

IDENTIFIKASI PARAMETER FISIKA DAN KIMIA AIRTANAH

PADA AKIFER ENDAPAN PRODUK GUNUNG API

(Studi kasus : Cekungan Airtanah Bandung)

Oleh

Bambang Sunarwan, Netty Kamal, dan Mustafa Luthfi

Abstrak

Pelamparan akifer pembentuk CAT Bandung-Soreang terdiri atas batuan hasil pengendapan batuan gunungapi hasil erupsi G.Tangkubanperahu dan dialasi oleh batuan endapan sedimen umur Tersier. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap karakteristik model hidrogeologi CAT Bandung-Soreang, dengan litologi pembentuk akuifer berupa endapan vulkanik yang memiliki kemiripan parameter hidrolika (porositas dan permeabilitas) sebagai refleksi strata kehadiran dan pergerakan airtanah pada akifer dalam satu kesatuan “satuan hidrostratigrafi” (UHs) atau dikenal dengan *hidrostratigrafic units (HSU)*.

Dipertegas dengan hasil perunutan isotop stabil Oksigen-18 (^{18}O), Deuterium (^2H), dan Tritium (^3H), sifat fisik-hidrokimia akuifer serta dengan mengacu pada stratigrafi cekungan geologi Bandung, karakteristik kimia airtanah untuk hidrostratigrafi vulkanik CAT Bandung-Soreang, dapat diidentifikasi, dan mampu melengkapi pengembangan hidrogeologi CAT Bandung-Soreang.

Tujuan penelitian adalah menyusun hidrostratigrafi sesuai kaidah hidrogeologi untuk daerah endapan vulkanik dilengkapi dengan karakterisasi hidrokimia akuifer, perunutan konsentrasi Oksigen -18 (^{18}O), Deuterium (^2H), dan Tritium (^3H) dengan daerah penelitian Cekungan Airtanah (CAT) Bandung - Soreang.

Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan tiga pendekatan yakni: observasi hidrogeologi permukaan, identifikasi dan analisis sifat hidrolika akifer sumber air (mata air, sumur gali dan data pengeboran), serta memanfaatkan analisis statistik terhadap data hidrokimia airtanah. Penjelasan masing masing metode diterangkan pada pembahasan metodologi.

Kata kunci : *identifikasi, parameter, akifer, hidrostratigrafi, hidrokimia, cekungan airtanah.*

1. PENDAHULUAN

1.1. Gunung Api di Kepulauan Indonesia

Kawasan Indonesia merupakan bagian dari jalur gunung api, memiliki kurang lebih 128 gunung api aktif (Data Dasar Gunungapi Indonesia, 1979), meliputi kurang lebih luasan lahan terancam bencana gunungapi 16620 km² (Koesumadinata, 1979). Jumlah gunung api tersebut bertambah setelah dilakukan revisi menjadi 129 gunungapi, menurut website Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Alam Geologi (<http://portal.vsi.esdm.go.id>) atau sejak

kemunculan Gunung Anak Ranakan di Pulau Flores yang mengalami erupsi pada tahun 1990.

Diantara posisi sejumlah besar gunungapi, 9 (sembilan) diantaranya berada di kawasan Jawa Barat – Banten, termasuk G.Krakatau di Selat Sunda. Sebagian besar gunungpi berumur Kuartar dan memiliki bentuk strato, termasuk G.Tangkubanperahu yang berada di kawasan CAT. Bandung – Soreang. Kehadiran jumlah besar gunungapi membuat kawasan Indonesia menjadi salah satu negara penting dalam penelitian kegunungapian. Namun demikian masih belum banyak penelitian yang secara spesifik melakukan

telaah mengenai kondisi hidrogeologi kawasan gunungapi. Sementara diketahui hidrogeologi daerah yang dibentuk oleh hasil erupsi gunungapi dan lapukannya memiliki kontribusi besar terhadap pemenuhan kebutuhan air, khususnya bagi penduduk yang kian meningkat dan mendiami kaki gunungapi seperti halnya kota-kota besar di Indonesia: Bandung, Bogor - Jakarta, termasuk Medan, Semarang, dan Surabaya.

Berdasar peneliti terdahulu memperkenalkan bahwa pelamparan akuifer penyusun CAT Bandung-Soreang, dibentuk oleh batuan hasil erupsi vulkanik G. Tangkubanperahu dan dialasi oleh endapan batuan sedimen berumur Tersier. Kondisi tersebut, berpengaruh terhadap karakteristik model hidrogeologi CAT Bandung-Soreang, yang dibentuk oleh kelompok akuifer endapan vulkanik dengan ciri fisik (porositas dan permeabilitas) serta hidrokimia yang memberikan refleksi strata pembentukan dan pergerakan airtanah pada akuifer vulkanik penyusun Satuan Hidrostratigrafi Hidrostratigrafi (UHs) atau dikenal dengan *Hidrostratigrafic Units (HSU)*.

Dipertegas dengan hasil peruntutan isotop stabil Oksigen-18 (^{18}O), Deuterium (^2H), dan Tritium (^3H), sifat fisik - hidrokimia akuifer serta dengan mengacu pada stratigrafi cekungan geologi Bandung, diharapkan karakteristik kimia airtanah untuk hidrostratigrafi vulkanik CAT Bandung-Soreang, dapat teridentifikasi, dan mampu melengkapi pengembangan hidrogeologi CAT Bandung-Soreang.

1.2. Lokasi penelitian

Lokasi kajian meliputi kawasan CAT Bandung-Soreang (Gambar 1.1 dan 1.2), secara administratif mencakup wilayah: Kotamadya Dati II Bandung, Dati II. Kabupaten Bandung, sebagian wilayah Kota Cimahi, sebagian Kabupaten Dati II. Bandung Barat, dan sebagian wilayah Kabupaten Dati II. Sumedang.

Keseluruhan berada di Provinsi Dati I. Jawa Barat. Secara geografi posisi tersebut berada pada ($107^{\circ} 21' 55.07'' - 107^{\circ} 57' 07.21''$) BT dan ($6^{\circ} 48' 29.70'' - 7^{\circ} 17' 47.28''$) LS., merupakan batas kawasan CAT Bandung-Soreang, sesuai "KEPPRES R.I. Nomor 26

Tahun 2011 tentang Penetapan Cekungan Airtanah" (Gambar 1.1)

1.3. Identifikasi Masalah

Cekungan airtanah (CAT) Bandung dibentuk oleh akuifer yang tersusun oleh perulangan batuan hasil erupsi gunungapi, dan berdasar stratigrafi dikelompokkan dalam satuan batuan Formasi Cikapundung (Qyt), Formasi Cibereum (Qyd), dan Formasi Cikidang (Qyu). Setiap batuan akuifer yang ada di tiap satuan batuan memiliki karakter/sifat hidrolika, baik porositas maupun permeabilitas bervariasi, dan pada kajian ini akan menjadi pembeda dalam pembagian unit hidrostratigrafi (UHs).

Koesoemadinata R.P, dan Hartono, D.(1981), menyatakan bahwa akuifer CAT. Bandung tersusun oleh batuan vulkanik dan secara geologi merupakan hasil produk erupsi, dengan kecenderungan sebaran satuan batuan berbentuk kipas dan diketahui menempati posisi stratigrafi, berada tidak selaras di atas satuan batuan sedimen berumur Tersier.

Posisi dan hubungan antara daerah imbuhan (*recharge area*) dengan daerah luhan (*discharge area*), perilaku aliran airtanah serta ketebalan maupun sebaran akuifer sangat menentukan dalam aktivitas eksplorasi ataupun deliniasi kawasan konservasi airtanah. Untuk efisiensi eksplorasi, dan pengembangan model hidrogeologi suatu kawasan perlu dilengkapi dengan data "Satuan Hidrostratigrafi".

1.3.1. Penelitian Lapangan

Dalam tahap ini dilakukan pengamatan kondisi geologi dan batuan penyusun akuifer di sekitar sumber air (mataair, sumurgali dan sumur pemboran), pencatatan koordinat (x,y, dan z), pengukuran debit mata air ataupun sifat fisik-kimia air tanah. Debit (Q) mata air lebih besar dari 10 l/det diukur menggunakan metoda *stream channeling*, untuk debit mata air kurang dari 1 l/det, pengukuran menggunakan wadah bervolume 1 l dan *stopwatch*. Pengukuran debit mata air dilakukan dua kali (*duplets*) untuk setiap pengamatan.

Sifat fisik airtanah yang diukur meliputi: temperatur udara (Tu), temperatur air (Ta), Daya Hantar Listrik (DHL), Total Padatan

Terlarut atau *Total Dissolved Solids* (TDS), dan pH (tingkat keasaman), Temperatur udara diukur menggunakan thermometer air raksa standar. Parameter lain diukur dengan alat ukur DHL/TDS meter dan pH meter merk *Hanna Instrument*. Untuk keperluan analisis kimia air, contoh air diambil dengan botol plastik berukuran 1 liter.

1.3.2. Uji Laboratorium Kimia Air

Uji laboratorium kimia air, dilakukan untuk mengetahui kandungan ion utama (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , dan Cl^-) menggunakan *Standard Method Evaluation for Water and Waste Water (SMEWW) oleh The America Public Health Administration (APHA) tahun 1999*. Hasil analisis kimia diverifikasi dengan metoda ion balance menggunakan persamaan 1, sebelum dilakukan analisis dan penafsiran lebih lanjut. Untuk batas *error ion balance* ditetapkan sebesar 10% (*Matthess, 1981*), contoh pengujian airtanah dengan *cation/anion balance* lebih dari 10 % dilakukan uji ulang.

$$\left[\frac{(\sum \text{cations} - \sum \text{anions})}{(\sum \text{cations} + \sum \text{anions})} \right] \times 100\% \quad \text{Persamaan 1}$$

Hasil uji laboratorium dibuat analisis dan klasifikasi, penafsiran serta pengelompokan asal – usul airtanah dengan memanfaatkan teknik klasifikasi berbasis sifat fisik, hasil uji kimia air, menggunakan metoda grafis ataupun statistik multivariabel yaitu: “Diagram Piper, Analisis Klaster (*Cluster Analysis*), serta Analisis Komponen Utama (*Principal Component Analysis*)”. Kombinasi analisis grafis dan statistik, dapat menghasilkan klasifikasi contoh yang konsisten dan saling mendukung (*Guller dkk, 2002*). Pada analisis statistik digunakan piranti lunak *Minitab version 16 by Minitab Inc.*, dan *Statistical Product and Service Solution (SPSS) version 20 by IBM*.

