



PENYEBARAN UNSUR KIMIA DARI DAERAH KENAMPAKAN PANASBUMI DAN LUMPUR BELERANG DI GUNUNG PATUHA, CIWIDEY, JAWA BARAT

Terry Sriwana ^{*)}, M. J. Van Bergen ^{**)} dan Setya Darma ^{*)}

^{*)}. Volcanological Survey of Indonesia, Jl. Diponegoro 57, Bandung

^{**)}. Faculty of Earth Sciences, Utrecht University, Budapestlaan 4, 3584 CD Utrecht, The Netherlands

Keyword: volcanic pollutants; acid-sulphate-chloride drainage; ciwidey river-Patuha volcano

ABSTRACT

Patuha Volcano (West Java, Indonesia) has no record of magmatic or phreatic activities since 1600 AD, but there are abundant hydrothermal surface features that testify to a recent period of volcanic/intrusive activities. Apart from a crater lake and associated gaseous emissions, different types of hydrothermal springs, fumarolic vents, and hydrothermally altered rocks found in the surrounding areas. These manifestations have attracted attention as indicators of potential geothermal energy resources, which led to various exploration efforts.

In detail, the thermal springs are comprise of Alun-Alun (ALN), Barutunggul (BRT), Cimanggu (CMG), and Cibuni (CBN). They are located on the northern and eastern sides of the complex. The BRT, CMG and CBN springs are situated at similar elevations and distances from Kawah Putih. The ALN location is higher and closer to the lake. The thermal springs are classified in terms of relative Cl-SO₄-HCO₃ contents. The Alun-alun spring (ALN) issues chloride-sulfate acid waters (410-952ppm SO₄ and 510-699 ppm Cl), and plots in the volcanic water region, close to the lake water (PT). The acid Cibuni spring (CBN) was leak in Cl (<1 ppm) and rich in SO₄ (~1200 ppm, calculated from total S), plotted near the SO₄ corner in the field of steam heated waters. In contrast, the neutral Cimanggu waters (CMG) are relatively rich in HCO₃ (~300 ppm), low in Cl (27-57 ppm) and SO₄ (27-57 ppm), and can be classified as 'peripheral' waters. The near neutral Barutunggul waters (BRT) contain Cl (290-587ppm), SO₄ (180-519ppm), as well as HCO₃ (~400ppm), and plotted in the middle of the diagram. They fall on a line of CMG and PT+ALN, which suggests that the BRT spring represents a mixture of both components.

1. PENDAHULUAN

Proses fluida pada gunungapi aktif dan gunungapi non-aktif dapat membentuk lingkungan alam yang mengandung unsur unsur kimia yang konsentrasinya melampaui konsentrasi dasar hasil prosesing geologi. Proses geologi yang terjadi secara luas dikenal seolah-olah sebagai instrumen dalam pembentukan endapan bijih epitermal yang berasosiasi dengan gunungapi di masa lalu. Kini dapat dibuktikan bahwa gunungapi merupakan sumber pencemaran yang potensial.

Konsentrasi unsur beracun dalam fumarola dan gas solfatara dan sublimat yang dihasilkan, mata air panas, dan air geotermal dipengaruhi oleh mineralisasi atau batuan ubahan, dan sebaran abu gunungapi yang mempengaruhi lingkungan termasuk yang harus diperhitungkan. Sebagai contoh, telah diperlihatkan bahwa air sungai yang sumbernya dari gunungapi aktif mengairi daerah sekitarnya berpengaruh terhadap ekosistem (Parnell dan Burke, 1990; Pringle et al, 1993).

Air danau asam dapat menjadi sumber utama dari polutan vulkanik (Volcanogenic Pollutant) karena air danau mengandung logam berat dan unsur beracun lainnya dalam konsentrasi yang sangat tinggi (Poorter et al., 1989; Rowe et al., 1992a,b, 1995; Pasternack dan Varekamp, 1994; Delmelle dan Bernard, 1994). Air yang berasal dari danau ini dan sungai asam lainnya yang mengalir dari daerah vulkanik mampu mengangkut sejumlah besar bahan kimia yang dapat mencapai lingkungan hidup manusia oleh kontaminasi permukaan dan sumber air tanah. Beberapa proses kimia dan fisika yang mengontrol angkutan logam pada sistem vulkanik adalah analog dengan pengaliran tambang asam (cf. Salomons, 1995) dan akibat

lingkungan dari polusi gunungapi memerlukan perhatian yang serius (Deely dan Sheppard, 1996).

