

# SUMBER DAN TERJADINYA ARSEN DI LINGKUNGAN (REVIEW)

## The source and Existence of Arsenic in the environment (Review)

Sukar\*

**Abstract.** Arsenic is a ubiquitous element with metalloid properties. Its chemistry is complex and there are many different compounds of both organic and inorganic arsenic. In nature, it is widely distributed in rocks, soil and sediments. In water, arsenic occurs in both inorganic and organic forms. The main organic arsenics, methylarsenic acid and dimethylarsenic. In air, particulate matters have been shown to contain both inorganic and organic arsenic compounds. Plants grown on soil, marine algae and seaweed usually also contain considerable amount of arsenic. In industries arsenic compounds are mainly used in agriculture and forestry. Much smaller amount is used in the glass and chemical industries as feet, additive and drugs. Arsenic can be a source of environmental pollution, near sites of coal burning and smelting of metals.

**Keywords:** Arsenic, the natural and environment

### PENDAHULUAN

Arsen (As) adalah elemen yang tersebar luas di mana-mana dengan sifat seperti mineral. Senyawa arsen sangat kompleks dan berbeda antara arsen bentuk organik dan anorganik. Senyawa arsen anorganik yang terpenting adalah arsen trioksida ( $As_2O_3$  atau  $As_4O_6$ ). Pada suhu di atas  $1.073^{\circ}C$  senyawa arsen trioksida dapat dihasilkan dari hasil samping produksi tembaga dan pembakaran batubara. Arsen trioksida mempunyai titik didih  $465^{\circ}C$  dan akan menyublim pada suhu lebih rendah. Kelarutan arsen trioksida dalam air rendah, kira-kira 2% pada suhu  $25^{\circ}C$  dan 8,2% pada suhu  $98^{\circ}C$ . Sedikit larut dalam asam membentuk asam arsenida ( $H_3AsO_3$ ). Arsen trioksida sangat cepat larut dalam asam klorida dan alkalis (Durrant & Durrant, 1966; Carapella, 1973).

Senyawa arsen organik sangat jarang dan mahal. Ikatan carbon-arsen sangat stabil pada kondisi pH lingkungan dan berpotensi teroksidasi. Beberapa senyawa *methylarsenic* sebagaimana *di* dan *trimethylarsenes* terjadi secara alami, karena merupakan hasil dari aktivitas biologik. Di dalam air senyawa ini bisa teroksidasi menjadi *methylarsenic acid*. Senyawa arsen organik lainnya seperti : *arsenobetaine* dan *arsenocholine* bisa ditemukan pada kehidupan laut dan sangat tahan terhadap degradasi secara kimiawi (Lauwerys et al, 1979).

*Alkyl chloroarsenes* adalah senyawa yang sangat stabil dan mudah terhidrolisa, tetapi sangat reaktif terhadap senyawa pereduksi dari sulfur. Salah satu senyawa tersebut adalah *2-chlorovinylarsenes dichloride* sering dipakai sebagai gas perang. Doak & Freedmann (1970) telah melakukan review sifat fisik dan kimia senyawa arsen baik anorganik dan organik seperti senyawa *organoarsenes*. Arsen dapat menyebabkan dampak kesehatan baik akut, subakut maupun kronis. Dampak lokal maupun sistemik dari arsen meliputi dampak terhadap fungsi reproduksi dan teratogenitas, non karsinogenik, pada pernafasan, kulit, hati, sistem kardiovaskular dan sistem syaraf.

Tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui keberadaan arsen di alam dan lingkungan. Tulisan ini merupakan bagian dari penelitian review yang berjudul "Dampak Arsen Terhadap Kesehatan".

### BAHAN DAN CARA

Tulisan ini merupakan tinjauan hasil-hasil penelitian keberadaan arsen di lingkungan yang telah dipublikasi baik dari dalam maupun luar negeri. Hasil penelitian diambil di beberapa perpustakaan instansi, yaitu :

1. Badan Litbang Kesehatan
2. FKM-UI-Jakarta

3. FK-Unair-Surabaya
4. Lemlit Unair-Surabaya
5. Universitas Udayana
6. Puslit Ekologi Kesehatan
7. Perpustakaan LIPI

Makalah hasil penelitian yang telah dipublikasi selanjutnya diklasifikasi dan di *review* berdasarkan keberadaan arsen di alam dan di lingkungan.