2. PARAMETER FISIK AIR TANAH PADA AKIFER DI CAT.BANDUNG – SOREANG.

Perilaku keterdapat dan kemunculan airtanah melalui lapisan akuifer pada sumber air, merupakan sarana penting untuk dipergunakan dalam melakukan identifikasi proses apa yang terjadi pada sistem tata air

tanah, dalam akuifer suatu cekungan. (*Zhang dkk, 1996*).

Beberapa sifat fisik airtanah yang diukur di lapangan meliputi: temperatur (T), (*Total Dissolved Solids*), keasaman (pH), ketinggian (elevasi), debit, Eh, Ec.

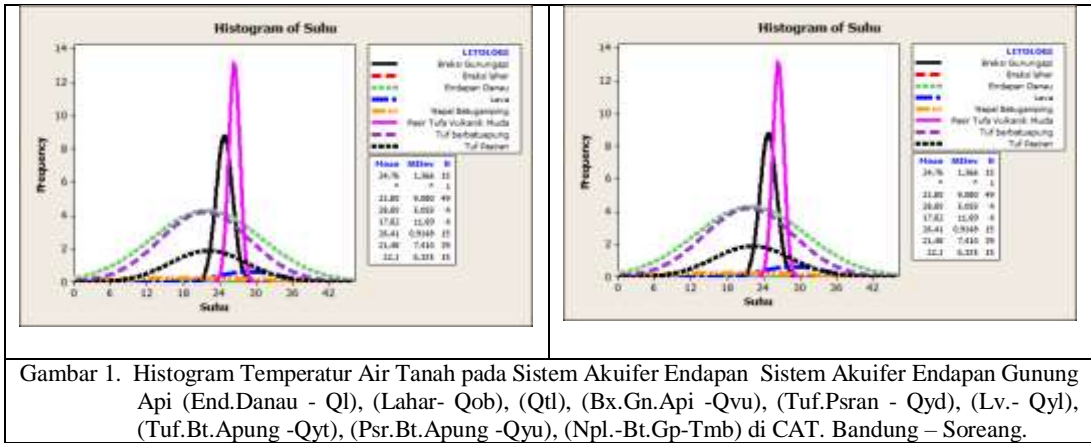
2.1. Temperatur

Dari 142 contoh sumber air berupa mataair dan sumurgali menempati pada UHS I, CAT.Bandung – Soreang, memiliki temperatur rata-rata terukur 24.706 °C, dengan kesalahan pendugaan 0.0117 %, Temperatur minimum 21.0 °C untuk Langensari – Cikidang, Lembang pada elevasi 1190 m.dpl. dan maksimum 36,4 °C adalah di lokasi mataair Lembah G.Geulis – Rancaekek, pada akuifer Breksi – Lava (Qyl). No. 28. Pengamatan tahun 2012. diperlihatkan pada histogram

Untuk 111 contoh sumur pemboran, pada UHs Gabungan, diketahui nilai temperatur rata-rata terukur adalah sebesar 23.42 °C, dengan kesalahan pendugaan 1.277 %, Temperatur minimum terukur 21.0 °C untuk sumur pemboran di Hotel Eldorado, Lembang pada elevasi 1060 m.dpl. dan maksimum 27.2 °C adalah di lokasi sumur pemboran PT.BSTM, Moh Toha elevasi 754 .dpl.

Akan tetapi batasan secara pasti belum dapat ditentukan. Penetapan katagori air mesotermal (kisaran suhu air tanah mirip atau sama dengan suhu udara), hipotermal (kisaran suhu airtanah lebih rendah dibandingkan suhu udara), dan hipertermal (kisaran suhu airtanah lebih tinggi dibandingkan suhu udara).

Temperatur airtanah, khususnya pada mataair dan sumurgali, sangat dipengaruhi temperatur udara. Perbedaan relatif kecil di antara kedua temperatur tersebut diduga merupakan indikasi akifer pada UHs I yang merupakan akifer tak tertekan, sedangkan perbedaan yang besar mengindikasikan adanya aliran airtanah yang lebih dalam. Akan tetapi batasan secara pasti belum dapat ditentukan. Penetapan katagori air mesotermal (kisaran suhu air tanah mirip atau sama dengan suhu udara), hipotermal (kisaran suhu air tanah lebih rendah dibandingkan suhu udara), dan hipertermal (kisaran suhu air tanah lebih tinggi dibandingkan udara)

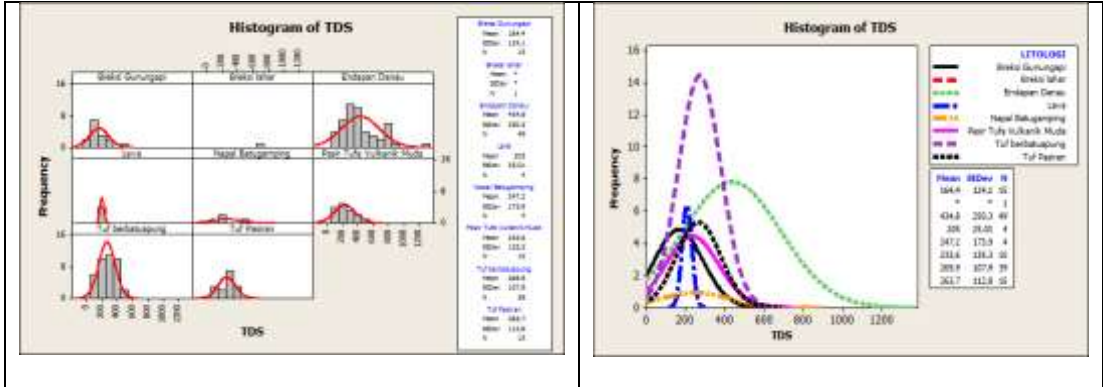


Gambar 1. Histogram Temperatur Air Tanah pada Sistem Akuifer Endapan Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (Qtl), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.Apung -Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung – Soreang.

2.2. Total Padatan Terlarut (Total Dissolved Solids)

Total Padatan Terlarut atau *Total Dissolved Solids* (TDS) menunjukkan konsentrasi ion terlarut dalam air. Semakin besar nilai, maka semakin besar ion terlarut, dimana kondisi ini memberikan indikasi adanya interaksi antara air tanah dengan akifer lebih intensif.

Pada sisi lain, semakin kecil nilainya, maka semakin sedikit ion terlarut. Tinggi atau rendahnya TDS, akan memberikan indikasi pola sistem input-output air tanah, menjadi semakin jauh kawasan imbuhan atau adanya peran suhu air yang bertambah panas, maka akan semakin besar nilai TDS nya.



Gambar 2. Histogram nilai Total Padatan Terlarut (TDS) pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (Qtl), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.Apung -Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung – Soreang.

Dari gambar tersebut, diketahui bahwa air tanah di lahar, dan aluvial atau dikenal dengan Endapan Danau. Bila dikaitkan dengan elevasi mata air, maka semakin rendah elevasi akan semakin besar pula TDS nya. Rata-rata TDS adalah 38,5 ppm dengan kisaran kemunculan 50 hingga 200 ppm (Gambar 2), sebagai indikasi jenis air meteorik.

rendah dapat ditafsirkan bahwa waktu kontak dengan batuan relatif singkat

Hanya sedikit mata air dengan nilai TDS lebih dari 200 ppm. Sebagai pembanding, mata air Ciuyah memiliki nilai TDS mendekati 12.000 ppm. Nilai TDS yang tinggi menjadi indikasi waktu kontak antara air tanah dengan akifer relatif lama. Sebaliknya, nilai TDS yang

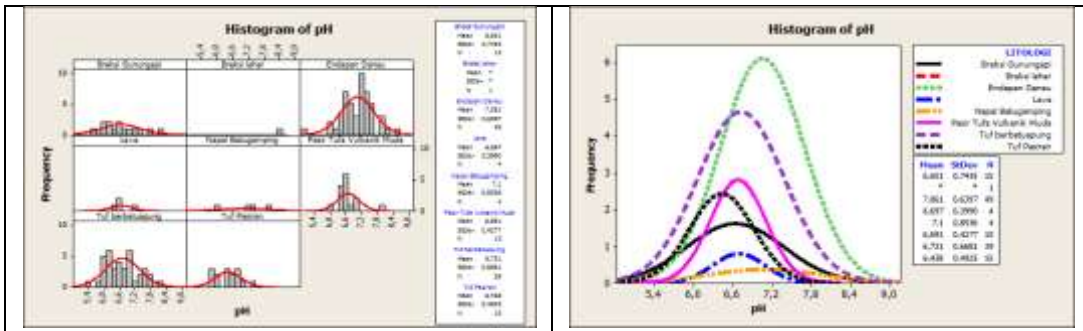
2.3. pH

Pengukuran pH merupakan bagian penting dalam menggali informasi mengenai tingkat keasaman air tanah. Umumnya nilai pH bervariasi dari 6 hingga 8,5. Hasil pengukuran pH di daerah penelitian menghasilkan kisaran pH di daerah penelitian menghasilkan kisaran 6 s/d 9 dengan rata-rata 6,82 (Gambar 3). Nilai yang sering muncul adalah 7 sampai 7.2.

Pada gambar tersebut terlihat bahwa air tanah pada Formasi Cibereum (Qyt) menunjukkan

pH paling tinggi, sedang Qob (formasi undiferetiated) memiliki pH paling rendah, yaitu 6,7. Air tanah pada lahar dan lava

memiliki pH menengah. Piroklastik (Qyt) memiliki pH tertinggi, sebesar 7,3.