2. SETTING

2.1. Latar Belakang Geologi

G. Patuha termasuk ke dalam barisan gunungapi Tersier Akhir dan Kuarter (> 2000 mdpl), yang membentuk batas morfologi di antara daerah cekungan intermontana Bandung (~ 700 mdpl) sebagian besar berkembang selama Epoch Kuarter dan gunungapi Miosen Pegunungan Selatan sepanjang pantai selatan Jawa Samudra Hindia (Van Bemmelen, 1949; Dam et al., 1996). Kompleks Patuha (+ 2434 m dpl) terbentuk pada vulkanik Kuarter tua yang kemungkinan menutupi suatu batuan dasar ("basement rock) susunan batuan vulkanik Tersier Atas. Menurut Akbar (1989) G. Patuha membentuk tiga unit paling muda, yang lainnya termasuk ke dalam G. Patuhawati dan G. Walang. Lava andesit, kubah lava, breksi dan tufa mendominasi seluruh urutan. "Basement" terdiri dari tipe batuan vulkanik yang sama. Sedimen selain vulkanik lain lainnya belum diidentifikasi di bawah permukaan G. Patuha, tetapi interkalasi batupasir dan batu gamping dari Zaman Miosen dikenali di daerah Bandung dan di daerah Pegunungan Selatan (lihat Dam, 1994). Akbar (1989) mengemukakan bahwa batu gamping dapat membentuk "basement" dari batuan vulkanik Kuarter di daerah Ciwidey.

2.2. Tatanan Lingkungan

Unsur-unsur polutan yang berasal dari alam yang sebagian besar akibat dari kegiatan manusia menyebar sepanjang lereng timur G. Patuha.

Hulu sungai Ciwidey terletak di daerah Kawah Ciwidey (+ 1929 mdpl), uap lapangan fumarola yang menyebabkan komposisi air berubah karena adanya interaksi dengan lepasnya fluida dan batuan ubahan. Karena aliran buangan sangat kecil (aliran tahunan 0.04 m³/s) , efek kontaminasi ini dengan cepat menurun sebanding dengan bertambahnya jumlah air ke arah hilir.

Sungai Ciwidey

Sungai Ciwidey adalah satu anak sungai Citarum (**Gambar-2**). Sungai ini mempunyai daerah tangkapan air (catchment area) seluas 204 km², di mana 12% dari panjang sungai terdapat di daerah hulu sungai dan panjang total kira-kira 35 km. Elevasi berkisar dari 2000 m dpl dekat titik sumber lapangan vulkanik Kuarter pada lereng kompleks Patuha sampai 660 m pada anak sungai Citarum. Bagian hulu sungai Ciwidey dan umumnya anak- anak sungainya mengalir melalui endapan aliran piroklastika yang membentuk “footslope” dekat kampung Ciwidey, di mana penampang tebingnya memperlihatkan struktur “coarse bedding”. Lebih jauh ke hilir sungai melalui suatu lembah di lapangan vulkanik Tersier sebelum masuk ke dataran Bandung dekat kecamatan Soreang. Ke arah hilir dari Soreang , sungai membentuk saluran kubangan kecil dan endapannya didominasi oleh sedimen aluvial berbutir halus, sampai sungai ini bergabung dengan sungai Citarum.

Curah hujan tahunan ± 3 m/tahun dan memperlihatkan fluktuasi musiman. Sejumlah anak sungai mengalirkan airnya ke sungai Ciwidey dengan debit tahunan rata-rata 9.1 m³/s di Cukang Haur (dekat lokasi CWD-10 antara Ciwidey dan Soreang, gambar 2), debit rata-rata bulanan berkisar antara 2.4 m³/s di bulan Agustus – September dan 16 m³/s di bulan Maret – April (Puslitbang Pengairan dalam Iwaco – Waseco,1991).

Sepanjang aliran sungai Ciwidey terdapat beberapa saluran irigasi yang digunakan untuk kebutuhan pertanian yang dapat mengairi daratan sekitar 61 km² umumnya berupa sawah, perkebunan, sayuran dan untuk suplai kolam ikan. Saluran irigasi di bagian atas sungai Ciwidey dipergunakan untuk mengatur suplai air pada saluran sungai buatan selama musim kering. Sepanjang alirannya hingga kecamatan Soreang tidak tercatat kegiatan industri yang mempengaruhi mutu air sungai Ciwidey.

