

## Karakteristik kimiawi air danau kawah Gunung Api Kelud, Jawa Timur pasca letusan tahun 1990

EKA KADARSETIA, SOFYAN PRIMULYANA, PRETINA SITINJAK,  
dan UGAN BOYSON SAING

Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi,  
Jln. Diponegoro No. 57, Bandung, Indonesia

### SARI

Gunung Api Kelud merupakan gunung api strato dengan erupsi bersifat freatomagmatik dan magmatik. Sejak peristiwa letusan tahun 1990, belum terlihat lagi kegiatan vulkanisme yang signifikan. Sebuah danau yang terbuka ke arah barat adalah bekas kawah yang telah terisi air meteorik dan kondensat gas vulkanik dari bawah permukaan. Di bagian tepi danau terdapat fumarola/solfatara yang masih menunjukkan aktivitas vulkanisme.

Komposisi kimia air danau kawah tersebut mengalami fluktuasi karena diduga terpengaruh oleh faktor-faktor: musim, tingkat aktivitas vulkanisme, dan reaksi antarunsur kimia air danau.

Volume air danau kawah bertambah selama terjadi musim hujan dan menyebabkan terjadinya pengenceran air danau, sehingga terjadi penurunan konsentrasi komponen-komponen penunjang komposisi kimiawi air danau. Suhu air danau mengalami kenaikan ketika terjadi peningkatan vulkanisme dan secara bersamaan senyawa dan unsur-unsur terlarut seperti  $SO_4$ , Cl, B, dan F akan mengalami peningkatan. Kondisi ini menyebabkan air danau bersifat asam. Fumarola/solfatara melepaskan berbagai jenis gas di antaranya  $CO_2$ , CO, HCl,  $SO_2$ ,  $H_2S$ , HF,  $H_2$ , HBr,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ,  $H_3BO_3$ , dan  $N_2$ . Sementara itu interaksi antara batuan andesit dengan air yang bersifat asam diduga menghasilkan sumber ion yang terdiri atas Na, K, Ca, Mg, Fe, Al termasuk unsur-unsur jejak seperti Zn, Li, Sr, As, Rb, Cr, Pb, Ti, Ni, Cu, Ce, dan Be.

Komposisi kimia air danau kawah Gunung Api Kelud termasuk ke dalam kategori *immature water* dengan kandungan  $\geq 60\%$   $HCO_3$ . Fluktuasi kandungan unsur-unsur, senyawa, dan gas-gas dalam air danau kawah dengan gejala penurunan konsentrasi ketiga komponen kimiawi tersebut selama periode 1990 – 2005, diduga berkaitan dengan penurunan kegiatan vulkanisme pasca letusan 1990.

**Kata kunci:** Kelud, kimiawi gas, air danau kawah, vulkanisme, pasca letusan 1990

### ABSTRACT

*Kelud is a strato type volcano characterized by phreatomagmatic and magmatic eruptions. Since last eruption in 1990, the volcano has showed no-more significant volcanism. Currently, there is an opened westward crater lake as a remained eruption crater containing meteoric water and volcanic gases condensate generated from subsurface.*

*Analysis result of lake water exhibits that its chemical composition was fluctuated due to an influence of factors such as seasons, rates of volcanism activity and reactivity of internal chemical elements within the lake water.*

*The volume of lake water increases during the wet season and experiences dilution to make declination of chemical components within the water. Temperature of the lake water increases as well as volcanic intensity, simultaneously to make addition of dissolved chemical compounds and elements such as  $SO_4$ , Cl, B, and F and creates acidic water. Fumarole/solfatara released anykind of gases, such as  $H_2O$ ,  $CO_2$ , CO, HCl,  $SO_2$ ,  $H_2S$ , HF,  $H_2$ , HBr,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ,  $H_3BO_3$ , and  $N_2$ . Moreover interaction of andesitic rock and acidic water apparently produces ionic source of Na, K, Ca, Mg, Fe, Al including trace elements such as Zn, Li, Sr, As, Rb, Cr, Pb, Ti, Ni, Cu, Ce, and Be.*

*The composition of crater lake water of the Kelud volcano is included into an immature water*

category with  $HCO_3^-$ . The fluctuation of element, compound and gas contents within the lake water with their depletion trend during the period of 1990 – 2005 may be related to decreasing of volcanism activity in the duration of 1990 post-eruption.