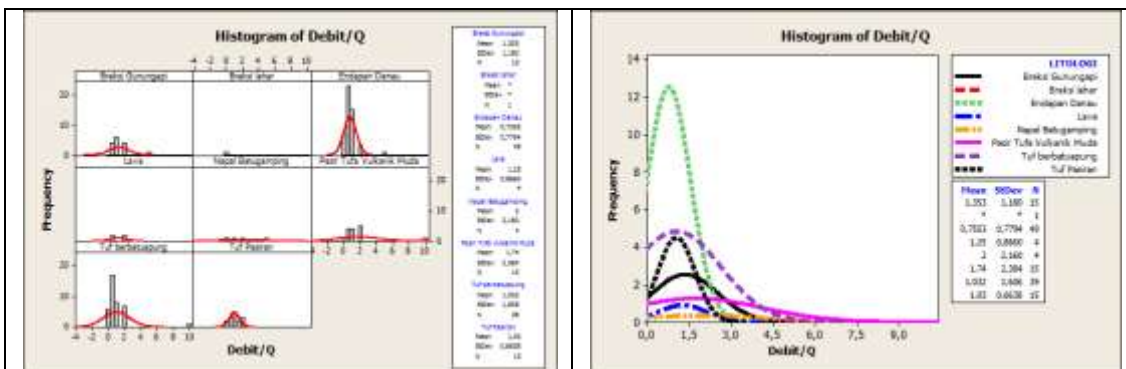


Gambar 3. Histogram pH pada Sistem Akifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar-Qob), (Qtl), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.Apung - Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung – Soreang.

2.4 Debit mata air

Dari 142 mata air maka besar debit maksimum adalah 10 liter/detik dan terkecil

adalah 1.2 liter/detik serta rata-rata adalah 1.07 liter/detik (Gambar 4 dan 5). Banyak faktor yang berperan termasuk kondisi luar CAT Bandung – Soreang.

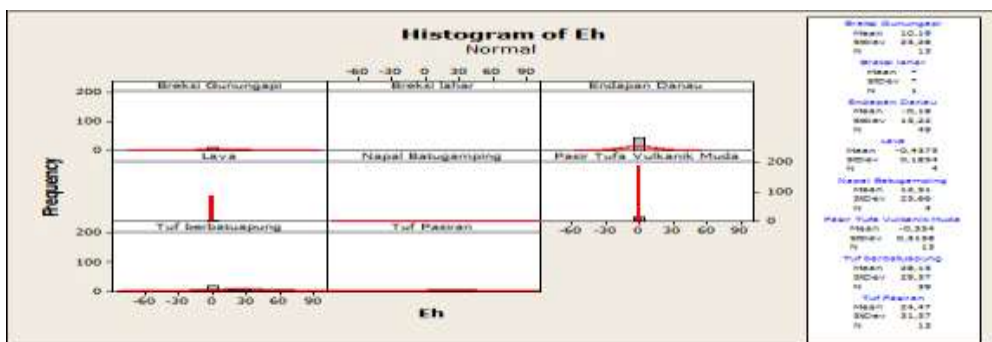


Gambar 4. Histogram Debit Mataair pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (Qtl), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran-Qyd),(Lv.-Qyl),(Tuf.Bt.Apung-Qyt), (Psr.Bt.Apung - Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung - Soreang.

2.5 Eh

Dari 142 sampel terukur, memperlihatkan nilai maksimum 81, minimum sebesar – 81

rata 11, kemunculan rata-rata 25,36 (Gambar 5)

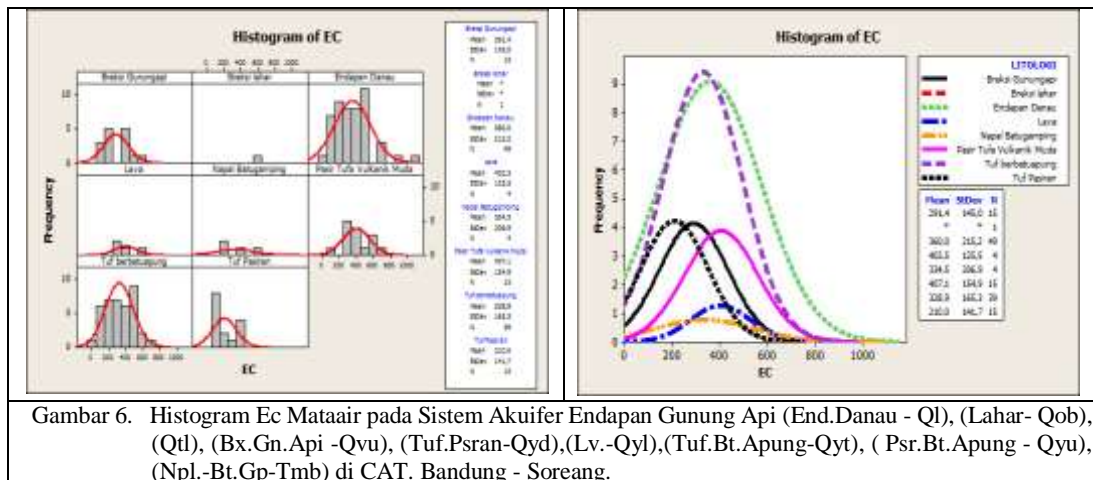


Gambar 5. Histogram Eh Mataair pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End. Danu – Q1), (Lahar-Qob), (Qtl), (Bx. Gn. Api-Qvu), Tuf.Psran-Qyd), Lv.-Qyl), (Tuf.Bt.Apung-Qyt), (Psr.Bt.Apung), (Npl.-Bt.Tmb) di CAT. Bandung - Soreang

2.6. EC

Dari 142 sampel terukur, memperlihatkan nilai maksimum 1083, minimum 44 dan rata-

rata 335.83, kemunculan rata-rata 185.6 (Gambar 6 dan 7).

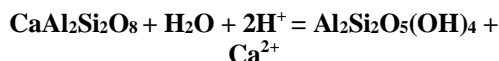


Gambar 6. Histogram Ec Mataair pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (Qtl), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran-Qyd),(Lv.-Qyl),(Tuf.Bt.Apung-Qyt), (Psr.Bt.Apung - Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung - Soreang.

3. PARAMETER KIMIA AIR TANAH CAT.BANDUNG – SOREANG.

3.1. Kalsium (Ca²⁺)

Calcium (Ca) merupakan unsur utama penyusun mineral pembentuk batuan beku, khususnya silikat piroksen dan amfibol, serta felspar. Contoh mineral yang umum dijumpai adalah anortit (CaAl₂Si₂O₈). Reaksi antara anortit dengan air akan menghasilkan aluminium silikat dan ion kalsium bebas, sebagaimana reaksi berikut ini:



Pada batuan sedimen umumnya kalsium hadir sebagai karbonat dalam bentuk kalsit dan aragonit, keduanya memiliki rumus kimia CaCO₃, serta dolomite dengan rumus kimia CaMg(CO₃)₂.

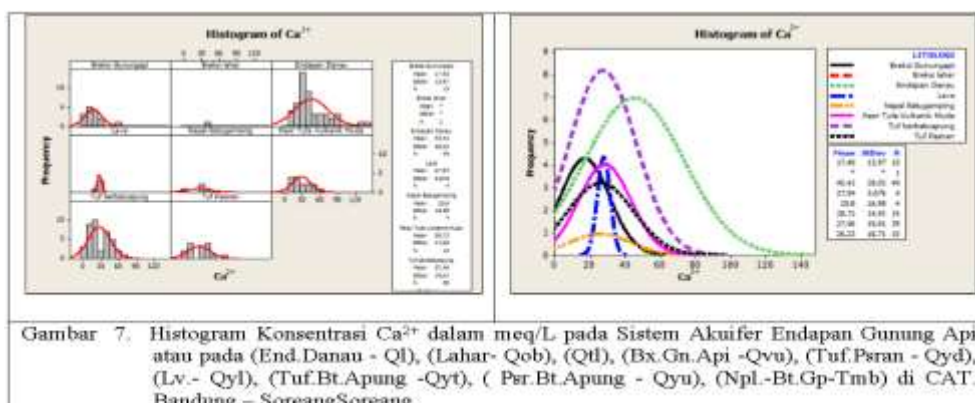
Mineral Kalsium lainnya adalah gipsium (CaSO₄.2H₂O) dan fluorit (CaF₂). Ca adalah

juga komponen penyusun zeolit dan montmorilonit. Pada batupasir dan batuan detritus lainnya, Ca hadir sebagai semen kalsit. Tabel Berikut ini memperlihatkan perbandingan kandungan Kalsium pada batuan dan air tanah.

Tabel 1. Perbandingan Kandungan Kalsium Pada Batuan dan Air Tanah

No	Contoh	Unsur	Rata-rata	Kisaran
1	Contoh batuan (5 contoh)	CaO (%)	7,20	6,8-7,9
2	Contoh air tanah (140 contoh)	Ca ²⁺ (meq/L)	0,96	0,2-1,8

Kandungan Kalsium dalam air tanah rata-rata adalah 0,96 meq/l, dengan kisaran dari 0,2 hingga 1,8 meq/l, sebagaimana diperlihatkan pada (Gambar 6 dan 7). Plot interval of Kalsium berdasarkan jenis batuan memperlihatkan Formasi Cikapundung (Ql) mengandung the moderate Kalsium, 1,2 meq/l, lahar antara 1 – 1,8 meq/l, lava kisarannya 0,3 hingga 0,82 meq/l, dan piroklastik berkisar antara (0,46 – 1,58) meq/l.



Gambar 7. Histogram Konsentrasi Ca²⁺ dalam meq/L pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api atau pada (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (Qtl), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.Apung - Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung – Soreang.