Endapan Lumpur Belerang

Pusat polusi terletak pada kira-kira 6 km dari titik letusan. Di sini sepanjang batas sungai, suatu daerah pengendapan buatan (+ 1460 m) menandai tempat pabrik belerang lama yang telah ditinggalkan sejak 1942 setelah bekerja selama 20 tahun. Lumpur belerang berasal dari Kawah Putih, suatu danau kawah asam dari G.Patuha, dari mana lumpur tersebut dialirkan melalui saluran pada bibir kawah dan parit uamg dibangun sepanjang 4 km pada lereng gunungapi. Lumpur tersebut diendapkan pada sebuah kolam pengendap dekat pabrik. Sekarang lumpur membentuk teras- teras buatan. Endapan tersebar pada daerah seluas 0.1 km² dengan ketebalan beberapa meter. Tumbuhan menutupi bagian endapan lumpur tapi beberapa tapi beberapa bagian dari kolam tampak gersang. Daerah kolam termasuk kedap air, sehingga air kolam bertambah selama musim penghujan. Retakan lumpur terbentuk selama musim kemarau yang membantu infiltrasi air ketika musim hujan mulai. Influxes dari dua sumber mencemari Sungai Ciwidey di lokasi (1) Sungai Citiis, suatu sungai asam mengandung air yang kaya belerang

dan khlorin yang diperkirakan sebagian besar dari mata air panas Alun-alun (+1900 m) di lereng gunungapi Patuha; dan (2) satu air sungai mengalir daerah endapan lumpur belerang (**Gambar-3**) saluran irigasi dibangun sedemikian rupa sehingga S. Citiis yang asam dapat secara langsung bergabung dengan S. Ciwidey atau mengalir ke dalam saluran irigasi dan di tepi bagian barat sungai ini digunakan untuk maksud lainnya. Luas areal sekitar 0.1 km² dengan endapan lumpur belerang setebal kira kira 1.5-2 meter ditutupi oleh tumbuhan semak dan beberapa bagian terlihat kering dan gundul. Komposisi kimia dan mineralogi sama dengan komposisi danau pada masa sekarang yang didominasi oleh belerang native yang berasosiasi dengan mineral lainnya yang mengendap dari air danau dalam jumlah yang lebih kecil. Kumpulan ini meliputi silika,, berbagai sulfida dan barit. Dengan analogi terhadap pengaliran tambang asam, interaksi di antara air meteorik dan material ini menghasilkan suatu aliran sungai yang membawa kontaminan yang tidak larut. Lumpur berbutir halus, pengangkutan bahan pencemar juga akan terjadi dalam bentuk suspensi, khususnya selama musim penghujan.

Kenampakan Gejala Panasbumi

Idrus Alhamid (1989) mengidentifikasikan tentang 10 semburan hidrotermal di daerah panas bumi Patuha yang lebih luas. Raut tersebut dapat dilihat pada sketsa morfologi **Gambar-1.1**. Daerah sekitar gunungapi dialiri oleh tiga sungai ialah; Ciwidey, Cibuni dan Cipandak. Mata air panas ditemukan di Alun – Alun (ALN), Barutunggul (BRT) dan Cimanggu (CMG). Mata air panas tersebut terletak di sebelah utara dan timur kompleks Patuha dan merupakan target utama penelitian, karena;

- (a) sektor ini menghasilkan tipe air ekstrim di luar danau kawah.
- (b) menyebar ke dalam daerah “ catchment area” dari sungai Ciwidey, yang diketahui menerima sejumlah polutan yang berasal dari kawah Putih dan air panas (vulcanogenic pollution).

Penyebaran gejala panas bumi kompleks Patuha disajikan dalam **tabel-1**. Mata air panas BRT,CMG dan CBN terletak pada ketinggian dan jarak yang sama dari Kawah Putih. Lokasi ALN lebih tinggi dan lebih dekat ke arah kawah Putih, untuk diketahui bahwa tak satupun dari para peneliti menyebutkan kehadiran mata air panas Alun – Alun. **Tabel-1** Penyebaran mata air panas lereng Patuha (ALN, CMG, dan CBN) dan Kawah Ciwidey

3. SAMPLING DAN METODA ANALISIS

Conto mata air panas ALN, BRT ,CMG dan CBN, lumpur belerang dan air Kawah Ciwidey (inlet dan out) dikumpulkan dari Mei 1995 sampai Juli 1996. Lokasi sampling disajikan dalam **gambar-2**, kecuali untuk CBN, conto diambil dalam lima periode pada musim yang berbeda. Untuk mata air panas ALN data terkumpul pada Mei 1997. pH, suhu dan konduktivitas diukur di lapangan dengan peralatan digital. Kandungan sulfat dan khlorit dari air netral dan konsentrasi rendah ditentukan dengan QIC-Dionex ion Chromatograph (IC), menggunakan ionpac AS4A dan AG4a column dan Shimadzu C-R4A integrator. Orion 949 EA Ion Selective (ISE). Contoh air di saring melalui saringan selulosa 0.45 mikromili, contoh air dibagi dua; satu bagian di asamkan dengan HNO₃, bagian kedua di encerkan dengan aquabidest dengan perbandingan 1: 1.