**Keywords:** Kelud, chemical composition gas, crater lake water, volcanic activity, post 1990 eruption

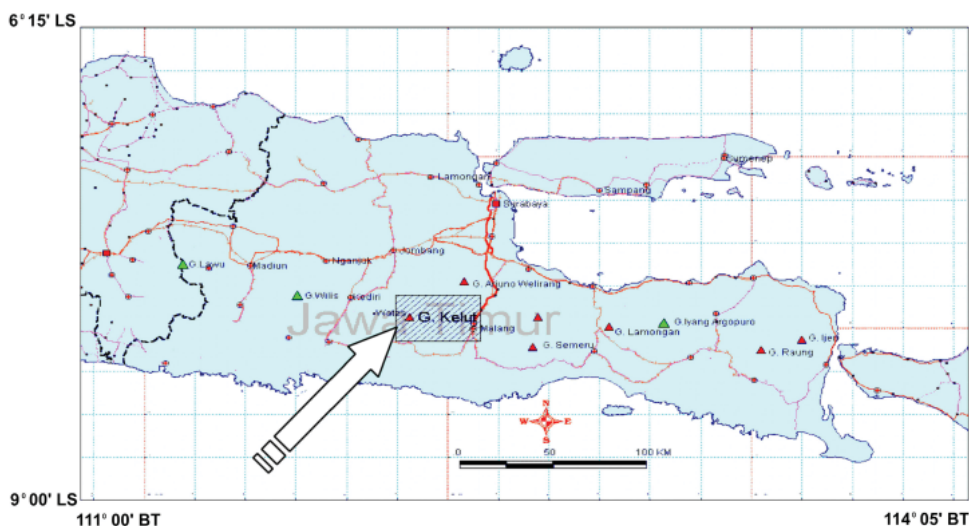
## PENDAHULUAN

Secara administratif Gunung Api Kelud terletak di Kabupaten Kediri, Blitar, dan Malang, Provinsi Jawa Timur (Gambar 1), sedangkan secara geografis terletak pada  $7^{\circ}56'$  LS dan  $112^{\circ}18'30''$  BT dengan ketinggian puncak 1.113,9 m di atas permukaan laut (dpl). Gunung api ini berbentuk strato yang diklasifikasikan sebagai gunung api aktif tipe A bersifat freato magmatik sampai magmatik.

Secara morfologis, Gunung Api Kelud ditandai oleh keberadaan beberapa bekas kawah yang tumpang tindih berbentuk tapal kuda di bagian tertentu. Hal ini mencirikan bahwa telah terjadi erupsi secara berulang dan bersifat eksplosif. Telah teridentifikasi sebuah danau kawah pada ketinggian  $\pm 1.200$  m yang terbuka ke arah barat, dan diyakini sebagai bekas kaldera letusan yang telah terisi air, serta teramati masih menunjukkan aktivitas vulkanisme. Danau kawah tersebut dikelilingi oleh kubah-kubah lava seperti Gunung Lirang, Gunung Sumbing, Gunung Kelud, dan Gunung Gajah Mungkur.

Berdasarkan data sejarah letusan diketahui bahwa daur kegiatan Gunung Api Kelud berkisar antara 15 sampai dengan 30 tahun, dan kegiatan letusan terutama terjadi di bagian kawah yang berisi air pada ketinggian  $>1600$  m dpl dengan letusan berupa semburan lahar primer mencapai suhu  $200^{\circ}$  C (Kusumadinata, 1979; Zaennudin dkk., 1986). Begitu eksplosifnya letusan dan ditambah oleh keterlibatan air danau bervolume relatif besar mengakibatkan kerusakan yang dahsyat pada lahan pertanian, perkebunan, dan pemukiman termasuk sejumlah besar korban manusia tewas.

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sifat-sifat kimiawi Gunung Api Kelud, sedangkan tujuannya adalah untuk mengetahui hubungannya dengan kegiatan vulkanisme dari gunung api tersebut pasca letusan 1990. Penelitian terhadap karakteristik kimiawi air danau Gunung Api Kelud dilakukan dengan melibatkan metode kompilasi data primer hasil pemercontohan gas dari fumarola/solfatara dan data sekunder komposisi kimia air danau kawah



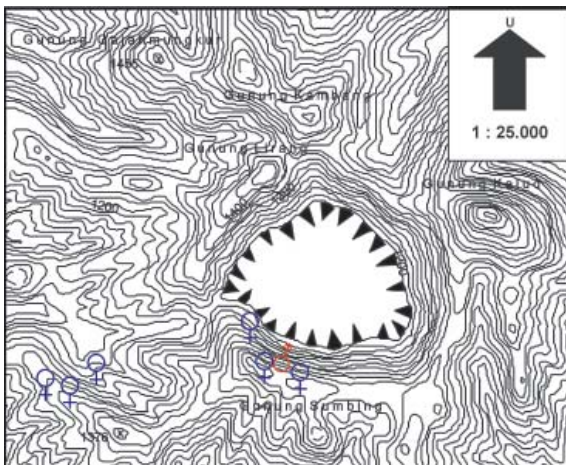
Gambar 1. Lokasi penyelidikan Gunung Kelud, Jawa Timur.