3.2 Natrium (Na⁺)

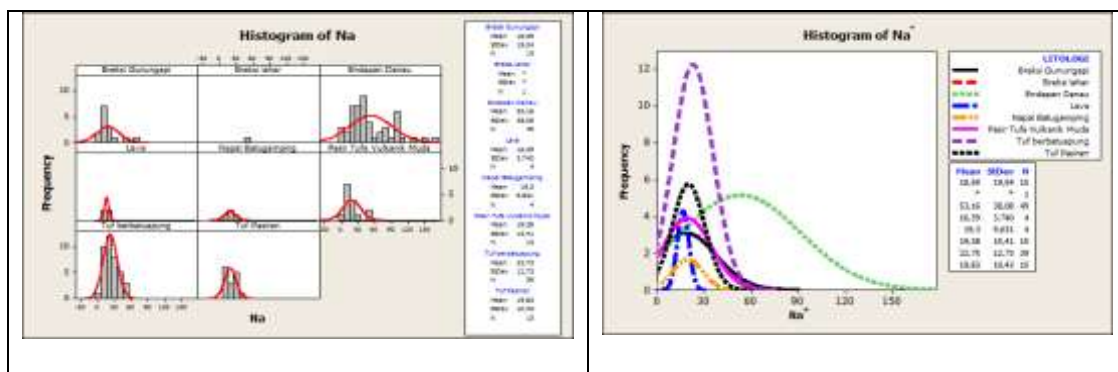
Natrium (Na) merupakan anggota grup alkali tanah terdapat paling banyak di alam. dalam batuan beku, Natrium sedikit lebih banyak dibanding Kalium, sebaliknya pada batuan sedimen kandungan Natriumnya sedikit. Menurut Hem (1980), kandungan Natrium pada batuan beku muncul dari beberapa sumber berikut ini:

- Mineral albit dengan rumus **NaAlSi₃O₈**
- Pertukaran kation kalium oleh natrium pada mineral ortoklas dan mikroklin
- Satuan batuan mengandung evaporit (NaSO₄)
- Material semen pada batuan sedimen

Rata-rata kandungan natrium pada batuan dalam bentuk Na₂O adalah 3,2%, sedangkan natrium yang larut dalam air tanah rata-ratanya 0,62 meq/L dengan kisaran antara 0,04 hingga lebih dari 4,5 meq/L (Tabel 2). dan (Gambar 8).

Tabel 2. Perbandingan komposisi Na pada batuan dan air tanah

No	Contoh	Unsur	Rata-rata	Kisaran
1	Contoh batuan (5 contoh)	Na ₂ O (%)	3,20	3,00-3,70
2	Contoh air tanah (140 contoh)	Na ⁺ (meq/L)	0,62	0,04-4,64



Gambar 8. Histogram Komposisi Na⁺ dalam meq/L pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (Qtl), (Bx.Gn.Api-Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.Apung - Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung- Soreang.

3.3. Kalium (K⁺)

Keterdapatn Kalium pada batuan **beku lebih sedikit dari Natrium** . Diduga Kalium lebih sulit untuk dipisahkan dari ikatan silikatnya dibandingkan dengan Natrium. Kalium juga cenderung untuk berikatan dengan produk pelapukan, khususnya pada beberapa jenis mineral lempung (Hem, 1980). Menurut peneliti tersebut, Kalium dalam air tanah dapat berasal dari:

- Batuan kaya silikat, dalam bentuk mineral felspar ortoklas dan mikroklin (KAlSi₃O₈), mineral mika dan leusit feldspatoid (KAlSi₂O₆).
- Mineral felspar dan partikel mika yang menjadi semen atau mineral illit serta mineral lempung lainnya.
- Batuan evaporit, yang dapat mengandung lapisan garam Kalium.

Menurut Hem (1980), dalam air meteorik konsentrasi Kalium umumnya 1/2 atau 1/10 konsentrasi natrium. Atau dalam bentuk lain,

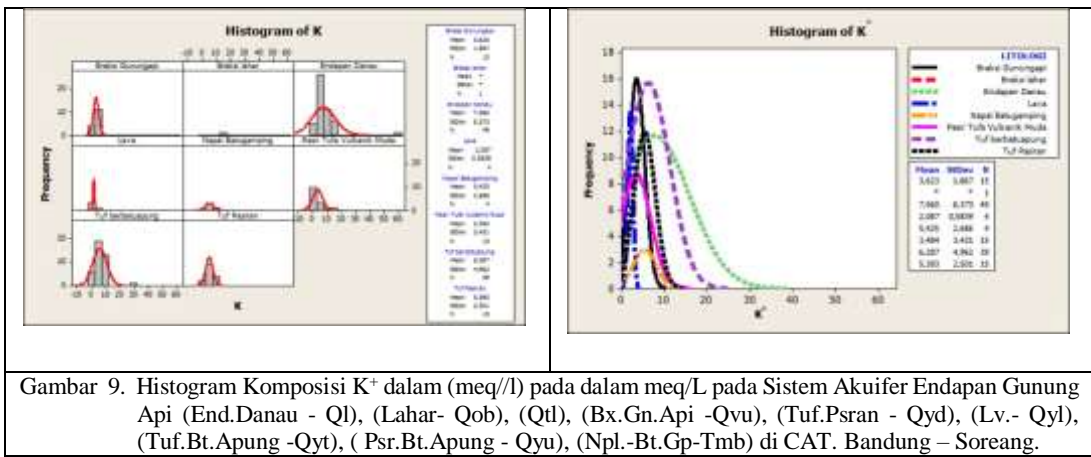
rasio Na/K adalah 2 hingga 10. Konsentrasi Kalium lebih dari belasan mg/L umumnya ada pada air hipertermal. Tabel berikut ini memperlihatkan perbandingan komposisi natrium pada air tanah dan batuan.

Konsentrasi Kalium rata-rata pada contoh air tanah di daerah studi adalah 0,33 meq/L, dengan kisaran dari 0,02 hingga 3 meq/L (Tabel 3)), Gambar 9 dan 10). Jumlah tertinggi adalah contoh dengan konsentrasi kalium antara 0,2 sampai 0,3 meq/L.

Plot interval kalium memperlihatkan rata-rata pada Formasi Cibereum sebesar

Tabel 3. Perbandingan Komposisi K pada Batuan dan Air Tanah

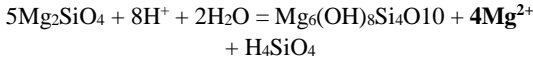
No	Contoh	Unsur	Rata-rata	Kisaran
1	Contoh batuan (5 contoh)	K ₂ O (%)	0,33	0,02-4,12
2	Contoh air tanah (140 contoh)	K ⁺ (meq/L)	1,1	0,0-1,4



Gambar 9. Histogram Komposisi K⁺ dalam (meq/l) pada dalam meq/L pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (Qtl), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.Apung - Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung – Soreang.

3.4. Magnesium (Mg²⁺)

Magnesium (Mg) adalah logam alkali tanah yang merupakan penyusun utama mineral ferromagnesian, termasuk di dalamnya olivin, piroksen, amfibole, dan mika. Contoh reaksi alterasi olivin magnesium menjadi serpentin sebagai berikut:



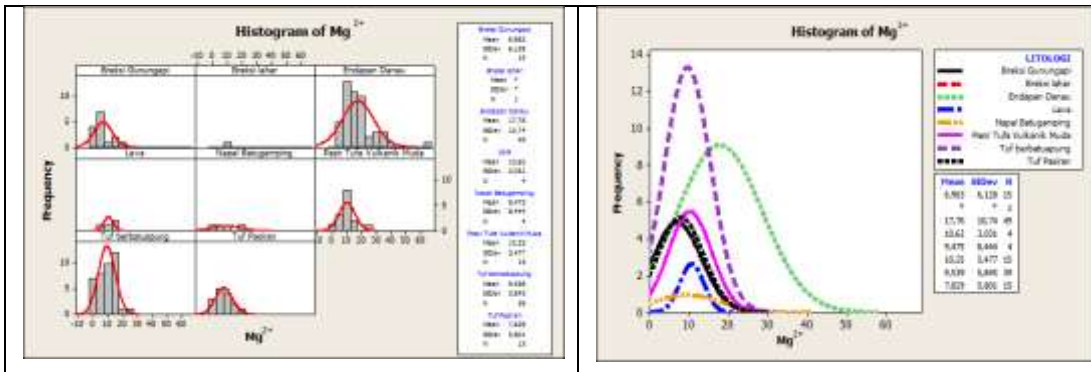
Tabel 4. Perbandingan Komposisi Mg pada Batuan dan Air Tanah

No	Contoh	Unsur	Rata-rata	Kisaran
1	Contoh batuan (5 contoh)	MgO (%)	3,7	3,4 - 4,2
2	Contoh air tanah (140 contoh)	Mg ²⁺ (meq/L)	0,66	0,1-3

Komposisi magnesium pada contoh air tanah di daerah kajian berkisar dari 0,1 hingga lebih dari 3 meq/L dengan rata-rata 0,66 meq/L

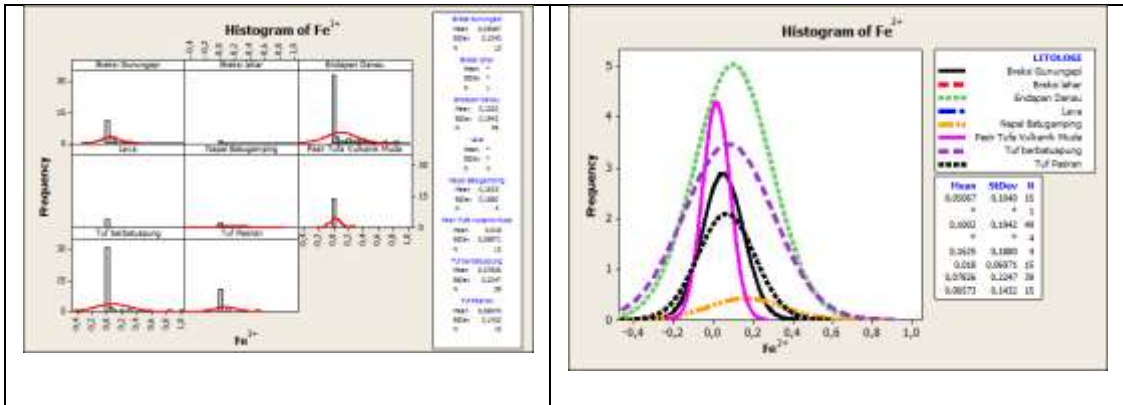
(Tabel 4. dan Gambar 9 dan 10.). Beberapa mata air mengandung **magnesium lebih dari 1,8 meq/L**. Kandungan magnesium pada air tanah yang bersirkulasi pada lahar (0,65 – 0,98) meq/L, pada lava dari 0,44 hingga 0,55 meq/L, sementara pada piroklastik dari 0,38 sampai 0,77 meq/L. Data-data tersebut memiliki komunalitas 95%. Mata air mata air dengan kandungan magnesium lebih dari 1,8 meq/L ditetapkan sebagai anomali. Seluruhnya muncul pada **batuan lahar**.