4. HASIL

Hasil analisis disajikan pada tabel 2, dan klasifikasinya di berikan pada **Gambar-2**. Kandungan kimia secara umum menunjukkan pola yang konsisten kearah hilir sungai Ciwidey yang secara jelas menunjukkan pengaruh pencemaran dari bagian atas daerah Patuha. Fluktuasi konsentrasi sepanjang aliran sungai Ciwidey terjadi secara sistematik, beberapa mengalami penyimpangan yang disebabkan oleh luapan air sungai pada musim penghujan.

5. KESIMPULAN

Hasil survey geokimia air permukaan di bagian selatan cekungan Citarum menunjukkan bahwa Sungai Ciwidey telah tercemar oleh unsur kimia yang dilepaskan dari daerah G. Patuha. Pengaliran dari dua sungai asam menyebabkan penurunan nilai pH dan menambah unsur tak terlarutkan dan logam runtu. Tingkat konsentrasi dan bahan pencemar tergantung pada kondisi musiman dan peranan air sungai yang digunakan untuk pengairan. Salah satu sungai yang berhulu pada suatu mata air di lereng yang mungkin mempunyai hubungan dengan bawah permukaan dengan kandungan asam belerang dan khlorida tinggi yang dihasilkan dalam suatu danau kawah gunungapi dekat puncak suatu gunungapi. Sungai lainnya diasamkan oleh interaksi antara endapan belerang buatan yang dialirkan ke bawah dari kawah selama kegiatan eksploitasi di masa lampau. Dari hal tersebut pengayaan bahan sangat beracun dalam sistem danau kawah menyebabkan gangguan lingkungan pada kedua kasus, meskipun hipotesa rembesan air danau melalui batuan vulkanik yang lolos air memerlukan penelitian lebih lanjut.

Input unsur polutan seperti; aluminium, arsen, boron, khlorin, besi, mangan, sulfat dan unsur runtu lainnya ke dalam sungai Ciwidey sangat tinggi dibandingkan dengan nilai dasar umum. Pengayaan bahan tak terlarutkan di bagian hilir diatur oleh suatu proses yang analog dengan pengaliran air asam daerah tambang. Pengenceran oleh air sungai, penguapan dan perubahan kedalaman fasa padat merupakan kontrol yang penting yang mencegah bahan pencemar konsentrasi tinggi masuk ke dalam Sungai Citarum selama kondisi aliran normal.

DAFTAR PUSTAKA

Benjamin, M.M. and Leckie, J.O., (1981) *Competitive adsorption of Cd, Cu, Zn and Pb on amorphous iron oxyhydroxide*. J. Colloid Interface Sci. 83: 410-419.

Bourg, A.C.M. (1988) *Metals in aquatic and terrestrial systems: sorption, speciation and mobilisation*. In: W. Salomons and U. Forstner (Editors), Chemistry and Biology of Solid Waste: Dredged Material and Mine Tailings. Springer. Pp. 3-32.

Chapman, B.M., Jones, D.R. and Jung, R.F. (1983) *Processes controlling metal ion attenuation in acid mine drainage streams*. Geochim. Cosmochim. Acta, 47: 1957-1973.

Chapman, B.M., Jones, D.R. and Jung, R.F. (1988) *Heavy metal transport in streams - Field release experiments*. In: W. Salomons and U. Forstner (Editors), Chemistry and Biology of Solid Waste: Dredged Material and Mine Tailings. Springer. Pp. 275-299.

Dam, M.A.C. (1994) *The Late Quaternary evolution of the Bandung Basin, West-Java, Indonesia*. PhD thesis, Vrije Universiteit Amsterdam. Pp. 252.

Deely, J.M. and Sheppard, D.S. (1996) *Whangaehu River, New Zealand: geochemistry of a river discharging from an active crater lake*. Applied Geochemistry, 11: 447-460.