## HASIL

Hasil pengumpulan data pustaka/refereensi/makalah dari beberapa instansi diketahui ternyata tidak diperoleh artikel atau hasil penelitian yang dilakukan di Indonesia, yang berhasil dikumpulkan berasal dari luar negeri. Hasil *review* dikumpulkan dalam 4 klasifikasi, yaitu keberadaan arsen di alam (meliputi keberadaan di batuan/tanah dan sedimen, udara, air dan biota), produksi arsen di dalam industri, penggunaan dan sumber pencemaran arsen di lingkungan.

### 1. Keberadaan Arsen di Alam a. Batuan (Tanah) dan Sedimen

Di batuan atau tanah, arsen (As) terdistribusi sebagai mineral. Kadar As tertinggi dalam bentuk arsenida dari amalgam tembaga, timah hitam, perak dan bentuk sulfida dari emas. Mineral lain yang mengandung arsen adalah arsenopyrite ( $\text{FeAsS}$ ), realgar ( $\text{As}_4\text{S}_4$ ), dan orpiment ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ). Secara

kasar kandungan arsen di bumi antara 1,5-2 mg/kg (NAS, 1977). Bentuk oksida arsen banyak ditemukan pada deposit/sedimen, dan akan stabil bila berada di lingkungan. Tabel 1 menunjukkan kandungan arsen dalam batu api dan batuan alam dimana kadar As terendah adalah jenis *andesitas* yang merupakan batu api dengan kadar antara 0,5-5,8 mg/kg. Sedangkan kadar As tertinggi adalah pada jenis *shales and clay* jenis batuan sedimen dengan kadar antara 0,3-490 mg/kg.

Kadar As tinggi bisa terjadi di batubara. Rata-rata kandungan As pada batubara di Amerika Serikat antara 1-10 mg/kg (Davis, 1977). Di beberapa tambang batubara di Cekoslowakia ternyata sangat tinggi kadar arsennya yaitu 1500 mg/kg (Cmarko, 1963).

Tanah yang tidak terkontaminasi arsen ditemukan mengandung kadar As antara 0,2-40 mg/kg, sedang yang terkontaminasi mengandung kadar As rata-rata lebih dari 550 mg/kg (Walsh & Keeney, 1975). Tanah di kota Antofagasta, Chile, secara alami mengandung As kira-kira 3,2 mg/kg (Borgono & Greiber, 1972). Di Comarca Lagunera, Meksiko, kadar As antara 3-9 mg/kg di permukaan tanah dan 20 mg/kg di bagian dalamnya (Gonzalez, 1977). Secara alami kandungan arsen dalam sedimen biasanya di bawah 10 mg/kg berat kering. Sedimen bagian bawah dapat terjadi karena kontaminasi yang berasal dari sumber buatan

Tabel 1. Kandungan arsen dalam batu api dan batuan alam.

Jenis	Kandungan As (mg/kg)
<b>Batu api (<i>igneous rocks</i>)</b>	
Ultrabasic	0.3-16
Basalts	0.06-113
Andesites	0.5-5.8
Granitic	0.2-13.8
Silicic, volcanic	0.2-12.2
<b>Batuan sedimen (<i>sediment rocks</i>)</b>	
Limestones	0.1-20
Sandstones	0.6-120
Shales and clay	0.3-490
Phosphorites	0.4-188

Sumber : National Academy of Science, 1977

kering ditemukan pada sedimen bagian bawah yang dekat dengan buangan pelelehan tembaga di Washington, Amerika Serikat (Crecelius, 1974).

#### b. Udara

Zat padat di udara (*total suspended particulate* = TSP) mengandung senyawa arsen dalam bentuk anorganik dan organik (Johnson & Braman, 1975). Crecelius (1974) menunjukkan bahwa hanya 35% arsen anorganik terlarut dalam air hujan. Dalam studi tersebut ditemukan senyawa metil arsen kira-kira di atas 20% dari total As di udara ambien pada lokasi rural dan urban. Di lokasi tercemar, kadar As di udara ambien kurang dari satu gram per meter kubik (Peirson, *et al* 1974; Johnson & Braman, 1975).