Secara alamiah pada suhu normal, kandungan magnesium dominan berasal dari batuan gunung api yang berkomposisi **dari basaltik hingga andesitik**. Namun pada kondisi suhu hangat sampai dengan panas, kandungan magnesium dapat berasal dari pertukaran ion dengan ion kalsium yang berasal dari batuan sedimen.



Gambar 10. Histogram Komposisi Mg²⁺ dalam meq/L pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (Qtl), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.

3.5. Fero (Fe²⁺)

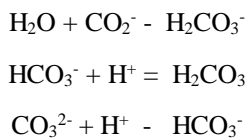


Gambar 11. Histogram Komposisi Fe²⁺ dalam meq/L pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (QtI), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.

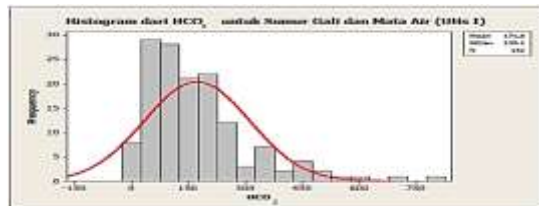
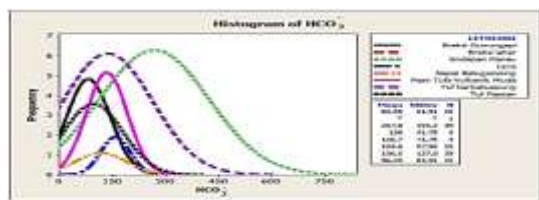
3.6. Bikarbonat (HCO₃⁻)

Tanah pelapukan pada daerah beriklim lembab kandungan kalsium karbonatnya dapat menurun karena proses pencucian (*leaching*), mengakibatkan pH air tanah bebas (tak tertekan) ikut menurun. Mineral dalam tanah dapat mengabsorpsi ion H⁺ dalam air tanah.

Secara umum, mata air di daerah studi tergolong bikarbonat (HCO₃⁻), yang sebagian diantaranya adalah air panas dan air hangat. Pada air tersebut terbentuknya bikarbonat melalui reaksi sebagai berikut:

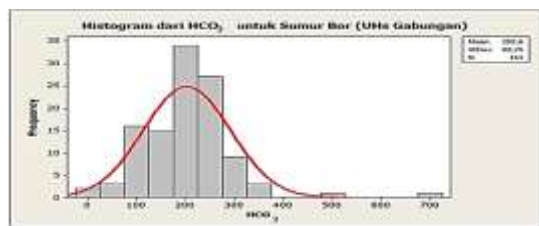


Rata-rata bikarbonat dalam contoh air tanah di daerah studi adalah 1,98 meq/L, berkisar antara 0,3 dan 6 meq/L (Gambar 12 dan 13). Plot interval pada memperlihatkan rata-rata kandungan bikarbonat pada lahar sebesar 2,2 meq/L, lava sebesar 1,7 meq/L, dan piroklastik sebesar 1,9 meq/L.



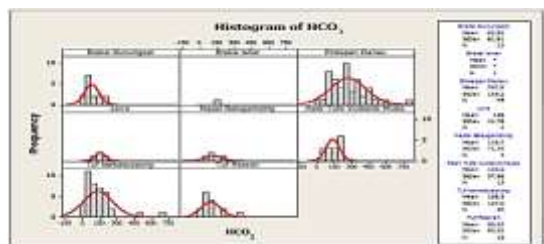
Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
HCO ₃ ⁻	142	0	171,8	139,1	5,6	778,7

Gambar 12. Histogram Komposisi HCO₃⁻ dalam meq/L pada Sistem Akuifer



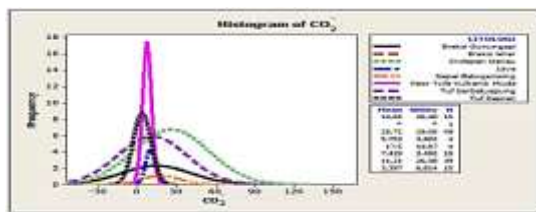
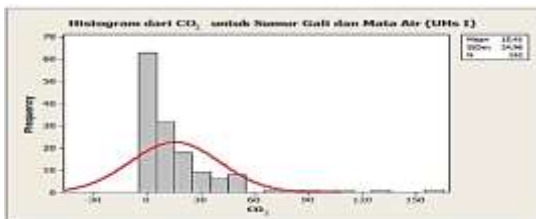
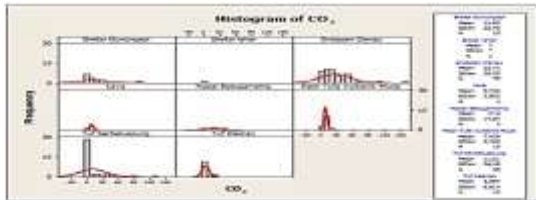
Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
HCO ₃	111	0	202,61	89,25	0,00	686,00

Gambar 13. Histogram Komposisi HCO₃⁻ dalam meq/L pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (QtI), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.Apung - Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung – Soreang



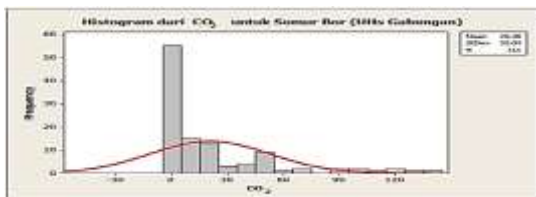
3.7. Carbon Oksida (CO₂⁻)

Tanah pelapukan pada daerah beriklim lembab kandungan kalsium karbonatnya dapat menurun karena proses pencucian (*leaching*), mengakibatkan pH air tanah bebas (tak tertekan) ikut menurun. Mineral dalam tanah dapat mengabsorpsi ion H⁺ dalam air tanah.



Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
CO ₂ ⁻	142	0	15,41	24,96	0,00	163,20

Gambar 14. Histogram Komposisi CO₂⁻ dalam meq/L pada Sistem Akifer



Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
CO ₂ ⁻	111	0	20,38	32,04	0,00	136,00

Gambar 15. Histogram Komposisi HCO₃⁻ dalam meq/L pada Sistem Akifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (QtI), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.Apung - Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung – Soreang.

3.8. Klorida (Cl)

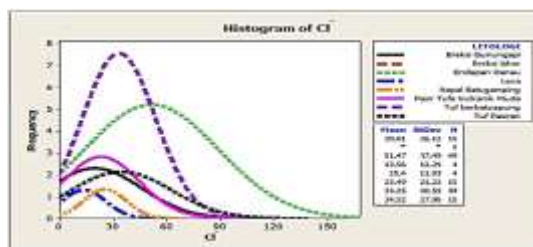
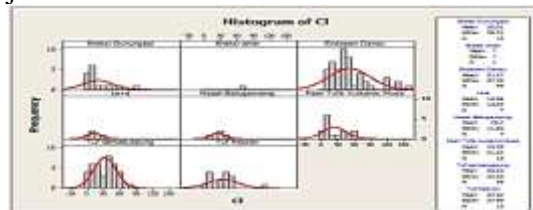
Klorida terdapat di segala jenis air meteorik dalam konsentrasi rendah, lebih rendah dibanding sulfat atau bikarbonat. Klorida merupakan unsur golongan halogen yang paling banyak keterdapatannya di alam. Unsur

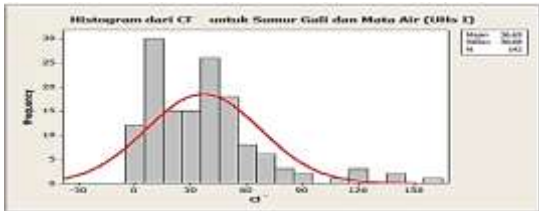
ini mudah berikatan dengan unsur lain, misalnya unsur golongan logam, alkali, dan alkali tanah. Senyawa bentukannya larut di dalam air. Unsur yang paling mudah berpasangan dengan Klorida adalah Natrium.

Beberapa mineral batuan beku yang mengandung Klorida antara lain felspatoid sodalit dengan rumus kimia Na₈[Cl₂(AlSi₄O)₆]. Klorida dapat hadir sebagai resistat sebagai pada air konat dan semen pada batuan sedimen. Sedimen halus seperti lempung dan serpih dapat menyimpan unsur klorida yang terlarut dalam air konat/air formasi dalam waktu yang lama. Rata-rata Klorida pada contoh yang diuji adalah 0,42 meq/L, dengan kisaran dari 0,1 sampai 5 meq/L (lihat Gambar 16 dan 17). Jumlah contoh terbanyak memiliki konsentrasi klorida 0,3 sampai 0,5 meq/L. Plot interval berdasarkan jenis batuan menunjukkan bahwa Formasi Cikapundung memiliki rata-rata konsentrasi tertinggi yaitu 3,5 meq/L, lahar sebesar 0,6 meq/L, lava dan piroklastik sebesar masing-masing 0,3 meq/L.

Menurut Hem (1980), kandungan ion klorida yang tinggi pada mata air panas yang muncul pada batuan gunung api berasal dari reservoir panas bumi. Bila mata air panas muncul pada batuan sedimen, ion ini berasal dari pelarutan batuan sedimen yang mengandung NaCl.

