4^{2-} menunjukkan peningkatan tertinggi pada bulan September, Oktober dan Disember di mana pada bulan-bulan tersebut adalah musim di antara monsun (September, Oktober) dengan curahan hujan yang sedikit dan permulaan musim hujan (Disember) dengan curahan hujan yang tinggi. Kepekatan ion SO_4^{2-} yang tinggi di dalam pemendapan basah boleh dikaitkan dengan kawasan

yang dicemari oleh jisim udara di mana pelepasan primer mungkin menjadi punca utama kepekatan ini terutama di kawasan pinggir dan dalam bandar [22, 36, 37]. Zarahhan tanah yang ditiup angin akan dibersihkan oleh titisan hujan di mana zarahhan yang lebih besar akan kerap dibersihkan semasa peringkat awal turunan hujan dan keadaan ini akan mengubah kandungan kimia didalam air hujan terutama terhadap ion SO_4^{2-} [22]. Oleh kerana kawasan kajian terletak dipinggir Lembah Kelang dan aktiviti pemunggaran tanah sedang giat dilakukan maka situasi ini menepati kenyataan. Kepekatan ion NO_3^- dan ion Cl^- tertabur secara seragam di sepanjang tahun. Korelasi negatif yang lemah ($r = -0.160$) didapati di antara sulfat dengan hujan mengikut bulan. Kepekatan NH_4^+ setiap bulan di sepanjang kajian tinggi pada Mac – Mei iaitu semasa monsun timur laut dan tertinggi pada bulan Oktober iaitu musim di antara monsun. Keputusan yang hampir sama juga diperolehi dalam kajian yang dilakukan di tempat lain [18]. Ini mungkin kerana selepas musim kering zarahhan yang terkumpul di atmosfera akan dimendapkan oleh hujan yang lebat dan dibantu oleh tiupan angin yang kuat dari Laut China Selatan. Ion NH_4^+ di atmosfera mudah dibersihkan melalui air hujan [4]. Antara punca garam NH_4^+ di atmosfera mungkin berasal daripada sebatian sulfur (seperti SO_2) dan garam sulfat yang bukan berasal daripada laut [38].

Di antara anion dan kation yang dikaji ion NO_3^- yang paling berbahaya pada kesihatan. Air hujan yang mengandungi lebih daripada 10 mg l^{-1} ion NO_3^- tidak sesuai dijadikan air minuman kerana boleh menyebabkan methaemoglobinaemia atau 'sindrom biru' kepada bayi. Nilai ion NO_3^- dalam kajian ini berada dalam julat $7.37 - 18.26 \text{ mg l}^{-1}$ dan terdapat tiga stesen dimana nilai NO_3^- telah melebihi daripada had piawai untuk air minuman yang ditetapkan [39]. Stesen tersebut adalah JS4, NUR dan UNI dengan nilai purata masing-masing ialah 10.20, 11.59 dan 18.26 ppm. Ini dapat disimpulkan bahawa air hujan dalam kajian ini tidak selamat untuk diminum. Anion dan kation lain seperti SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} dan Mg^{2+} (keliatan) boleh mengurangkan nilai estetika seperti rasa, bau dan warna pada air. Pada kepekatan yang amat tinggi ion SO_4^{2-} dan ion Cl^- boleh menyebabkan kakisan pada logam. Had piawai WHO bagi air minuman untuk sulfat dan klorida masing-masing ialah 400 dan 250 ppm. Pada kajian ini julat kepekatan purata ion SO_4^{2-} dan ion Cl^- dalam air hujan ialah masing-masing di antara $12.67 - 21.50$ dan $16.15 - 30.75$ ppm di mana adalah jauh lebih rendah daripada nilai disarankan. Had piawai bagi campuran ion Mg^{2+} dan ion Ca^{2+} (keliatan) adalah 500 ppm, nilai yang amat jauh daripada nilai kepekatan kation air hujan yang diukur dalam kajian ini [39]. Namun begitu, berdasarkan had piawai air minuman yang disarankan air hujan dalam kajian ini masih tidak selamat untuk diminum dan mungkin memudaratkan kesihatan.