Delmelle, P., 1995. Geochemical, isotopic and heat budget study of two volcano-hosted hydrothermal systems: the acid crater lakes of Kawah Ijen, Indonesia, and Taal, Philippines, volcanoes. Unpubl. PhD thesis, Universite Libre de Bruxelles. Pp. 247.

Delmelle, P. and Bernard, A., 1994. Geochemistry, mineralogy and chemical modelling of the acid crater lake of Kawah Ijen Volcano, Indonesia. Geochim. Cosmochim. Acta, 58: 2445-2460.

Djuangsi, N. and Salim, H., 1994. Environmental pollution in the Citarum river basin, West Java, Indonesia. In: B. Widianarko, K. Vink and N.M. van Straalen (Editors), Environmental toxicology in South East Asia. VU University Press, Amsterdam. Pp. 277-288.

Edmunds, W. and Smedley, P.L., 1996. Groundwater geochemistry and health: an overview. In: Environmental Geochemistry and Health (J.D. Appleton, R. Fuge and G.J.H. McCall, editors). Geol. Soc. Spec. Publ., 113: 91-105.

Hem. J.D., (1970) *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*. U.S. Geol. Surv., Water-Supply Pap. 1473.

Henley, R.W. and Ellis, A.J. (1983) *Geothermal systems, ancient and modern*. Earth Sci. Rev., 19: 1-50.

IWACO-WASECO (1991) *West Java provincial water sources master plan for water supply*, Bandung hydrological study, Main report annex 1 - surface water resources. Pp. 109.

Kemmerling, G.L.L. (1929) *Vulkanen van Flores* Vulkanol. en Seismolog. Mededelingen, Dienst Mijnb. Ned. Indie, 10: 1-138.

Kinniburgh, D.G. and Jackson, M.L. (1982) *Concentration and pH dependence of calcium and zinc adsorption by iron hydrous gel*. Am. J. Soil Sci., 46: 56-61.

McKnight, D.M. and Bencala, K.E. (1989) *Reactive transport in an acidic mountain stream in Summit County, Colorado. A hydrologic perspective* Geochim. Cosmochim. Acta, 53: 2225-2234.

Millward, G.E. and Moore, R.M. (1982) *The adsorption of Cu, Mn and Zn by iron oxyhydroxide in model estuarine solutions*. Water Res., 16: 981-985.

Mok, W.M. and Wai, C.M. (1989) *Distribution and mobilization of arsenic species in the creeks around the Blackbird mining district, Idaho*. Water Research, 23: 7-13.

Nordstrom, D.K., 1982. The effect of sulfate on aluminium concentrations in natural waters: Some stability relations in the system Al₂O₃-SO₃-H₂O. Geochim. Cosmochim. Acta, 46: 681-692.

Nordstrom, D.K. and Ball, J.W. (1986) *The geochemical behavior of aluminum in acidified surface waters*. Science, 232: 54-56.

Parnell, R.A. and Burke, K., (1990) *Impacts of acid emissions from Nevado del Ruiz volcano, Columbia, on selected terrestrial and aquatic ecosystems*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 42: 69-88.

Pierce, M.L. and Moore, C.B. (1982) *Adsorption of arsenite and arsenate on amorphous iron hydroxide*. Water Res., 16: 1247-1253.