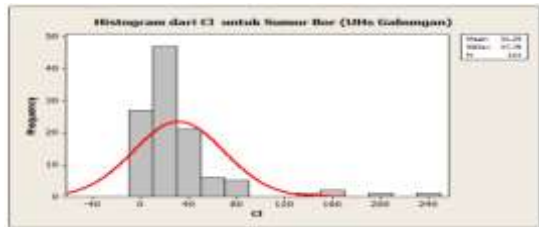
Umumnya konsentrasi ion Cl yang relatif tinggi, lebih dari **1.000 ppm**, berada pada topografi relatif rendah pada suatu tubuh gunung api. Hal ini karena pada semakin rendah pemunculan mata air, maka semakin lama waktu sirkulasi air tanah di dalam akifer serta jarak antara daerah imbuhan air dengan daerah keluaran (zona mata air) relatif lebih jauh.





Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
Cl ⁻	142	0	36,69	30,68	1,00	164,00

Gambar 16. Histogram Komposisi Cl⁻ dalam meq/L pada Sistem Akuifer

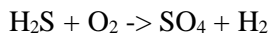


Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
Cl ⁻	111	0	31,29	37,78	3,40	241,70

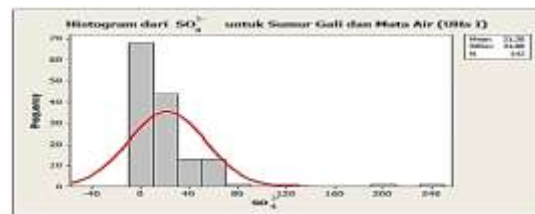
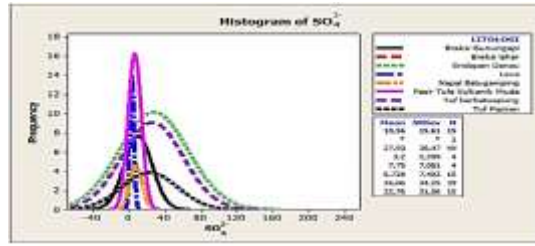
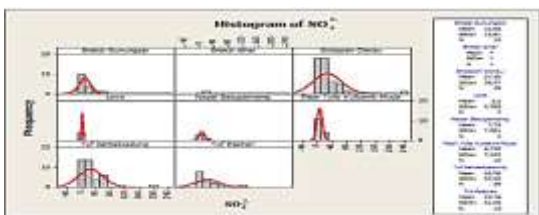
Gambar 17. Histogram Komposisi Cl⁻ dalam meq/L pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (QtI), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.Apung - Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung – Soreang

3.9 Sulfat (SO₄²⁻)

Unsur sulfur terdapat pada **batuan beku** dan sedimen dalam bentuk mineral **sulfida**. Bila mineral ini mengalami pelapukan dan kontak dengan air, sulfur akan teroksidasi menjadi ions sulfat yang kemudian larut di dalam air. Konsentrasi sulfur terbentuk sebagai hasil oksidasi gas H₂S dengan reaksi

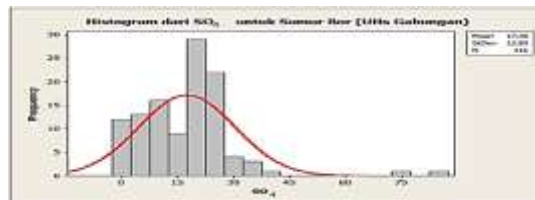


Kandungan SO₄ yang tinggi terdapat pada air panas sebagaimana disajikan dalam lampiran 1. Rata-rata sulfat dalam contoh yang diuji adalah 0,28 meq/L, dengan kisaran dari **0,1 sampai 1,2 meq/L**. Contoh air tanah pada lahar sebesar 0,35 meq/L, lava sebesar 0,2 meq/L, dan piroklastik sebesar 0,3 meq/L. Sebagai pembandingan.



Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
SO ₄ ²⁻	142	0	21,38	31,88	0,00	249,00

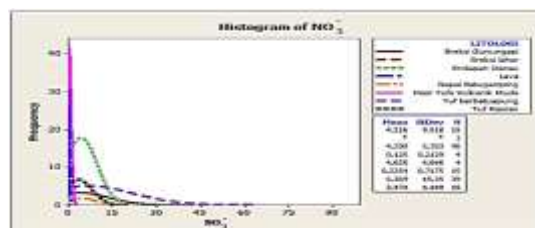
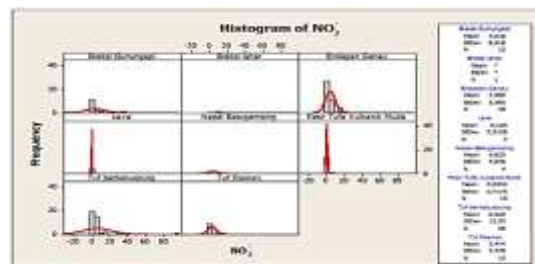
Gambar 18. Histogram Komposisi SO₄²⁻ dalam meq/L pada Sistem Akuifer

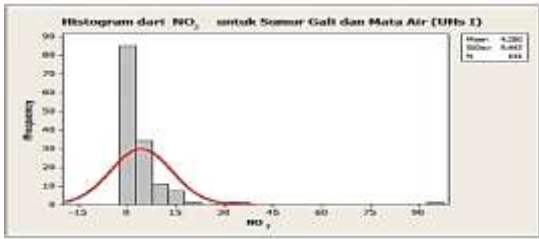


Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
SO ₄ ²⁻	111	0	17,40	12,89	0,00	87,10

Gambar 19. Histogram Komposisi SO₄²⁻ dalam meq/L pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (QtI), (Bx.Gn.Api -Qvu),(Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.Apung-Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung-Soreang

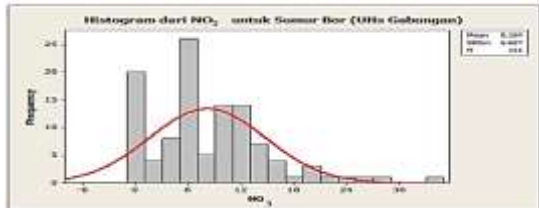
3.10. NO₃





Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
NO ₃ ⁻	141	1	4,280	9,443	0,000	93,700

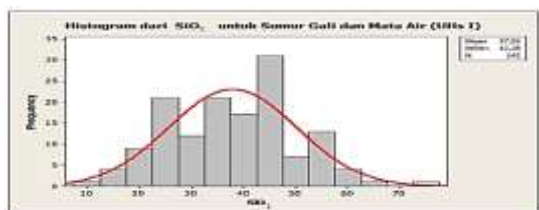
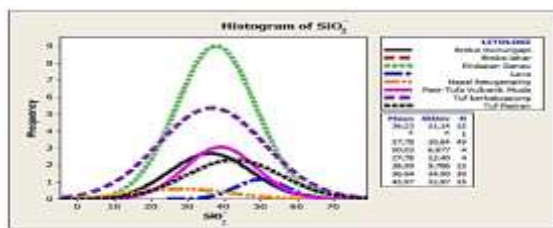
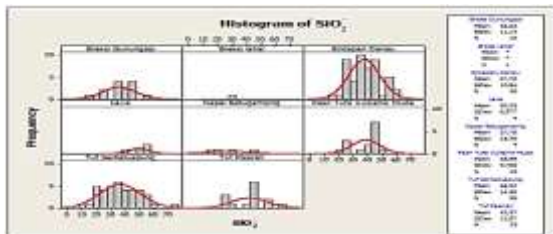
Gambar 20. Gabungan histogram komposisi SO₄²⁻ dalam meq/l pada sistem Akuifer



Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
NO ₃ ⁻	111	0	8,164	6,627	0,000	33,100

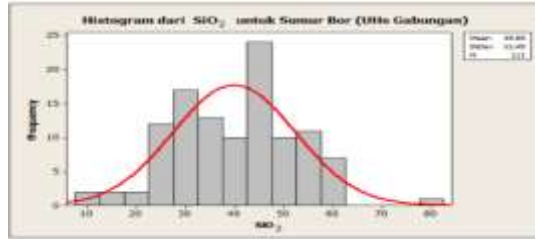
Gambar 21. Histogram komposisi SO₄²⁻ dalam meq/L pada sistem akuifer endapan gunung api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (Qtl), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.Apung - Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT Bandung – Soreang.

3.11. SiO₂



Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
SiO ₂	142	0	37,92	12,28	9,00	75,10

Gambar 22. Histogram Komposisi SO₄²⁻ dalam meq/L pada Sistem Akifer



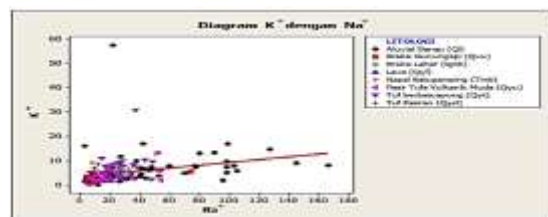
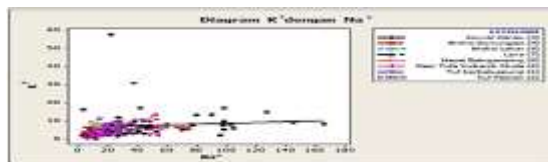
Variable	N	N*	Mean	StDev	Minimum	Maximum
SiO ₂	111	0	39,89	12,49	9,20	82,20

Gambar 23. Histogram Komposisi SO₄²⁻ dalam meq/L pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api (End.Danau - Ql), (Lahar- Qob), (Qtl), (Bx.Gn.Api -Qvu), (Tuf.Psran - Qyd), (Lv.- Qyl), (Tuf.Bt.Apung -Qyt), (Psr.Bt.Apung - Qyu), (Npl.-Bt.Gp-Tmb) di CAT. Bandung- Soreang

3.12. Hubungan Kalium (K) dengan Natrium (Na)

Pemisahan juga diperlihatkan pada plot data K dan Na pada mata air antara mata air mesothermal dan hipertermal. Dalam grafik pada Gambar 4.30, terlihat ada perubahan konsentrasi K dan Na pada data sejalan dengan perubahan suhu air dan elevasi. Semakin rendah elevasi mata air, semakin besar konsentrasi K dan Na.