Kesimpulan

Kepekatan anion seperti ion SO_4^{2-} dan ion NO_3^- dalam zarahhan termendap adalah lebih tinggi berbanding kepekatan kation seperti ion NH_4^+ , ion Ca^{2+} , ion Mg^{2+} dan ion K^+ yang menyebabkan air hujan dalam kajian adalah lebih berasid dengan nisbah bahan berasid dengan berbes adalah 20:1. Nilai pH purata air hujan dalam kajian ini ialah di antara $4.47 - 4.61$ yang menunjukkan pH air hujan di kawasan kajian juga berasid seperti juga kajian lain di Semenanjung Malaysia.

Penghargaan

Pengarang ingin merakamkan penghargaan kepada Tenaga Nasional Berhad Research (TNBR) kerana menaja sepenuhnya projek penyelidikan ini. Terima kasih juga kepada pembantu teknik Fakulti Sains Sumber Alam daripada Universiti Kebangsaan Malaysia dan juga daripada pihak TNBR kerana banyak membantu dalam penyelidikan ini. Tidak lupa juga kepada semua penduduk tempatan yang telah bekerjasama dalam penyelidikan ini.

Rujukan

1. Stern, A.C., Boubel, R.W., Turner, D.B. & Fox, D.L. 1984. *Fundamental of air pollution*. Ed. Ke-2. Orlando: Academic Press, Inc.
2. Wayne, G.L. & Ming-Ho, Y. 1995. *Introduction to environmental Toxicology. Impacts of chemicals upon ecological systems*. Boca Raton: Lewis Publishers.
3. Nicholson, K.W., Branson, J.R. & Giess, P. 1991. Field measurements of the below-cloud scavenging of particulate material. *Atmos. Environ.* **25**:771-777.
4. Tanner, P.A. & Wong, Y.S. 1997. Atmospheric gases, particulates and rainfall concentrations during summer rain events. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* **67**: 185-202.
5. Sham S. 1976a. Notes on dustfall in and around Batu Caves, Selangor. *Malayan Nature J.* **29**:168-175.
6. Sham, S. 1976b. Spatial distribution of dustfall concentration around Batu Caves, Selangor. *Sains Malaysiana*, **5**(1), 39-48.

7. Vallack, H.W. 2000. Monitoring dust deposition in the vicinity of Drax power Station, North Yorkshire from January to December 1999. Laporan Stockholm Environment Institute at York, Universiti of York untuk Department of environmental Services, Selby district council.
8. Galloway, J. N., Thornton, J.D., Norton, S.A., Volchok, H.L. & McLean, R.A. 1982. Trace metals in atmospheric deposition: a review and assessment. *Atmos. Environ.* **16**: 1677-1700.
9. Jickells, T.C., Knap, A.H., Church, T.M., Galloway, J.N. & Miller, J.M. 1982. Acid precipitation on Bermuda. *Nature.* **297**:55.
10. Zailina, H., Shairah, Z., Azman, Z.A. & Lim, S.F. 1999. Hujan asid dan implikasinya terhadap kesihatan. *Akademika.* 51: 66-75.
11. Daizhou, Z. & Yasunobu, I. 1999. Nitrate and sulfate in individual Asian dust-storm particles in Beijing, China in spring of 1995 and 1996. *Atmos. Environ.* **33**:3213-3223.
12. Lodge, J.P. 1991. Methods of air sampling and analysis. Ed. ke-3. Cetakan kelima. Chelsea: Lewis Publishers Inc.: hlm 440-445
13. Department of Environment (DOE).1991. Environment quality report, 1990. Kuala Lumpur: Ministry of Science, Technology and Environment, Malaysia.
14. Stern, A.C. 1976. Air Pollution. Air Pollutants, Their Transformation and Transport. Edisi ketiga. Volume I. Academic Press. London. Hlm. 139-142.
15. ASTM 1982. Standard method for collection and analysis for dustfall (seattleable particulate). ASTM D-1739-82. Annual books of ASTM Standard vol. 1103. America Society for Testing and Materials. Philadelphia.
16. Hach Company 1997. *DR/2010 Spectrofotometer instrument manual.* Colorado: Hach Company.
17. APHA 1995. *Standard methods for the examination of water and waste water.* Ed. Ke 19. Washington: American Public Health Association, AWWA, MPCF.
18. Mohd Talib Hj. Latif dan **Mohd Rozali Othman**, 1999: Pemendapan zarah di kawasan penindustrian Air Keruh (Melaka) dan Teluk Kalung (Terengganu), *Malays. J. Anal. Sci.*, **5(1)**: 137 - 146.
19. Leong, C.P., Lim, S.F. Lim, J.T., 1988. Report on Rain Acidity Analysis based on data from the National Acid Rain Monitoring Network. Malaysian Meteorological Service.
20. Gerhardsson, L., Oskarsson, A. & Skerfving, S. 1994. Acid precipitation – effects on trace element and human health. *Sci. Total Environ.* **153**:237 245.
21. Howells, G. 1995. Acid rain and acid waters. Second edition. Ellis Horwood Limited. 258 ms.
22. Baez, A.P., Belmont, R.D. & Padilla, H.G. 1997. Chemical composition of precipitation at two sampling sites in Mexico: a 7-years study. *Atmos. Environ.* **31**:915-925.
23. Gimeno, L. Sanchez, M., Harnandez, E. & Cana, L. 1997. Time trends and seasonal variation of the rainwater chemical composition in Spain. *J. Air and waste Manage. Assoc.* **47**:811-815.
24. Harrison, R.M., Jones, M. & Collins, G. 1999a. Measurements of the physical properties of particles in the urban atmosphere. *Atmos. Environ.* **33**: 309-321.
25. Harrison, R.M., Shi, J.P. & Jones, M.R. 1999b. Continuous measurements of aerosol physical properties in the urban atmosphere. *Atmos. Environ.* **33**: 1037-1047.
26. Della Lucia, M., Marchetto, A., Mosello, R. & Tartari, G.A. 1996. Studies on chemical gradient of atmospheric deposition from the Po Valley to the Alps. *Water, Air and Soil Pollution* **87**:171 187.
27. Lim, B., Jickells, T.D. & Davies, T.D. 1991. Sequential sampling of particles, major ions and total trace metals in wet deposition. *Atmos. Environ.* **25**:745-762.
28. Roy, M.H. & Casimiro, A. 1983. A comparative study of the ionic composition of rainwater and atmospheric aerosols: implications for the mechanism of acidification of rainwater. *Atmos. Environ.* **17(12)**:2539-2543.
29. Plaisane, H., Galloo, J.C. & Guillermo, R. 1997. Source identification and variation in the chemical composition at two site in France. *Sci. Total Environ.* **206**:79-93
30. Schwikowski, M., Seibert, P., Baltensperger, U. & Gager, H.W. 1995. A study of an outstanding saharan dust event at the high-Alpine site jungfrauoch, Switzerland. *Atmos. Environ.* **29**:1829-1842.
31. Majlis Daerah Hulu Langat, 1999. Senarai Kilang Di Sekitar Bandar Baru Bangi. Tidak diterbitkan.
32. Majlis Daerah Sri Petaling, 1999. Senarai Kilang Di Serdang. Tidak diterbitkan.
33. Gras, 1983. Ammonia and ammonium concentrations in the Antarctic atmosphere. *Atmos. Environ.* **17(4)**:815-818.
34. Kasper-Giebi, A. & Puxbaum, H. 1999. Deposition of particulate matter in diffusion tube samplers for the determination of NO₂ and SO₂. *Atmos. Environ.* **33**:1323-1326.
35. Slinn, W.G.N. 1983. In air-sea exchange of gases and particles. Pynt.Liss, P.S. & Slinn, W.G.N. Reidel:Dordrech. 299-405 ms.
36. Baez, A.P., Belmont, R. & Padilla, G.H. 1993. Variation of chemical composition of wet precipitation, using a sequential sampling: urban-rural areas comparison. *Atmosfera* **6**:163 174.

37. Baez, A.P. & Belmont, R. 1987. Comparative study of the chemical composition of rain of three different zones in Mexico. *Contam. Ambient.* **3**:25-36.
38. Andreae, M.O. & Raemdonck, H. 1983. Dimethyl sulphide in the surface ocean and the marine atmosphere: a global view. *Science* **221**:744 747.
39. WHO. 1996. Garis panduan kualiti air minuman. Terj. Shahabudin, M., Hasimah, T.A. & Mohd. Asri, M.N. Skudai: Universiti Teknologi Malaysia.⌋