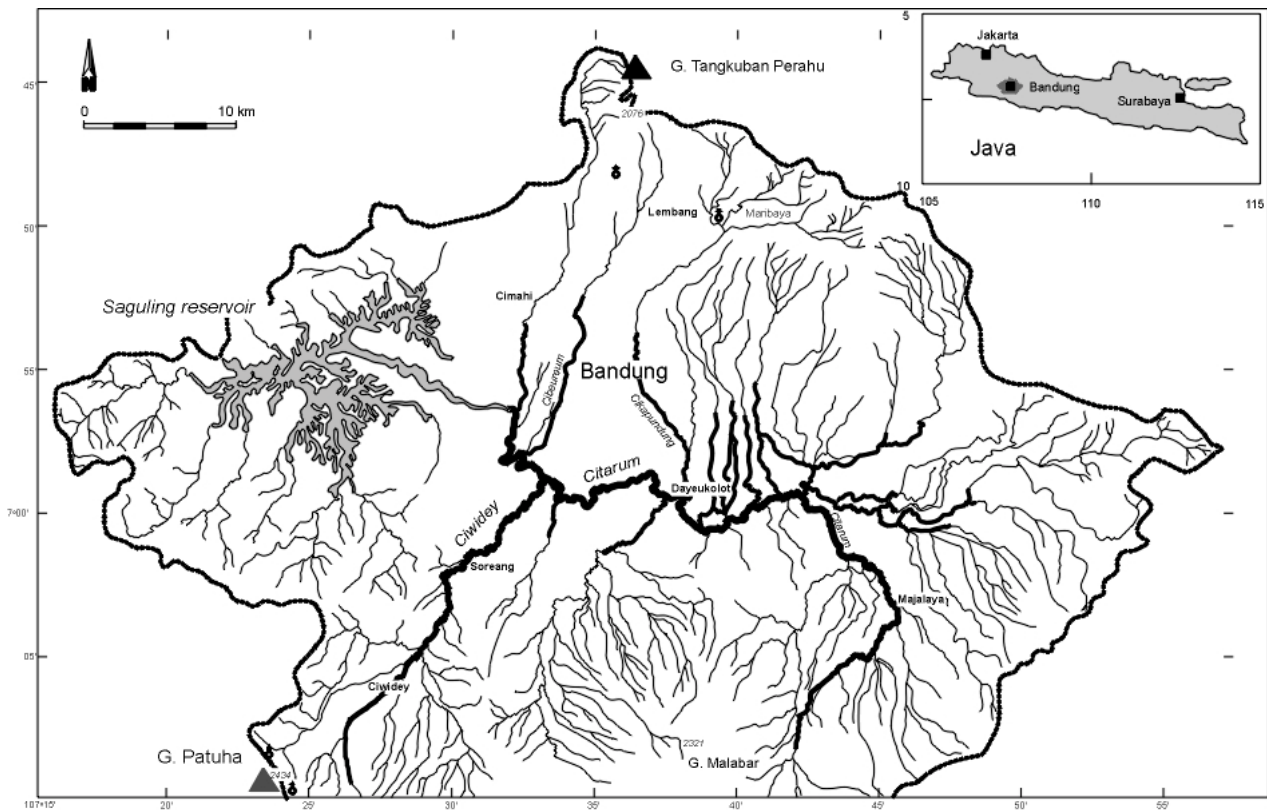
Pringle, C.M., Rowe, G.L., Triska, F.J., Fernandez, J.F. and West, J. (1993) *Landscape patterns in the chemistry of geothermally-impacted streams draining Costa Rica's Atlantic slope: Geothermal processes and ecological response*. Limnol. Oceanogr. 38(4): 753-774.

Rowe Jr, G.L., Brantley, S.L., Fernandez, M., Fernandez, J.F., Barquero, J. and Borgia, A. (1992) *Fluid-volcano interactions at an active stratovolcano: The crater lake system of Poas Volcano, Costa Rica*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 49: 23-51.

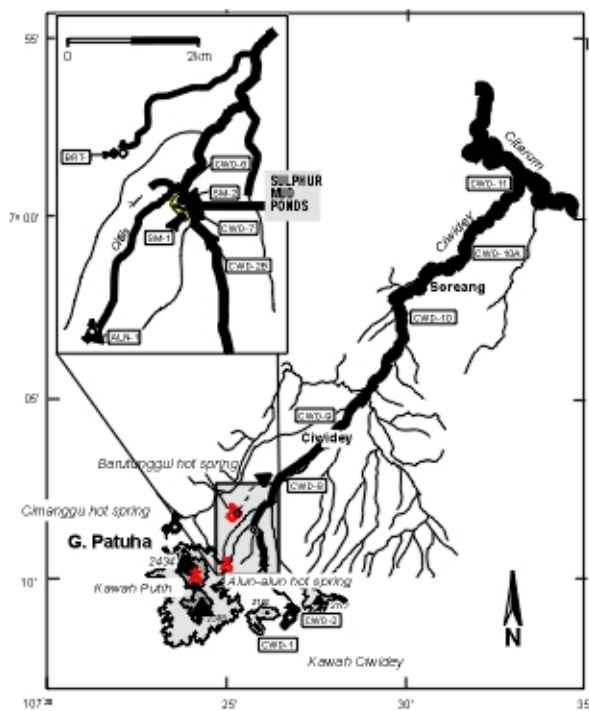
Rowe Jr, G.L., Brantley, S.L., Fernandez, J.F. and Borgia, A. (1995) *The chemical and hydrologic structure of Poas Volcano, Costa Rica*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 64: 233-267.

Salomons, W. (1995) *Environmental impact of metals from mining activities: Processes, predictions, prevention*. In: R.J. Allan and W. Salomons (Editors), *Heavy metal aspects of mining pollution and its remediation*. J. Geochem. Explor. 52: 5-23.

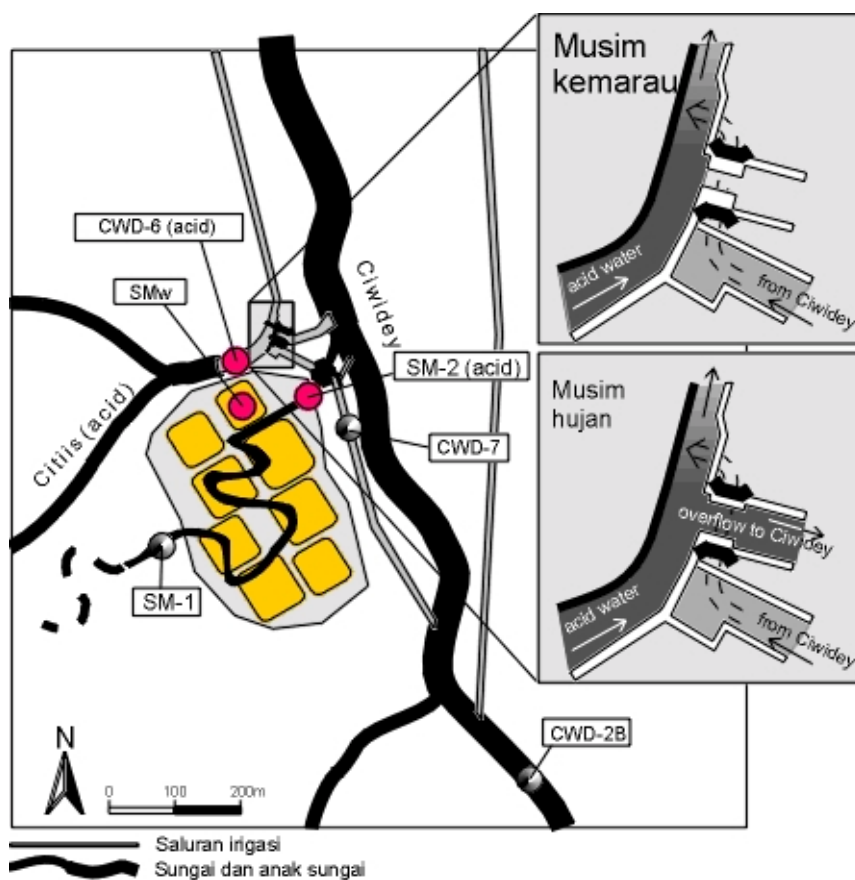
Smedley, P.L., Edmunds, W.M. and Pelig-Ba, K.B. (1996) *Mobility of arsenic in groundwater in the Obuasi gold-mining area of Ghana: some implications for human health*. In: *Environmental Geochemistry and Health* (J.D. Appleton, R. Fuge and G.J.H. McCall, editors). *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 113: 163-181.



Gambar 1. Bandung Basin

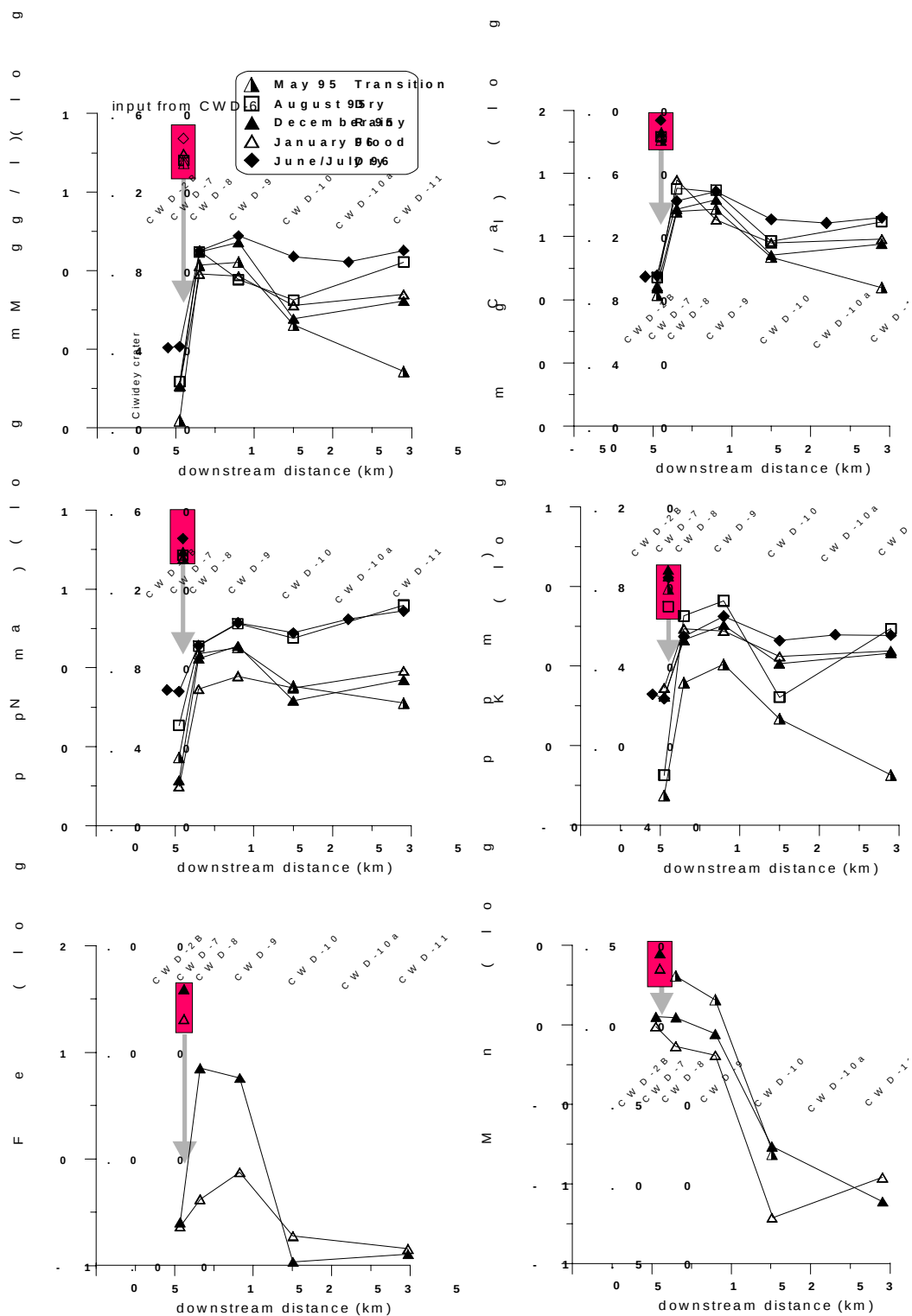


Gambar-2
Lokasi sampling dan sumber pencemaran

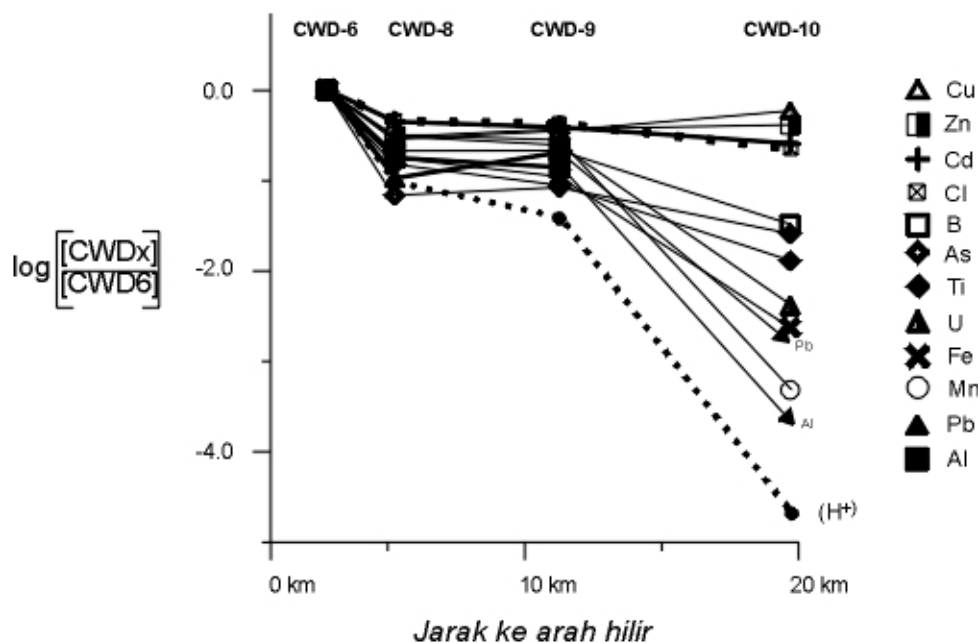


Gambar-3
Kolam Lumpur Belerang

Gambar 4. Grafik fluktuasi unsur di Sungai Ciwidey



Gambar-5



Gambar-5