Terdapat perbedaan **rasio Na/K** bila contoh dikelompokkan berdasarkan batuan penyusun akifernya. Rasio untuk mata air hipertermal yang dipengaruhi akuifer endapan gunung api mendekati 45. Sebagai pembanding, contoh yang dipengaruhi batuan sedimen memiliki rasio berkisar antara 0,6-0,8. Kandungan Na dan K pada air panas lebih tinggi dibandingkan air dingin.



Gambar 24. Plot Antara Konsentrasi K dan Na pada Sistem Akuifer Endapan Gunung Api Lahar (LhB), Piroklastik (PxB), dan Lava (Lv), serta Batuan Sedimen Fm. Kaliwangu (Klw) Sebagai Pembanding.

Kondisi demikian disebabkan Na dan K terlarut pada suhu lebih tinggi, baik itu di lingkungan gunung api maupun berasosiasi dengan batuan sedimen

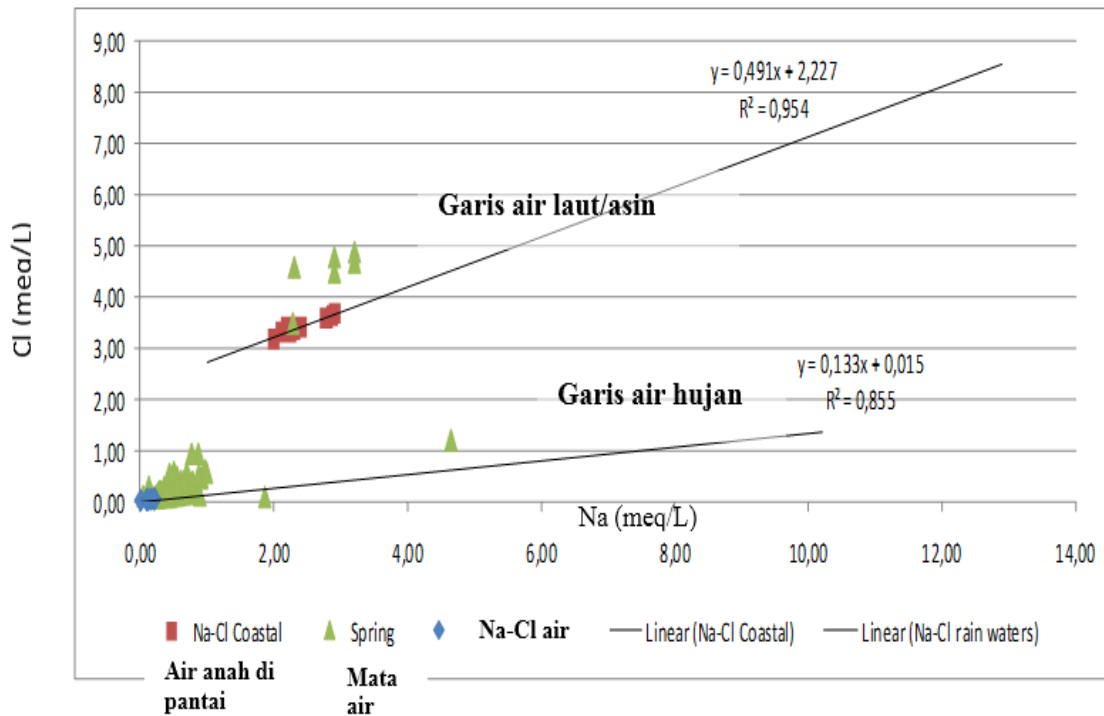
dengan air yang mengandung klorida alami dari atmosfer.

3.13. Hubungan Klorida (Cl) dengan Natrium (Na)

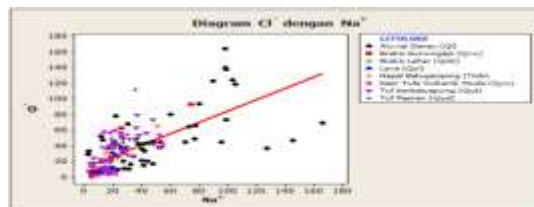
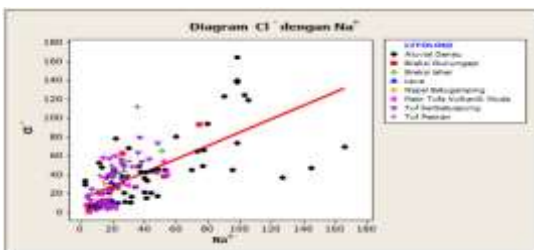
Differensiasi pada mata air juga terlihat pada korelasi ion Na dan Cl yang menunjukkan komunalitas antara mata air pada akifer relatif dangkal dengan akifer yang lebih dalam.

Publikasi oleh Join dkk (1997) menerangkan bahwa pada zona permukaan (*superficial zone*) di kawasan imbuhan, akifer berasosiasi

Ion klorida pada contoh air berasal dari gas HCl di daerah gunung api atau berasosiasi dengan air asin (*brine water*) dari batuan sedimen. Selama proses perkolasi menuju zona yang lebih dalam, konsentrasi natrium dan klorida bertambah secara progresif dengan pelarutan Natrium dari batuan gunung api. Kandungan klorida juga akan meningkat sejalan interaksi air tanah dengan akifer yang lebih dalam, sesuai dengan teori dari Chebotarev (1955) *op.cit* Freeze dan Cherry (1979).

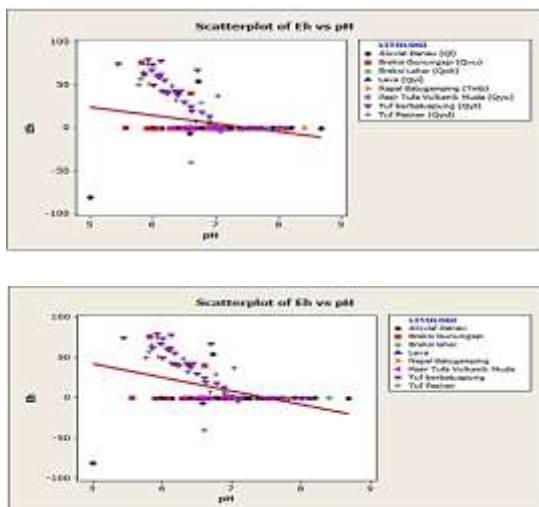


Gambar 25. Plot Antara Komposisi Na dan Cl pada Contoh Air Dari Daerah Studi Pada Diagram Join dkk (1977)



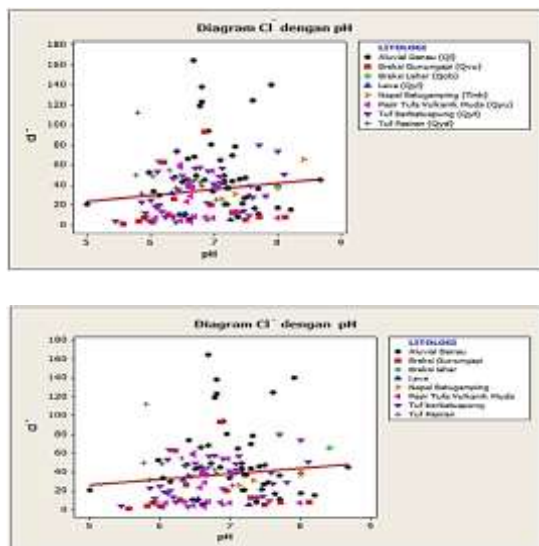
Gambar 26. Plot Antara Komposisi Na dan Cl pada Contoh Air Dari Daerah Studi Pada Diagram Join dkk (1977)

3.14. Hubungan Eh Vs pH



Gambar 27. Plot Antara Komposisi Na dan Cl pada Contoh Air Dari Daerah Studi Pada Diagram Join dkk (1977)

3.15. Hubungan pH Vs Cl



Gambar 28. Plot Antara Komposisi Na dan Cl pada Contoh Air Dari Daerah Studi Pada Diagram Join dkk (1977)

DAFTAR PUSTAKA

- 1) American Public Health Administration (1999): *Standard Method for Examination Water and Waste Water*, www.apha.org, diakses 20 April 2007.
- 2) Bemmelen, van, 1934, Erupsi G. Tangkubanperahu dan Geologi Regional daerah Bandung Lembar Bandung, skala 1 : 100.000.
- 3) Brassington, 2000, Field Hydrogeology, International Association of Hydrogeologist publication
- 4) Birk, S., Liedl, R., dan Sauter, M. (2004): *Identification of Localised Recharge and Conduit Flow by Combined Analysis of Hydraulic and Physico-Chemical Spring Responses (Urenbrunnen, SW-Germany)*, *Journal of Hydrology* 286. p. 179-193.
- 5) Deptamben, 1979, Data Dasar Gunungapi Indonesia, Deptamben.
- 6) Cas, R.A.F. dan Wright, J.V. (1987): *Volcanic Successions*, McGraw-Hill.
- 7) Chow, V.T. (1964): *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company.
- 8) Dam, M.A.C., 1994, *The Late Quaternary Evolution of the Bandung Basin, West Java, Indonesia*.
- 9) Davis, J.C. (1986): *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons Inc., New York.
- 10) Desmarais, K. dan Rojstaczer, S. (2002): *Inferring Source Waters from Measurements of Carbonate Spring Response to Storms*, *Journal of Hydrology* no 260. pp 118-134.
- 11) Distamben Jabar & DTLGKP, 2002, Peta Zonasi Konservasi Air Bawah Tanah Jawa Barat.
- 12) Domenico, P.A., Schwartz, F.W., 1990, *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley & Son, Inc., New York.
- 13) Drever, J.I. (1988): *The Geochemistry of Natural Waters*, Prentice Hall.
- 14) Ellis, A.J. dan Mahon, W.A.J. (1977): *Chemistry and Geothermal Systems*, Academic Press.
- 15) Farnham, I.M., Johannesson, K.H., Singh, A.K., Hodge, V.F., dan Stetzenbach, K.J. (2003): *Factor Analytical Approaches for Evaluating Groundwater Trace Element Chemistry Data*, *Analytical Chimica Acta* 490, p. 123–138.
- 16) Freeze, R.A., 1971, *Three-dimensional, transient, saturated-unsaturated flow in a groundwater basin*, *Water Resources Res*, 7, pp. 347-366.
- 17) Freeze, R.A., Cherry, J.A., 1979, *Groundwater*, Prentice-Hill, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- 18) Galanos, I. dan Rokos, D. (2006): *A statistical approach in investigating the hydrogeological significance of remotely sensed lineaments in the crystalline mountainous terrain of the island of Naxos, Greece*, *Hydrogeology Journal*