#### c. Air

Arsen terlarut dalam air dalam bentuk organik dan anorganik (Braman, 1973; Crecelius, 1974). Jenis arsen bentuk organik adalah *methylarsenic acid* dan *methylarsenic acid*, sedang anorganik dalam bentuk arsenit dan arsenat. Kandungan arsen pada air permukaan di lokasi tercemar bervariasi yaitu berkisar 1 µg/l. Hasil studi di Amerika Serikat pada 80% sampel air sungai menunjukkan kandungan arsen kurang dari 0,01 mg/l (Durum, 1971). Sedangkan Quentin & Winkler (1974) mendapatkan rata-rata kadar arsen 0,003 mg/l di air sungai dan 0,004 mg/l dalam air danau di Jerman Barat. Rata-rata kadar arsen 0,0025 mg/l telah dilaporkan dalam beberapa sungai di Norwegia (Levink, 1978). Kadar arsen tertinggi telah dilaporkan di Antofagasta, Chile, di mana rata-rata kadar arsen dalam air sungai yang digunakan untuk suplai air minum antara tahun 1958 sampai 1970 rata-rata adalah 0,8 mg/l (Borgono, 1977). Bentuk oksida arsen pada air permukaan dari berbagai belahan dunia belum diketahui secara pasti sampai saat ini. Braman & Foreback (1973) menemukan bahwa rasio kadar arsen anorganik bentuk trivalen dan pentavalen adalah 0,06 dan 6,7 mg/l. Clement & Faust (1973) telah menganalisa dua sampel air tanah ternyata kandungan arsen cukup tinggi yaitu 224 dan 280 mg/l dan menemukan bahwa kira-kira 50%

terlarut dalam bentuk arsen trivalen, sedang air tanah yang mengalir 26%.

Penrose (1977) melaporkan bahwa air laut mengandung kadar arsen antara 0,001-0,008 mg/l. Kadar arsen 0,002 mg/l juga telah dilaporkan oleh Onishi (1969) dan Johnson & Braman (1975b).

Selain itu As juga terlarut dalam air sumur dalam. Dari suatu daerah di Alaska terdeteksi kadar arsen cukup tinggi yaitu antara 0,52-3,6 mg/l dari 5 sampel air yang diambil, sedangkan yang terlarut sebagai arsen trivalen (3-39%) sisanya arsen pentavalen, sedangkan metil arsenat tidak terdeteksi (Harrington, 1978).

Kadar arsen tinggi juga ditemukan pada air di lokasi di mana terdapat aktivitas panas bumi (*geothermal*). Air panas bumi di New Zealand menunjukkan kadar arsen di atas 8,5 mg/l (Ritchie, 1961). Sedangkan panas bumi di Jepang kandungan arsen antara 1,8-6,4 mg/l, dan air yang mengalir mengandung arsen kira-kira 0,002 mg/l. Pada pengeboran panas bumi, 90% kadar arsen bentuk trivalen (Nakahara, 1978)

#### d. Biota

Penyerapan ion arsenat dalam tanah oleh komponen besi dan aluminium, sebagian besar merupakan kebalikan dari penyerapan arsen pada tanaman. (Wallsh, 1977). Kandungan arsen dalam tanaman yang tumbuh pada tanah yang tidak tercemari pestisida bervariasi antara 0,01-5 mg/kg berat kering (NAS, 1977). Tanaman yang tumbuh pada tanah yang terkontaminasi arsen selayaknya mengandung kadar arsen tinggi, khususnya di bagian akar (Walsh & Keene, 1975; Grant & Dobbs, 1977). Beberapa rerumputan yang mengandung kadar arsen tinggi merupakan petunjuk/indikator kandungan arsen dalam tanah (Porter & Peterson, 1975). Anderson & Nilson (1972) melaporkan bahwa lumpur yang mengandung arsen sangat baik digunakan untuk tanaman. Kebalikan dengan hal tersebut Furr (1976) mengklain bahwa tanah yang mengandung arsen tidak baik untuk tanaman.

Ganggang laut dan rumput laut umumnya mengandung sejumlah kecil arsen.

Lunde (1972) menunjukkan bahwa ganggang laut dari pantai Norwegia mengandung arsen antara 10-100 mg/kg berat kering.

## 2. Produksi dalam Industri

Berdasarkan data yang digunakan dari Biro Pertambangan Amerika Serikat (Nelson, 1977), dapat diperkirakan bahwa total produksi senyawa arsen di dunia mulai tahun 1975 sekitar 600.000 ton. Negara-negara produser utama adalah: China, Peru, Swedia, USA dan USSR. Negara-negara tersebut mampu mencukupi sampai 90% produk dunia. Arsen trivalen adalah basis utama industri kimia arsen dan merupakan produk samping dalam pelelehan bijih tembaga dan timah hitam.

## 3. Penggunaan Senyawa Arsen

Senyawa arsen terutama digunakan di dalam pertanian dan kehutanan (NAS, 1977). Sejumlah kecil digunakan dalam industri keramik, gelas, dan sebagai aditif serta obat-obatan. Contoh penggunaan arsen trioksida pada tahun 1975-1978 adalah sebagai berikut: pembuatan kimia untuk pertanian (pestisida) 82%, gelas dan peralatan dari gelas (pecah belah) 8%, industri kimia seperti amalgam dari tembaga, timah hitam, dan farmasi 10% (Biro Pertambangan Amerika Serikat, 1979).

Di dalam pertanian, senyawa timah arsenat, tembaga acetoarsenit, natrium arsenit, kalsium arsenat, dan senyawa arsen organik digunakan sebagai pestisida. Sejumlah kecil *methylarsonic acid* dan *dimethyl arsinic acid* secara selektif digunakan sebagai herbisida. Herbisida ini terutama penting untuk pembasmian *sorghum halepense* dalam perkebunan kapas. Bahan-bahan tersebut juga digunakan untuk pembasmian terhadap rerumputan sebagaimana "sandbur" (*cenchrus sp*), cocklebur (*xanthium sp*), dan rumput ketam dalam petak rumput (Weed Science Society of America, 1974). *Dimethylarsinic acid* digunakan sebagai silvisida dalam perlindungan hutan. Oleh karena itu pekerjaannya akan terpapar senyawa ini, yang merupakan penguapan saat pemakaian (Wagner & Weswig, 1974). Sedangkan *dimethyl arsinic acid* telah digunakan sebagai *Agent Blue* di perang Vietnam.

Tembaga arsenat, natrium arsenat, dan seng arsenat bila ditambahkan senyawa kromat dapat digunakan untuk pengawetan kayu (Lansche, 1965), yang mana senyawa ini digunakan di bawah tekanan dan bereaksi dengan kayu dan menghasilkan senyawa tidak larut dalam air. Pengawetan gelondong kayu ini tahan pada serangan jamur dan insektisida (Dobbs, 1976). Penggunaan arsen dalam bidang pengawetan kayu ini dari tahun ke tahun semakin bertambah.

Beberapa senyawa phenylarsenic sebagaimana *arsanilic acid* digunakan sebagai aditif pada peternakan ayam untuk melawan serangan penyakit. Sejumlah kecil senyawa arsen di beberapa negara secara kontinyu digunakan untuk obat-obatan. Penggunaan lain dari arsen ditemukan dalam bidang peleburan baja, di mana digunakan sebagai doping germanium dan silikon atau dalam produksi gallium arsenida dan indium arsenida.

## 4. Sumber Pencemaran Arsen dalam Lingkungan.

Pembakaran batubara dan pelelehan logam merupakan sumber utama pencemaran arsen dalam udara. Suatu studi di Inggris menunjukkan bahwa kadar arsen rata-rata tahunan di udara kota sebagai TSP antara 0,04-0,14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Goulden, 1952). Di Praga, Vondracek (1963) menemukan bahwa pada musim dingin dan musim panas rata-rata kadar arsen di udara masing-masing adalah 0,56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan 0,07  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Di daerah perkotaan di Amerika Serikat kadar arsen dalam udara antara 0,01-0,36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  di perempat tahun 1964 (Sullivan, 1969). Di tahun 1974, kira-kira 200 dari 280 lokasi pada perempat tahunan kadar arsen di bawah 0,001  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Thompson, 1977). Hanya 13 lokasi, terutama pada daerah urbanisasi tinggi dan lokasi pelelehan logam menunjukkan kadar arsen lebih dari 0,02  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Di sekitar pelelehan logam (tembaga dan timah hitam), telah terdeteksi kadar arsen melebihi 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Rozenshtein (1970) menemukan kadar arsen dalam udara sekitar 4 km dari lokasi pelelehan tembaga di USSR sebagai arsen trivalen antara 0,7-2,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sedang di Amerika Serikat data perempat tahunan rata-rata kadar arsen di El Paso Texas di atas 1,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Sullivan, 1969).

Dekat pelelehan tembaga di Tacoma, Washington rata-rata kadar arsen bulanan  $1,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Nelson, 1977). Kadar rata-rata maksimum selama 24 jam adalah  $7,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  telah dilaporkan oleh Robert (1977). Kadar arsen rata-rata harian ditemui di atas  $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di dekat pelelehan tembaga di Rumania (Gabor & Colden, 1977). Auermann, *et al* (1977) melaporkan bahwa kadar udara ambien lokasi tercemar di Jerman Barat berkisar antara  $0,9-1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (rata-rata  $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dengan lama pengambilan sampel tidak tetap. Di sekeliling tambang emas di Kanada, di mana bijih dipanggang, kadar arsen rata-rata tahunan dalam udara ambien berkisar antara  $0,06-0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$  antara tahun 1973-1975 (Hazra & Prokupok, 1977). Kadar arsen pada gas buang pada pusat pembangkit listrik tenaga uap dengan bahan bakar batu bara di Cekoslowakia berkisar antara  $43-100 \text{ mg}/\text{kg}$  (Zdrasil & Picha, 1966). Pada abu terbang dari 24 pusat pembangkit listrik tenaga uap dengan bahan bakar batu bara di Amerika Serikat kadar arsen berkisar antara  $2,3-312 \text{ mg}/\text{kg}$  (Kaakinan, 1975; Furr, 1977). Pada gas cerobong operasi pelelehan logam bukan besi kadar arsen didominasi oleh arsen trivalen dalam bentuk senyawa anorganik (Crecelius, 1974; Rosehart & Chu, 1975).

Studi yang telah dilakukan dalam lingkungan pelelehan tembaga di Tacoma, WA, Amerika Serikat (Crecelius, 1974) menunjukkan bahwa sedimen yang terjadi ditunjukkan dengan mulai saat dimulainya operasi pelelehan. Kurang dari 30% arsen yang masuk ke keluarga akan terakumulasi menjadi sedimen. Analisis udara ambien, air dan salju yang dekat dengan pelelehan logam menunjukkan kenaikan kadar arsen (di daerah Tacoma, Washington). Kadar arsen lebih dari  $380 \text{ mg}/\text{kg}$  berat kering ditemukan di lapisan tanah paling atas di sekitar pabrik.

Telah diteliti pula distribusi arsen dari tempat pelelehan tembaga di Swedia (Lindau, 1977). Kadar arsen dalam udara beberapa kilometer dari lokasi pelelehan menunjukkan kadar yang lebih tinggi, sedangkan di lokasi lain kadar arsen pada tanah mendekati kadar dalam air badan air. Suzuki (1974) melaporkan bahwa kadar arsen melebihi  $2470 \text{ mg}/\text{kg}$  tanah dekat pelelehan tembaga di Jepang.

Attrep & Anirudhan (1977) mendapatkan bahwa pada perempat tahunan rata-rata kadar arsen di udara adalah  $0,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di lokasi yang tercemar arsen, setengah dari kadar arsen di udara merupakan senyawa organik. Empat tahun terakhir, selama musim penggunaan arsen, rata-rata bulanan  $0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$  terdeteksi di lokasi yang sama. Pada saat itu kira-kira hanya 15% total udara ambien terbentuk senyawa organoarsenik.

Pembakaran kayu yang diawetkan oleh senyawa arsen pentavalen dapat menaikkan kadar arsen di udara. Kadar arsen dalam pembakaran kayu yang tertutup pada suhu  $415^\circ\text{C}$  akan terjadi penguapan 8,6% dari total arsen di dalam kayu (Watson, 1958). Bilamana kayu diawetkan dengan senyawa arsen anorganik pentavalen dibakar pada suhu antara  $700-8000^\circ\text{C}$ , kira-kira 50% arsen akan menjadi abu, sementara pada suhu  $1.000^\circ\text{C}$  kira-kira hanya tinggal 15% tertinggal di dalam abu (Öhman, 1960).

Pusat listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) dapat menyebabkan kontaminasi arsen pada udara ambien. Crecelius *et al* (1976), melaporkan bahwa kadar arsen di alam  $0,002 \text{ mg}/\text{l}$  akan bertambah 1000 kali di dalam reservoir air yang menerima buangan dari pusat listrik tenaga panas bumi, contoh di Meksiko, terdeteksi kadar arsen antara 6-51% dalam reservoir dalam bentuk senyawa anorganik pentavalen. Emisi arsen ke dalam lingkungan dari pusat listrik tenaga panas bumi kira-kira  $60 \text{ kg}/\text{hari}$ . Di El Salvador, air dari reservoir dekat dengan pusat listrik tenaga panas bumi mengandung kadar arsen  $8,9 \text{ mg}/\text{l}$  (Jernelöv, *et al*, 1976).

Arsen juga ada di dalam pupuk. Studi baru-baru ini menunjukkan bahwa kadar di atas  $100 \text{ mg}/\text{kg}$  ada di dalam contoh pupuk (Senesi, 1979).

## KESIMPULAN

Secara kasar arsen berada dalam bumi berkisar antara  $1,5-2 \text{ mg}/\text{kg}$ , dengan rincian di batuan andesitas yang merupakan kadar terendah adalah  $0,5-5,8 \text{ mg}/\text{kg}$  dan tertinggi di batuan *shale and clay*  $0,3 - 490 \text{ mg}/\text{kg}$ . Di udara arsen berada dalam bentuk anorganik (35%) sedangkan sisanya dalam bentuk orga-

nik. Kadar As di udara lokasi tercemar berkisar antara 0,04-0,14 mg/m<sup>3</sup>. Kadar arsen di dalam air sungai berkisar 0,003 mg/l, dalam air danau 0,004 mg/l, air laut antara 0,001-0,008 mg/l, dalam air sumur dalam 0,4-3,6 mg/l. Di dalam biota khususnya dalam tanaman yang tidak mendapatkan pestisida berkisar antara 0,01-5 mg/kg. Arsen diproduksi terutama untuk pelelehan bijih tembaga dan timah hitam. Penggunaan arsen sebagian besar untuk bidang-bidang kehutanan dan pertanian dan sebagian kecil untuk industri keramik. Pencemaran lingkungan terjadi terutama pada lokasi di mana dekat dengan pelelehan bijih tembaga.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, A & Nilson, K.O., 1972, *Enrichment of trace element from sewage sludge fertilizer in soils and plants*, *Ambio* 1: 176-179.
- Attrep, M., JR & Anirudhan, M., 1977. *Atmospheric inorganic and organic arsenic*, *Trace Subt. Environ. Health*, 11:365-369.
- Auermann, E., Seidler, G & Kneur, M., 1997, *The assesment of arsenic in the air*, *Nahrung*, 21: 799-806 (in German).
- Borgono, J.M. & Greiber, R., 1972, *Epidemiological study of arsenicism in the city of Antofagasta*, In: Hemphill, D.D. Ed. *Trace Substances in Environmental Health*, V.A. Symposium Columbia, University of Missouri Press, pp.13-24.
- Borgono, J.M., Vicent, P., Venturino, H & Infante, A., 1977, *Arsenic in drinking water of the city of Antofagasta: Epidmiological and clinical study before and after the installation of the treatment plant*. *Environ. Health Perspect.*, 19: 103-105.
- Braman, R.S., 1975, *Arsenic in the Environment*. In : Woolson, E.A., Ed. *Arsenical Pesticides*, Washington, DC, American Chemical Society (ACS Symp. Ser. No.7)
- Braman, R.S. & Foreback, C.C., 1973, *Methylated form of arsenic in the enviroment*. *Science* , 182: 1247-1249.
- Carapella, S.C. Jr., 1973, *Arsenic and compound*. In: Hampel, C.A. & Hawley, G.G., Ed. *The encyclo-paedia of chemistry*, third edition, New York, Van Norstrand Reinhold Company.
- Creclius, E.A., 1974, *The geochemistry of arsenic and antimony in puget sound and lake Washington*, Thesis. Seattle, Washington, University of Washington.
- Creclius, E.A., Robertson, D.E., Fruchter, J.S. & Ludwick, J.D., 1976, *Chemical forms of mercury and arsenic emitted by a geothermal power plant*, In: Hemphill, D.D., ed. *Trace Substances in Environmental Health -X*, Columbia, University of Missouri Press, pp. 287-293.
- Clement, W.H. & Faust, S.D., 1973, *A new Convenient method for determining arsenic (+) 3 in natural waters*, *Environ. Lett.*, %: 155-164.
- Cmarko, V. 1963. *Hygienic problems of arsenic exhalations of ENO plants*. *Cesk. Hyg.*, 359-362. (In Slovak, with english summary).
- Davis, W.E. et al., 1977, in: *Medical and biologic effects of inveromental pollutants: Arsenic*, Washington, DC, National Academy of Sciences.
- Doak, G.O. & Freedmann, L.D., 1970, *Organometallic compounds of arsenic, antimony, and bismuth*, In: Seyfert, D., ed. *The chemistry of organometallic compounds. A series of monographs*, New York, John Willey & Sons.
- Dobbs, A.J., Phill., D. & Grant, C., 1976, *Report on the burning of wood treated with wood observatives containing copper, chromium, and arsenic, in Aylesbury*, Buckinghamshire, UK, Building Research establishment (report Cp 63/73).
- Durrant, P.J. & Durrant, B., 1966, *Introduction to advanced inorganic chenistry*, Third edition, London, Longmans, Green & Co. Ltd.
- Durum, W.H., Hem, J.D. & Heidel, S.G. 1971. *Reconnaissance of selected minor element in surface water of the United States. October 1970*. Washington, DC, US Departement of Interior (Geological Survey Circular 643).
- Furr, A.K., Kelly, W.C., Bache, C.A., Gutenmann, W.H. & Lisk, D.J., 1976, *Multielement absorption by crops grown in pots on municipal Sludge mended soil*. *J. Agric. Food Chem.* , 24: 889-892.
- Gabor, S. & Coldea, V., 1977, *Some aspect of the environmental exposure to arsenic in Romania*, *Environ. Health Perfect.*, 19: 107-108.
- Gonzales, S.G., 1977, *Acute arsenic poisoning in dairy cattle in the lagoon regional* In: *Memorias del I simposium Internacional de Laboratorios Veterinarios de Diagnosticos, Mexico*, Vol. III, pp.551-560(in spanish).
- Goulden, F., Kennaway, E.L. & Urquhart, M.E. 1952. *Arsenic in the suspended matter of town air*, *Br. J. Cancer*, 6: 1-7.
- Grant, C. & Dobbs, A.J., 1977, *The Gowth and metal content of plants grown in soil contaminated by a copper/chrome/arsenic wood preservative*, *Environ. Pollut.* 14: 213-226.
- Harrington, J.M., Middaugh, J.P., Morse, D.L., & Housworth, J., 1978, *A Survey of a pollution exposed to high concentration of arsenic in well water in Fairbanks, Alaska*, *Am. J/ Epidemiol.*, 108: 377-385.
- Hazra, A.K. & Prokupok, R., 1977, *A report on air quality in yellow-knife, Northwest Terrltories*, Environment, Canada (Sueveillance report EPS-NW-77-55).
- Jernelov, A., Hultberg, H. & Rosenblum, I., 1976, *The Geothermal plant at Ahuachapan in El Salvador and its possible effects on the water*

- quality on the border river Rio Paz Between El Salvador and Guatemala, Stockholm, Institute for water and Air Pollution.
- Johnson, D.L. & Braman, R., 1975a, *Alkyl and inorganic arsenic in air sample*, Chemosphere, 6: 333-338.
- Kaakinan, J.D., Jorden, R.M., Lawasani, M.H. & West, R.E., 1975, *Trace Element behavior in coalfired power plant*, Environ. Sci. Technol., 9:862-869.
- Lanche, A.M., 1965, *Arsenic In: Mineral fact and problem*, Washington, DC, US, Departement of The Interior (Bureau of Mines Bulletin 630).
- Lauwerys, R.R. Buchet, J.P. & Roels, H., 1979, *The determination of trace level of arsenic in human biological materials*. Arch. Toxicol. 41: 239-247.
- Lenvink, K., Steinnes, E. & Pappas, A.J.C., 1978, *Contents of some heavy metals in Norwegian Rivers, Nord. Hydrol.* 9:197-206.
- Lindau, L., 1977, *Emissions of arsenic in Sweden and their reduction*, Environ. health Perfect., 19: 25-29.
- Lunde, G., 1972, *The absorption and metabolism of arsenic in fish. Technologiske Undersokelser*, 5:1-16.
- Nakahara, H., Yanokura, M. & Murakami, Y., 1978, *Environmental effect of geothermal waste water on the near-by river system*, J. radioanal. Chem. 45: 25-36.
- NAS., 1977, *Medical and biologic effects of inveroamental pollutants: Arsenic*, Washington, DC, National Academy of Sciences.
- Nelson, K.W., 1977, *Industrial contribution of arsenic to the environment* Environ. Health Perspect., 19: 31-34.
- Ohman, H., 1960, [Some investigations of wood impregnated with arsenic], Stockholm, The National (Swedish) Institute of Public Health (in Swedish).
- Onishi, H., 1969, Arsenic. In: Wedepohl, K.H., ed. *Handbook of geochemistry*, volume II-2, Chapter 33, Berlin, Springer-Verlag.
- Peirson, D.H., Cawse, P.A. & Cambray, R.S., 1974, *Chemical uniformity of airborne particulate material, and a maritime effect*, Nature (Lond.), 251 : 675-679.
- Penrose, W.R., Conacher, H.B.S., Black, R., Mranger, J.C., Miles, W., Cuninghame, H.M. & Squires, W.R. 1977. *Implications of inorganic/ organic Interconversion on fluxes of arsenic in marine food webs*. Environ. Health Perfect., 19: 53-59.
- Porter, E.K. & Petterson, P.J., 1977, *Biochemistry of arsenic on polluted sites in S.W. England* In: Hemphill, D.D., Ed. *Trace substances in environmental health - XI, A symposium*. Columbia, University of Missouri Press, pp. 89-99.
- Quentin, K.E. & Winkler, H.A., 1974, *Occurrence and determination of inorganic pollutang agents*. Zentralbl. Bakteriol. (orig.B), 158: 514-523.
- Richie, J.A., 1961, *Arsenic and antimony in some New zealand thermal waters*. N.Z. J. Sci. 4: 218-229.
- Robert, J.W., Pollock, R.D.Svoboda, M.J. & Watters, H.A., 1977, *Ambient air sampling for total arsenic near the Tacoma copper smelter*. In: *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Clean Air Congress*, Seattle, Puget Sound Air Pollution Control Agency, pp. 424-426.
- Rosehart, R.G. & Chu, R., 1975, *Methods for Identification of arsenic compounds*. Water Air Soil Pollut., 4: 395-398.
- Rozenstein, I.S., 1970, *Sanitary toxicological assesment of low concentrations of arsenic trioxide in the atmosphere*. Hyg. Sanit., 35(1-3): 16-22.
- Senesi, N., Polemio, P. & Lorruso, L., 1979, *Content and distribution of arsenic, bismuth, lithium and selenium in mineral and synthetic fertilizers and their contribution to soil*, Commun. Soil Sci. plant anal., 10: 1109-1126.
- Sullivan, R.J., 1969, *Preliminary air pollution survey of arsenic and its compounds. A literature review*, Raleigh NC, US Departement of Health, Education, and Welfare (APTD 69-26).
- Suzuki, Y., Suzuki, Y., Fujii, N. & Mouri, T., 1974, [Environmental contamination around a smeltery by arsenic] *Shikoku Igaku Zasshi*, 30:213-218 (in Japanese).
- Thompson, R.J., 1977, *The collection and measurement of airborne arsenic*. In: *Air pollution measuring technique. Part 2*, Geneva, World Health Organization, pp. 126-131.
- Vondracek, V., 1963, *Concentration of 3,4-benzpyrene and arsenic compounds in the Prague atmosphere*. Cesk Hyg., 8: 333-339.
- Wagner, S.L. & Weswig, P., 1974, *Arsenic in blood and urine of forest workers*. Arch. Environ. Health, 28: 77-79.
- Walsh, L.M. & Keeney, D.R., 1975, *Behavior and phytotoxicity of inorganic arsenicals in soil*. In: Woolson, E.A., ed. *Arsenical pesticides*, Washington, DC, American Chemical Society, (ACS Symp. Ser. No.7).
- Walsh, L.M., Summer, M.E. & Keeney, D.R., 1977a, *Occurrence and distribution of arsenic in soil and plants*. Environ. Health Perspect. 19: 67-71.
- Watson, C.C., 1975, *The contamination of bacon by arsenic from smoke derived from preservalized wood*. N.Z. J. Sci. 1: 361-368.
- World Health Organozation., 1981, *Environmental Health Criteria* 18.
- Zdrazil, J. & Picha, F., 1966, *The occurrence of the carcinogenetic compounds 3,4- benzpyrene and arsenic in the soil*. Neoplasma, 13:49-55.