## KANDUNGAN GAS-GAS VULKANIK DARI FUMAROLA/SOLFATARA

Fumarola/solfatara di sekitar danau kawah Gunung Api Kelud melepaskan berbagai jenis gas di antaranya  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $HCl$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $HF$ ,  $H_2$ ,  $HBr$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ,  $H_3BO_3$ , dan  $N_2$ . Berlimpahnya pelepasan gas-gas dari fumarola/solfatara dimana sebagian terlarut ke dalam air danau kawah tersebut merupakan indikasi peningkatan pembebasan gas-gas dari magma, yang diduga berkaitan dengan kenaikan kegiatan vulkanisme.

Hasil pemercontohan gas pada beberapa bulan pasca letusan 1990 (Gambar 2; Tabel 1) menunjukkan bahwa proses pengeluaran gas dari fumarola/solfatara berjalan cukup kuat dan memperlihatkan kecenderungan miskin kandungan  $H_2O$  (Kadarsetia, 1998). Sementara pemercontohan gas pada Juli 1990 ( $T = 156^\circ C$ ) dan Agustus 1990 ( $T = 842^\circ C$ ) masing-masing mendeteksi kandungan 95,82% dan 68,64%  $H_2O$ . Gas-gas yang dilepaskan pada suhu tinggi biasanya bersifat agak kering, mengandung uap air temperatur tinggi, relatif banyak mengandung hidrogen bebas, karbon monoksida, metana, uap logam klorida, dan gas fluorida (Rankama dan Sahama, 1949).

Pemercontohan gas-gas Juli 1990 menghasilkan data bahwa  $CO_2$ ,  $SO_2$ , dan  $HCl$  berbanding terbalik dengan kandungan  $H_2O$  yang ditunjukkan oleh terdeteksinya 3,76%  $CO_2$  dan sebulan kemudian meningkat menjadi 18,35%. Demikian juga halnya



Gambar 2. Titik lokasi pengambilan contoh air danau kawah, mata air dingin, dan gas.

dengan  $SO_2$  yang menunjukkan peningkatan dari 0,05% menjadi 6,12% dan  $HCl$  mengalami kenaikan dari 0,1% menjadi 0,71%.

## KOMPOSISI KIMIA AIR DANAU KAWAH

Danau kawah terbentuk di dalam depresi morfologi yang disebabkan oleh letusan eksplosif, yang kemudian, diisi dengan air meteorik dan kondensat gas vulkanik dari bawah permukaan. Sejak peristiwa letusan terakhir Gunung Kelud tahun 1990, belum terlihat lagi kegiatan vulkanisme yang signifikan, bahkan tidak terjadi kenaikan suhu solfatara/fumarola. Rembesan dan gelembung gas di bagian tepi danau relatif lemah, sementara suhu air danau kawah berkisar antara  $35,8 - 36,5^\circ C$  dengan pH berkisar antara 6 - 7 (lihat Tabel 2).

Hasil pemercontohan air danau kawah Januari 1990 menunjukkan bahwa air danau mengandung 50 ppm Ca dan mengalami kenaikan menjadi 130 ppm pada Juni 2005. Kandungan K dan Fe menunjukkan masing-masing nilai konstan antara 20 - 40 ppm dan 0,5 - ppm pada periode tahun 1987 - 2005 (Gambar 3).

Dari pengukuran derajat keasaman air danau pada periode 2000 - 2005 teridentifikasi adanya kenaikan pH secara berkesinambungan dari 6 ke 7 dan menurun menjadi  $< 4$  pada Juni 1999 (Gambar 4). Sementara itu pada periode tahun 1987 - 1990, kandungan  $NH_3$  mengalami penurunan menjadi  $> 2$  ppm dibandingkan dengan kandungan senyawa tersebut pada periode tahun 2000 - 2005 ( $< 2$  ppm, Gambar 4). Penurunan konsentrasi terjadi juga pada Cl dari 620 ppm pada tahun 2000 menjadi 100 ppm pada tahun 2005 (Gambar 5).

Sulfat menunjukkan harga fluktuatif antara 400 hingga 600 ppm pada periode tahun 1987 - 2003 dan mengalami penurunan secara menerus dari 600 ppm menjadi 400 ppm pada periode tahun 2003 - 2005; sedangkan  $HCO_3$  mengalami fluktuasi antara 200 hingga 450 ppm pada periode tahun 2000 - 2005 (Gambar 5).

## PEMBAHASAN

Pada saat ini volume air danau kawah Gunung Api Kelud diperkirakan sekitar 1,8 juta  $m^3$  dengan

Tabel 1. Variasi Komposisi Kimia Gas Gunung Kelud dan Gunung Ijen (Data dari beberapa sumber)

Unsur	Kelud				Ijen
	07-90	8-90	09-93	04-97	06-99
H <sub>2</sub> O	95,82	68,64	97,94	98,61	57,27
HCl	0,10	0,71	0,43	-	4,40
SO <sub>2</sub>	0,05	6,12	0,02	0,03	3,79
H <sub>2</sub> S	0,05	0,04	0,0002	0,02	0,76
CO <sub>2</sub>	3,76	18,35	0,54	0,05	15,87
CO	-	-	-	-	-
N <sub>2</sub>	0,09	5,67	0,85	-	15,09
H <sub>2</sub>	0,11	0,002	0,023	0,01	-
O <sub>2</sub> +Ar	0,02	0,47	0,19	0,17	1,82
T° C	156	842	352	-	-

komposisi kimia yang berfluktuasi, karena diduga dipengaruhi oleh faktor-faktor: musim, tingkat aktivitas vulkanisme, dan reaktivitas antarunsur kimiawi air danau. Selama musim hujan, volume air danau kawah mengalami peningkatan dan menyebabkan terjadinya pengenceran air danau, yang berakibat kepada penurunan konsentrasi komponen-komponen penunjang komposisi kimiawi air danau. Penurunan konsentrasi tersebut juga dapat disebabkan oleh keberadaan senyawa-senyawa kompleks garam sulfat, karbonat, dan silikat yang dibentuk oleh hasil pengendapan unsur-unsur Al, Fe, Ca, Mg, Si, Na, dan K. Suhu air danau mengalami kenaikan ketika terjadi peningkatan vulkanisme dan secara bersamaan senyawa dan unsur-unsur terlarut seperti SO<sub>4</sub>, Cl, B, dan F akan mengalami peningkatan, sehingga menyebabkan air danau bersifat asam.

Interaksi antara batuan andesit dengan air yang bersifat asam diduga menghasilkan sumber ion yang terdiri atas Na, K, Ca, Mg, Fe, Al termasuk unsur-unsur jejak seperti Zn, Li, As, Rb, Cr, Pb, Ti, Ni, Cu, Ce, dan Be. Pembentukan ion-ion Mg, Li, dan Na tidak dibatasi oleh faktor kelarutan tetapi secara teoritis juga dipengaruhi oleh faktor suhu. Kenaikan suhu yang terjadi pada periode kegiatan dan saat erupsi diduga telah menaikkan konsentrasi unsur-unsur tersebut, dan dalam waktu bersamaan terjadi penurunan konsentrasi Al, Ca, K, Fe,

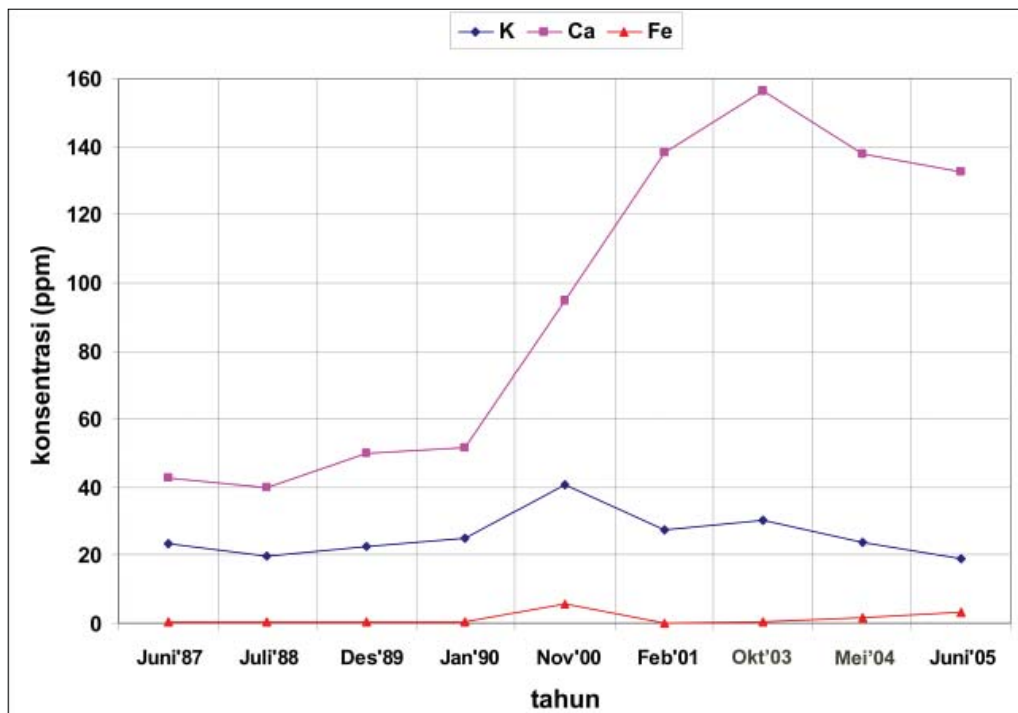
unsur jejak dan alkali tanah yang disebabkan oleh pengendapan kompleks garam sulfat atau logam (Sriwana, 1990).

Dari hasil *ploting* pada diagram segitiga Na-K-Mg (Gambar 6) diperoleh hasil bahwa air danau kawah Gunung Api Kelud berada mengelompok pada sudut %√Mg, yaitu pada daerah *immature waters* yang berdekatan dengan daerah batuan gunung api. Hal ini kemungkinan besar berkaitan dengan interaksi yang berjalan secara intensif antara batuan gunung api dengan air danau dalam kondisi fisika dan kimia tertentu, yang menyebabkan terlarutnya Ca ke dalam air danau. Dalam peristiwa ini gas-gas SO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S diduga cukup berperan dalam mempengaruhi komposisi kimia air danau kawah. Dari kedua gas tersebut unsur belerang (S) dominan dihasilkan dari andesit di kedalaman bawah permukaan.

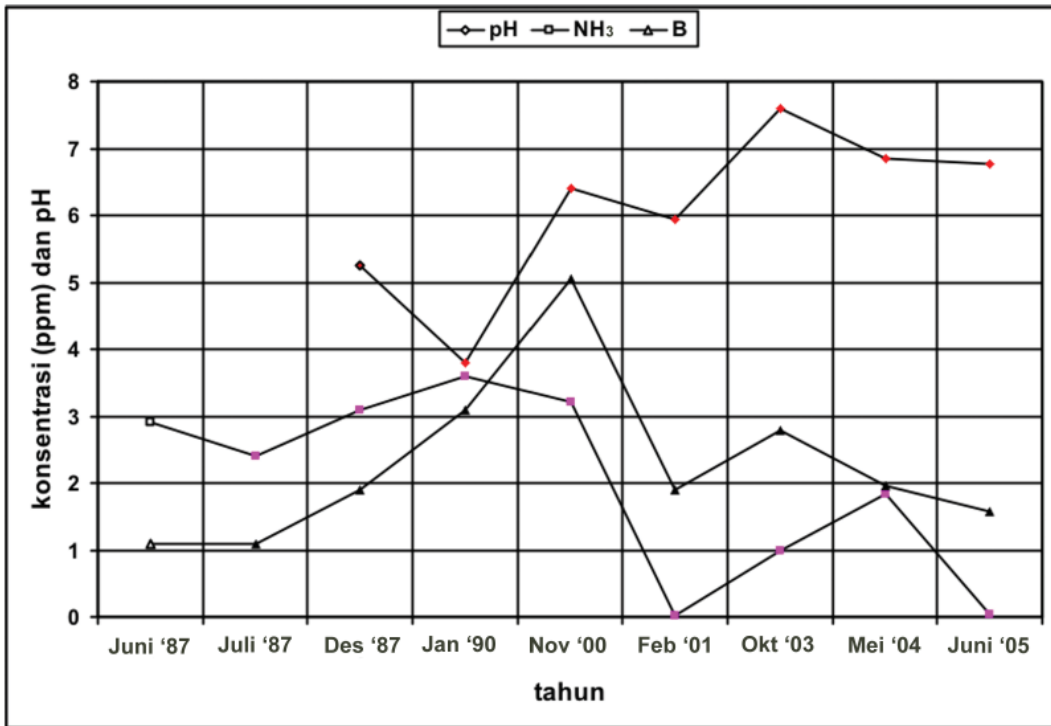
Hasil *ploting* kandungan gas dalam air danau kawah pada diagram segitiga SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>-Cl (Gambar 7) menunjukkan bahwa air danau berada dalam daerah air vulkanis dengan kandungan ≥ 60% HCO<sub>3</sub>. Gas SO<sub>2</sub> sebagai produk langsung dari magma yang terdeteksi pada fumarola/solfatar, selama perjalanannya ke permukaan bereaksi dengan air menjadi SO<sub>3</sub> dan kemudian SO<sub>4</sub>. Demikian juga dengan CO<sub>2</sub>, yang akan teroksidasi pada media air ber-pH asam untuk membentuk HCO<sub>3</sub> di dalam air. Konsentrasi maksimum dalam air dengan pH yang

Tabel 2. Variasi Data Kimia Air Danau Kawah Gunung Kelud Tahun 1987-2005

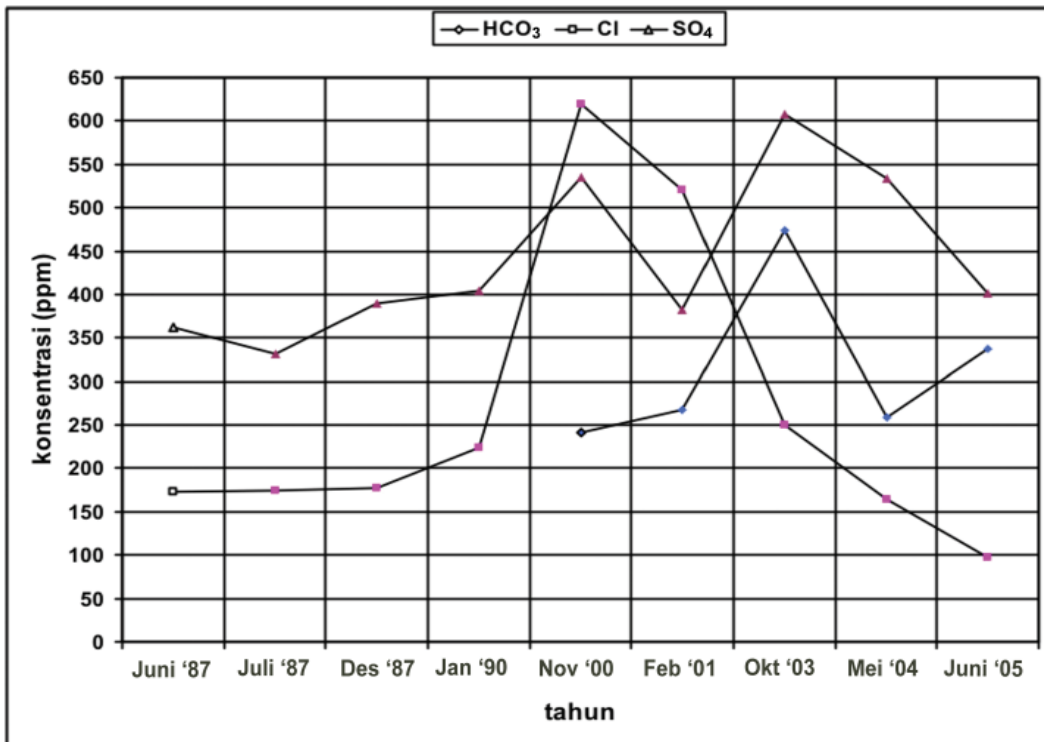
PARAMETER	SATUAN	Juni 87	Juli 88	Des 89	Jan 90	Nov 2000	Feb 2001	Okt 2003	Mei 2004	Juni 2005
pH		-	-	-	-	6,9	5,94	7,60	6,85	6,76
Konduktivitas	umhos/cm	-	-	-	-	-	1910	2550	1950	1700
Temperatur udara	°C	-	-	-	-	-	24	-	29	27
Temperatur air	°C	-	-	-	-	-	50	31,3	36,9	33,5
Na <sup>+</sup>	ppm	150	142	157	162	103,75	197,12	173,00	209,37	110,34
K <sup>+</sup>	ppm	23,2	19,7	22,6	24,9	40,90	27,34	30,20	23,96	18,88
Li <sup>+</sup>	ppm	-	-	-	-	-	2,78	3,02	2,33	1,83
Ca <sup>++</sup>	ppm	42,7	39,7	50,0	51,7	94,75	138,38	156,26	137,86	132,66
Mg <sup>++</sup>	ppm	21,5	22,2	31,8	51,2	34,95	19,82	60,00	19,91	46,09
Fe <sup>+++</sup>	ppm	0,4	0,5	0,6	0,5	5,54	0,05	0,51	1,60	3,19
NH <sub>3</sub>	ppm	2,9	2,4	3,1	3,6	3,21	0,02	1,00	1,84	0,04
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ppm	-	-	-	-	240,99	267,02	473,46	258,24	337,15
Cl <sup>-</sup>	pm	173	175	178	224	620,09	520,06	249,92	163,92	96,92
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	ppm	362	331	389	404	534,48	382,50	608,00	534,03	400,67
B	ppm	1,1	1,1	1,9	3,1	5,05	1,89	2,78	1,96	1,58
F <sup>-</sup>	ppm	-	-	-	-	-	4,00	1,00	2,10	2,10
SiO <sub>2</sub>	ppm	160	176	180	191	113,45	174,00	150,66	89,05	25,00



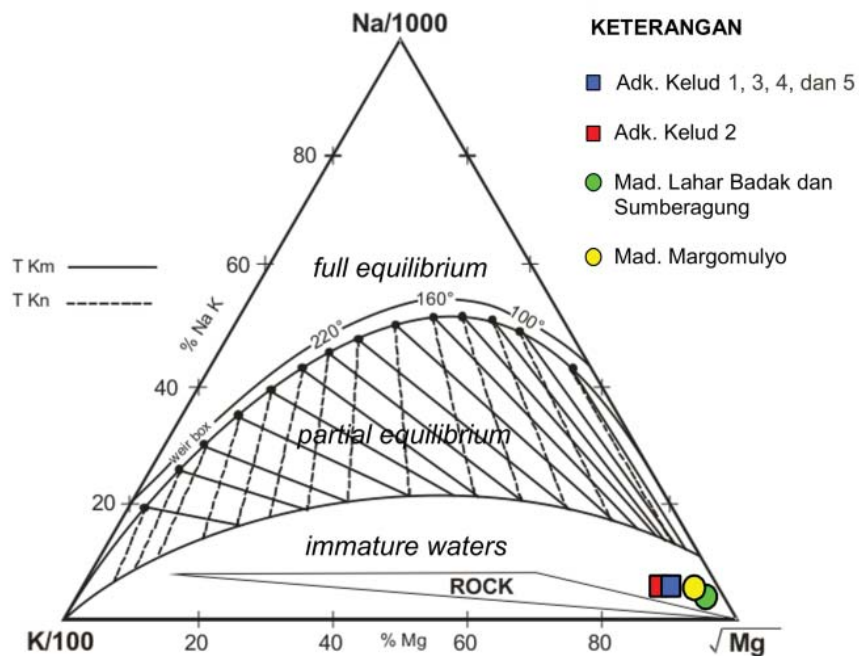
Gambar 3. Grafik konsentrasi kalium, kalsium, dan besi dari inlet tahun 1987-2005.



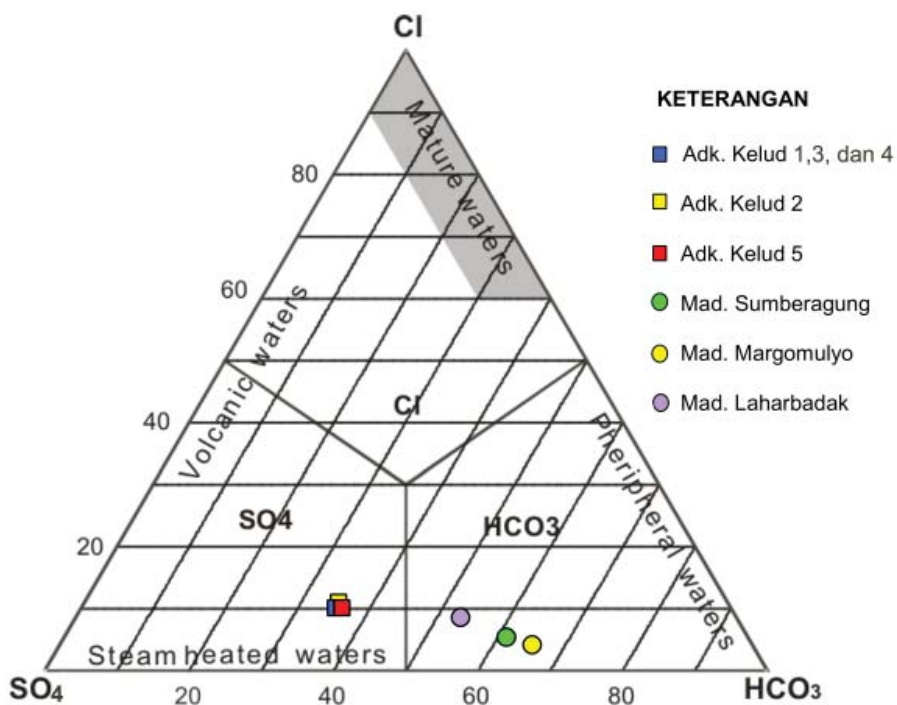
Gambar 4. Grafik pH, konsentrasi NH<sub>3</sub> dan B, dari 1987 sampai 2005.



Gambar 5. Grafik konsentrasi bikarbonat, klorida, dan sulfat dari inlet tahun 1987 – 2005.



Gambar 6. Diagram segitiga Na/1000-K/100-√Mg (Giggenbach, 1989) untuk air danau kawah (Adk.) dan mata air dingin (Mad.) tahun 2005.



Gambar 7. Diagram segitiga SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>-Cl (Giggenbach, 1989) untuk air danau kawah (Adk.) dan mata air dingin (Mad.) tahun 2005.

terus menurun/rendah akan menurunkan kandungan  $\text{HCO}_3$  (Sriwana, 1990; Sriwana dkk, 2004). Gas Cl berupa senyawa HCl dihasilkan oleh pembebasannya dari magma, yang secara teoritis dapat diproduksi pada suhu dan tekanan yang tinggi.

Beberapa bulan pasca letusan 1990 dengan pelepasan gas masih cukup kuat dari fumarola/solfatara, teridentifikasi kecenderungan pengurangan kandungan  $\text{H}_2\text{O}$ ; dan mengalami peningkatan kandungan  $\text{H}_2\text{O}$  ketika proses pelepasan gas semakin menurun. Kandungan gas-gas  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , dan HCl berbanding terbalik dengan  $\text{H}_2\text{O}$ . Mengacu pada gambaran tersebut dapatlah dikatakan bahwa penurunan secara drastis  $\text{H}_2\text{O}$  di satu pihak dan kenaikan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , dan HCl di pihak lain dapat dikaitkan dengan kemungkinan peningkatan aktivitas vulkanisme.

Kenaikan kandungan Ca di dalam air danau diduga berhubungan dengan intensifnya interaksi antara batuan dengan air danau, sedangkan konsentrasi HCl diperkirakan mempengaruhi pH air, sehingga air danau menjadi bersifat netral. Selanjutnya, peningkatan daya larut  $\text{CO}_2$  dan penurunan suhu air danau sangat berperan dalam menciptakan kenaikan konsentrasi  $\text{HCO}_3$  (Primulyana dkk., 2005).

### KESIMPULAN

Komposisi kimia air danau kawah Gunung Api Kelud termasuk ke dalam kategori *immature water* dengan kandungan  $\geq 60\%$   $\text{HCO}_3$ . Terdapat indikasi penurunan kegiatan vulkanisme pasca letusan tahun 1990, dengan mengacu kepada fluktuasi kandungan unsur-unsur, senyawa dan gas-gas dalam air danau kawah yang memperlihatkan gejala penurunan konsentrasinya selama periode 1990 – 2005.

**Ucapan Terima Kasih**—Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) atas segala fasilitas yang diberikan sehingga terwujudnya tulisan ini. Penghargaan yang tinggi untuk Kepala Laboratorium Kimia Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Kegunungpian – PVMBG Yogyakarta atas perannya dalam memfasilitasi berbagai analisis data. Terima kasih yang tidak terhingga kepada para pengamat Gunung Api Kelud atas segala bantuannya.

### ACUAN

- Giggenbach, W.F. dan Gogguel, R.L., 1989. *Collection and analyses of geothermal and volcanic water and gas discharges, 4<sup>th</sup> edition*. Department of Scientific and Industrial Research, Petone, New Zealand.
- Kadarsetia, E., 1998. *Laporan Kegiatan Analisis Gas G. Kelud, Jawa Timur*. Direktorat Vulkanologi, tidak diterbitkan.
- Kusumadinata, K., 1979. *Data Dasar Gunungapi Indonesia*. Direktorat Vulkanologi.
- Primulyana, S, Sriwana, T., Sitinjak, P., dan Mazir, R., 2005. *Laporan Penyelidikan Sifat Kimia G. Kelud*. Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Tidak diterbitkan.
- Rankama, K. dan Sahama, T.H.G., 1949. *Geochemistry*. The University of Chicago press.
- Sriwana, T., 1990. *Penyelidikan Geokimia Air G. Kelud, Kediri-Jatim Pada Bulan Januari 1990*. Direktorat Vulkanologi. Tidak diterbitkan.
- Sriwana, T., Primulyana, S., dan Mazir, R., 2004. *Laporan Inventarisasi Sifat Kimia dan Gas Gunung Kelud*. Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Tidak diterbitkan.
- Zaennudin, A., Dana, I.N., dan Wahyudin, D., 1986. *Laporan Kegiatan Pemetaan Geologi G. Kelud Kab. Kediri dan Kab. Blitar, Jawa Timur*. Direktorat Vulkanologi. Tidak diterbitkan.