- (2006) 14. pp 1569–1581. DOI 10.1007/s10040-006-0043-2.
- 19) Geyh, M.A., 1991, *Isotopic Hydrological Study in the Bandung Basin Indonesia*, laporan penelitian, tidak dipublikasi.
 - 20) Guller, C., Thyne, G.D., Mcray, J.E., dan Turner, K.A. (2002): *Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data*, *Hydrogeology Journal* (10), 455-474.
 - 21) Grigg, Neil S., 1985, *Water Resources Planning*, McGraw-Hill Book Company, New York.
 - 22) Hartono D., 1980, Geologi daerah dataran tinggi Bandung dalam hubungannya dengan penyebaran lapisan pembawa air di daerah Bandung Raya, Tugas Akhir, Dept. Teknik Geologi, ITB, tidak diterbitkan.
 - 23) Hem, J.D. (1980): *Hydrochemistry of Natural Waters*, *USGS Water Supply Papers*.
 - 24) Herdianita, N.R., dan Priadi, B. (2008): *The Chemical Compositions of Thermal Waters at Ciarinem and Cilayu, Pameungpeuk, West Java – Indonesia*. *ITB Journal of Science*. Vol. 40 A. No. 1.
 - 25) Hendarmawan, Mitamura, Kumai, 2005, Water Temperatur and Electrical Conductivity of Springs on The Volcanic Slope in A Tropical Region: A Case Study on Lembang Area, West Java, Indonesia
 - 26) IWACO & WASECO, 1989, *Reconnaissance of Environmental Aspects Related to Groundwater Resources in West Java, Special Report: West Java provincial Water Sources Master Plan for Water Supply*, Directorate General of Human Settlement, Ministry of Public Works.
 - 27) IWACO & WASECO, 1990, *West Java Provincial Water Sources Master Plan for Water Supply – Volume A: Groundwater Resources, Project Report of Cooperative Work between The Government of Indonesia and The Government of Netherlands*.
 - 28) Irawan, E., Puradimaja, D.J., Yuwono, Y.S., dan Syaifullah, T.A., 2000, Pemetaan Endapan Bahan Vulkanik Dalam Upaya Identifikasi Akifer pada Sistem Gunungapi, Studi Kasus Daerah Pasirjambu – Situwangi Soreang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Buletin Geologi*, Vol.3, Tahun 2000.
 - 29) Join, J.L., Coudray, J., dan Longworth, K. (1997): *Using Principal Component Analysis and Na/Cl Ratios to Trace Groundwater Circulation in a Volcanic Island: The Example of Reunion*, *Journal of Hydrology* 190. p. 1-18
 - 30) Join, J.L., Coudray, J., dan Longworth, K. (1997): *Using Principal Component Analysis and Na/Cl Ratios to Trace Groundwater Circulation in a Volcanic Island: The Example of Reunion*, *Journal of Hydrology* 190. p. 1-18
 - 31) Kusumadinata, K. (ed) (1979): *Data Dasar Gunungapi Indonesia*, Bandung: Departemen Pertambangan dan Energi.
 - 32) Koesoemadinata, R.P., dan Hartono, D., 1981, *Stratigrafi dan Sedimentasi Daerah Bandung*, Prosiding Ahli Geologi Indonesia, Bandung.
 - 33) Lattman, L.H. dan Parizek, R.R. (1964): *Relationship between fracture traces and the occurrence of groundwater in carbonate rocks*, *Journal of Hydrology* 2. pp 73–91.
 - 34) Linsley, R.K., Franzini, J.B., Freyberg, D.L., dan Tchobanoglous, G. (1971): *Water resources engineering*, McGraw Hill.
 - 35) Lloyd, J.W., 1981, *Case – Studies in Groundwater Resources Study Evaluation*, *Oxford University Press*, New York.
 - 36) Manga, M. (1999): *On the Timescales Characterizing Groundwater Discharge at Springs*. *Journal of Hydrology* 219. P. 56-69.
 - 37) Manga, M. (2001): *Using Springs to Study Groundwater Flow and Active Geologic Processes*. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. v. 29. p. 201-228. doi:10.1146/annurev.earth.29.1.201.
 - 38) Marks, 1959, *Stratigraphic Lexicon of Indonesia*.
 - 39) Matthes, G., 1981, *The Properties of Groundwater*, MC.Graw Hill.
 - 40) Mathes, S.E., dan Rasmussen, T.C., (2006), *Combination Multivariate Statistical Analysis with Geographic Information Systems Mapping : A Tool for Deliniating Groundwater Contamination*, *Hydrogeology Journal*, Vol 14, No.8, pp 1493 – 1507.
 - 41) McPhie, J., Doyle, M.G., dan Allen, R.L. (1993): *Volcanic Textures: A guide to the*

- interpretation of textures in volcanic rocks*, Hobart: CODES. University of Tasmania 198.
- 42) Melloul, A. dan Collin, M. (1992): *The 'Principal Components' Statistical Method as a Complementary Approach to Geochemical Methods in Water Quality Factor Identification; Application to the Coastal Plain Aquifer of Israel*. *Journal of Hydrology* 140, p. 49–73.
 - 43) Memon, B.A. (1995): *Quantitative Analysis of Springs*. *Journal of Environmental Geology* 26. p. 111-120.
 - 44) Miyazaki, T. (1993): *Water Flow in Soils*. Marcel Dekker inc.
 - 45) Notosiswoyo, S. (1989): *Thermalwasser im Vulkangebiet Tangkuban Perahu bei Bandung*. *Dissertation. Aachen: Rheinisch-Westfalischen Technischen Hochschule Aachen*.
 - 46) Pacheo, F.A.L. dan Alencao, A.M.P. (2005): *Role of fractures in weathering of solid rocks: narrowing the gap between laboratory and field weathering*. *Journal of Hydrology* 316. p. 248-265.
 - 47) Puradimaja, D.J. dan Santoso, D. (2005): *Detection of Bribin Underground River Stream Using Bristow Resistivity Method, The Leading Edge, The Society of Exploration Geophysics (SEG)*.
 - 48) Repojadi.P, dan Team, 1998, data lapangan dan Analisa laboratorium, Konsevasi Airtanah di Wilayah Kabupaten Dati II Bandung dan sekitarnya, DGTL – Bandung
 - 49) Robert Betcher, 1996, Groundwater Manitoba in Manitoba, Management and Quality Concern. National Hydrology Research Institute Environment Canada, Saskatoon, Saskatchewan. S7N 3H5
 - 50) Rosadi, Sukrisno dan Wagner, 1993, Kualitas dan Pengendalian Airtanah pada Beberapa Kawasan Cekungan Airtanah Bandung.
 - 51) Silitonga, P.H., 1973, Peta Geologi Lembar Bandung, Jawa Barat, Skala 1:100.000, PPPG-Bandung
 - 52) Sukrisno, 1990, Penyelidikan hidrogeologi dan konservasi airtanah cekungan Bandung, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung, tidak diterbitkan.
 - 53) Susanto, T., Hendarman, 1993, Sistem Cekungan Airtanah Bandung, Laporan Kerja Prakter Program Studi Teknik Geologi Unpad, Tidak Diterbitkan.
 - 54) Sutrisno, 1983, Peta Hidrogeologi Indonesia, Lembar Bandung, Skala 1:150.000, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung.
 - 55) Shibhasaki, T., and Researh Group for Water Balance, 1995, *Environtmental Management of Grondwater Basins*, TOKAI UNIVERSITY PRESS, Japan
 - 56) Sunarwan, B., dan Puradimaja, D.J., (1997), Penerapan metoda hidrokimia – isotop Oksigen 18 (¹⁸O), Deuterium dan Tritium (³H). dalam karakterisasi akifer airtanah sisem akifer bahan vulkanik Studi kasus Kawasan Padalarang – Cimahi – Lembang, Bandung). Tesis Magister, dibimbing oleh : Juanda.P dan Soedarto Notosiswoyo, tesis S.2, tidak dipublikasi.
 - 57) Sunarwan, B., dan Puradimaja, D.J., 1998, Variasi Kandungan Isotop Oksigen – ¹⁸ (¹⁸O) dan Deuterium (²H) dalam airtanah sebagai Pelacak alami Guna mempelajari Perilaku Airtanah pada Sistem Akifer Vulkanik Cimahi-Padalarang – Lembang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat, Prosiding PIT IAGI ke XXVI, Jakarta, 1998.
 - 58) Sunarwan, B., dan Puradimaja, D.J., (2000), Interpretasi Pola Aliran Airtanah pada Batuan Vulkanik dengan Pelacak alami Isotop Stabil ¹⁸O, ²H dan ³H. Studi kasus Formasi Cibereum Daerah Padalarang, Cimahi Bandung, Prosiding PIT.IAGI ke XXVII, Bandung, 2000
 - 59) Sunarwan, B., dan Puradimaja, D.J., 2001 Study of Controlling Geological Parameter on Groudwater Chemical Facies Study : Tagogapu – Padalarang-Jambudipa Areas, Bandung. Prosiding PIT IAGI ke XXIX, Yogyakarta, 2001.
 - 60) Thyne, G.G. (2004): *Sequential Analysis of Hydrochemical Data for Watershed Characterization*. *Ground Water*. 42 (5). p. 711.13.

PENULIS :

1. **Dr. Ir. Bambang Sunarwan, MT.** Staf Pengajar Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor.
2. **Dra. Netty Kamal, M.Si.** Staf Pengajar Teknik Kimia – ITENAS.
3. **Ir. H. Mustafa Luthfi, MT.** Staf Pengajar Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor.