

ANALISIS HIDROKIMIA UNTUK INTERPRETASI SISTEM HIDROGEOLOGI DAERAH KARS

Taat Setiawan, Deny Juanda P., Budi Brahmantyo, dan D. Erwin Irawan

Pusat Lingkungan Geologi, Badan Geologi, DESDM,
Jln. Diponegoro No. 57 Bandung, 40122, Telp. 022-7274676-7, Fax. 022-7206167,
e-mail: taat_setia@yahoo.com
Kelompok Keahlian Geologi Terapan, Institut Teknologi Bandung,
Jln. Ganesha No. 10 Bandung, 40132, Telp. 022-2502197, Fax. 022-2502201

ABSTRACT

Cijulang and its surrounding area represent as karst morphology with the cavity network development as the result of groundwater dissolution process. The research of karst hydrogeology in Cijulang area was conducted by using hydrochemical analysis and compiled with the field hydrogeological observation data to identify the hydrogeological system. Based on hydrochemical analysis data as degree of acidity (pH), partial pressure of CO₂ (Pco₂), and saturation index of calcite (SI_{kalst}) that compiled with hydrogeological characteristics shown the change of groundwater flow mechanism on the spanning of certainly elevation. Diffusion flow mechanism happened at the elevation of 110–65 masl (transition zone-1) and then changed into conduit flow mechanism at the elevation of 65–35 masl (transition zone -2) and at the elevation of 35–20 masl (zone of continuous water circulation).

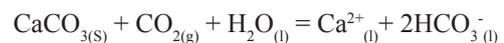
Keywords : Karst; hydrogeology; Hydrochemical analysis; Groundwater flow; Cijulang.

PENDAHULUAN

Kars merupakan suatu daerah yang disusun oleh batuan relatif mudah larut seperti batu gamping atau batuan karbonat lainnya.¹ Pada daerah kars biasanya berkembang sistem hidrogeologi yang spesifik yaitu air mengalir melalui sistem rekahan dan jaringan rongga hasil proses pelarutan oleh air. Salah satu kawasan kars yang menarik untuk diteliti adalah kawasan kars Cijulang yang terletak di Kabupaten Ciamis, Provinsi Jawa Barat. Pada daerah tersebut telah berkembang adanya morfologi kars dengan sistem jaringan rongga yang ditunjukkan oleh banyaknya mata air kars dan sungai bawah tanah.

Menurut Ford dan Williams,² daerah kars dapat dipandang sebagai sistem yang terdiri atas dua komponen yang terintegrasi, yaitu sub-sistem hidrogeologi dan sub-sistem hidrokimia. Hal tersebut mengakibatkan karakter atau mekanisme aliran air tanah tertentu akan tercerminkan oleh karakter hidrokimia yang tertentu pula.

Menurut Matthes,³ komposisi kimia air tanah (hidrokimia) pada suatu daerah sangat tergantung dari interaksi antara udara (CO₂), air (H₂O), dan batuan (dalam hal ini batu gamping atau CaCO₃). Dalam proses karstifikasi, air berperan sebagai agen pelarutan batuan karbonat melalui reaksi⁴:



Menurut Ford dan Williams,² untuk mengetahui tingkat interaksi antara air dengan CO₂, hal yang penting adalah mengetahui besarnya tekanan parsial CO₂ (Pco₂) yang dapat dihitung dari analisis hidrokimia sampel air melalui persamaan:

$$P_{\text{CO}_2} = \frac{(\text{HCO}_3^-)(\text{H}^+)}{K_1 K_{\text{CO}_2}}$$

$$\text{Log } P_{\text{CO}_2} = \text{log} (\text{HCO}_3^-) - \text{pH} + \text{p}K_{\text{CO}_2} + \text{p}K_1$$

Reaksi kimia antara air dengan batuan karbonat (CaCO₃) merupakan reaksi kesetimbangan parsial yang bersifat *reversible* antara pelarutan dan presipitasi. Untuk mengetahui

tingkat kejenuhan air dalam melarutkan CaCO_3 digunakan parameter indeks kejenuhan terhadap mineral CaCO_3 (SI_{kalsit}) yang dirumuskan sebagai berikut:⁵

$$SI_{\text{kalsit}} = \text{Log} \frac{(\text{Ca}^{2+})(\text{HCO}_3^-)K_2}{(\text{H}^+) K_{\text{CaCO}_3}}$$

Larutan dalam keadaan setimbang (*equilibrium*) terhadap CaCO_3 jika harga $SI_{\text{kalsit}} = 0$ dan memiliki arti bahwa proses pelarutan terhadap CaCO_3 sudah berhenti. Harga SI_{kalsit} negatif menunjukkan bahwa kondisi larutan dalam keadaan tidak jenuh (*undersaturated*) terhadap CaCO_3 sehingga air masih mampu melarutkan CaCO_3 . Harga SI_{kalsit} positif berarti kondisi larutan dalam keadaan lewat jenuh (*supersaturated*) terhadap CaCO_3 sehingga CaCO_3 akan terpresipitasi. Menurut Ford dan Williams², besarnya harga SI_{kalsit} tersebut pada umumnya memiliki tingkat kesalahan $\pm 0,2$.

Menurut Kehew⁴, sifat aliran air tanah di daerah kars dibagi menjadi aliran difusi atau *diffuse flow system* (aliran lambat) melalui media pori atau jaringan rekahan yang rapat dan aliran melalui jaringan rongga atau *conduit flow system* (aliran cepat). Air tanah yang mengalir melalui jaringan rongga lebih sulit untuk mencapai kondisi jenuh terhadap kalsit dibandingkan dengan air tanah yang mengalir melalui mekanisme difusi sehingga indeks kejenuhannya terhadap kalsit pada umumnya lebih rendah daripada air tanah yang berasal dari sistem difusi.

PERUMUSAN MASALAH

Perumusan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah apakah analisis data hidrokimia dapat membantu dalam interpretasi sistem hidrogeologi kars di daerah penelitian.

TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sistem hidrogeologi kars di daerah Cijulang, Kabupaten Ciamis, Provinsi Jawa Barat, berbasis analisis hidrokimia yang dikompilasi dengan data hidrogeologi hasil observasi lapangan. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai dasar dalam memanfaatkan daerah penelitian baik untuk kawasan budi daya maupun konservasi.

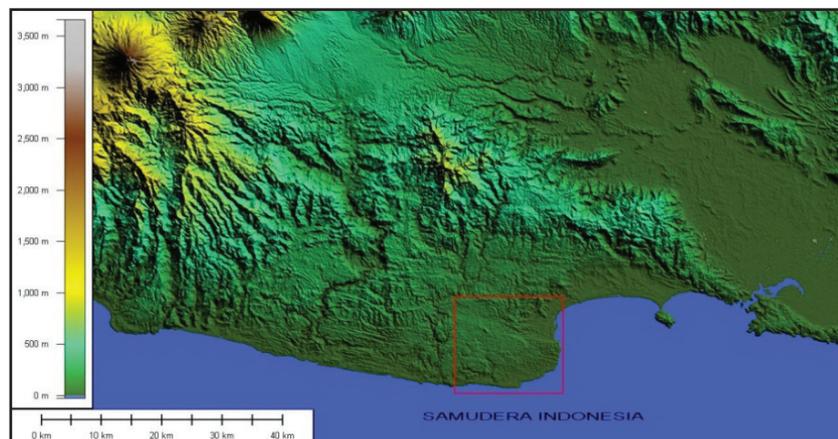
METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian secara administrasi terletak di Kecamatan Cijulang dan Kecamatan Cimerak, Kabupaten Ciamis, Provinsi Jawa Barat, terbentang mulai dari $108^\circ 25' - 108^\circ 30'$ BT, dan $7^\circ 41' - 7^\circ 50'$ LS (Gambar 1). Waktu penelitian dilakukan pada bulan Juli sampai dengan bulan September tahun 2008 dengan asumsi pada bulan tersebut termasuk musim kemarau, sehingga debit mata air kars dalam kondisi minimal.

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kompilasi antara metode hidrogeologi dengan metode hidrokimia, yaitu



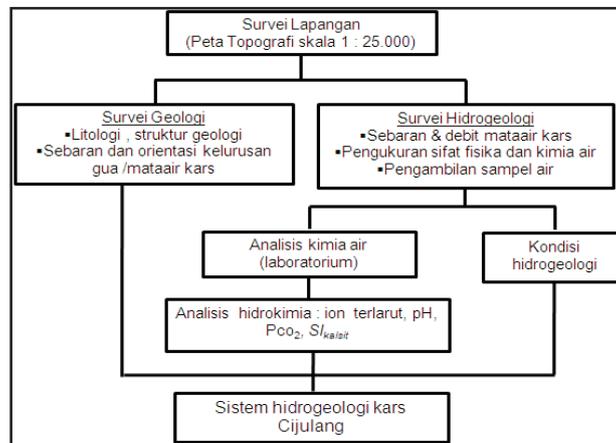
Gambar 1. Lokasi Penelitian

- a) Observasi hidrogeologi secara langsung terhadap kondisi batuan, stratigrafi, struktur geologi, dan pengukuran debit mata air kars.
- b) Pengukuran sifat fisika dan kimia mata air kars secara langsung dan analisis hidro-kimia di laboratorium.
- c) Analisis data hidrokimia dengan bantuan perangkat lunak.

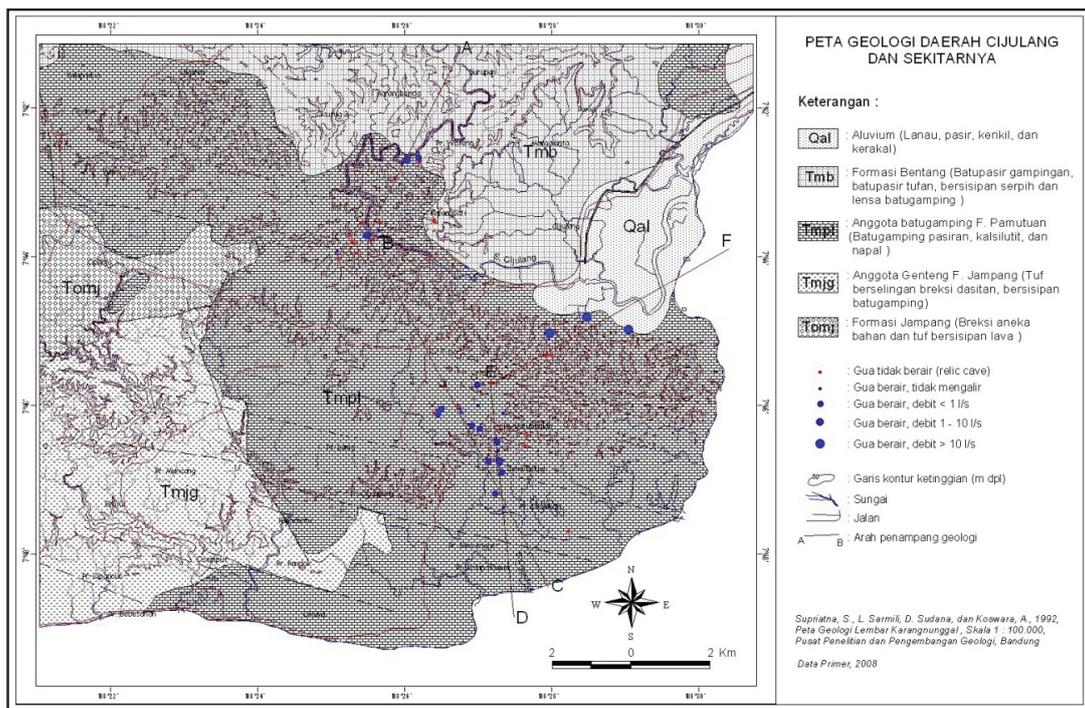
Diagram alur metode penelitian yang dilakukan di daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

HASIL DAN ANALISIS

Daerah Cijulang dan sekitarnya merupakan daerah kars yang ditunjukkan oleh berkembangnya morfologi perbukitan kars dan sistem jaringan rongga seperti gua atau sungai bawah tanah. Menurut Supriatna dkk.,⁶ daerah penelitian tersusun atas Anggota Batu gamping Formasi Pamutuan (Tmpl) seperti batu gamping pasir, kalsilit, dan napal yang berumur Miosen Tengah (Gambar 3). Batu gamping penyusun satuan ini di lapangan memperlihatkan struktur perlapisan dengan kemiringan $\pm 5^\circ$ kearah selatan



Gambar 2. Diagram Alur Metode Penelitian



Gambar 3. Peta Geologi Daerah Penelitian (Dimodifikasi Dari Supriatna Dkk.⁶)

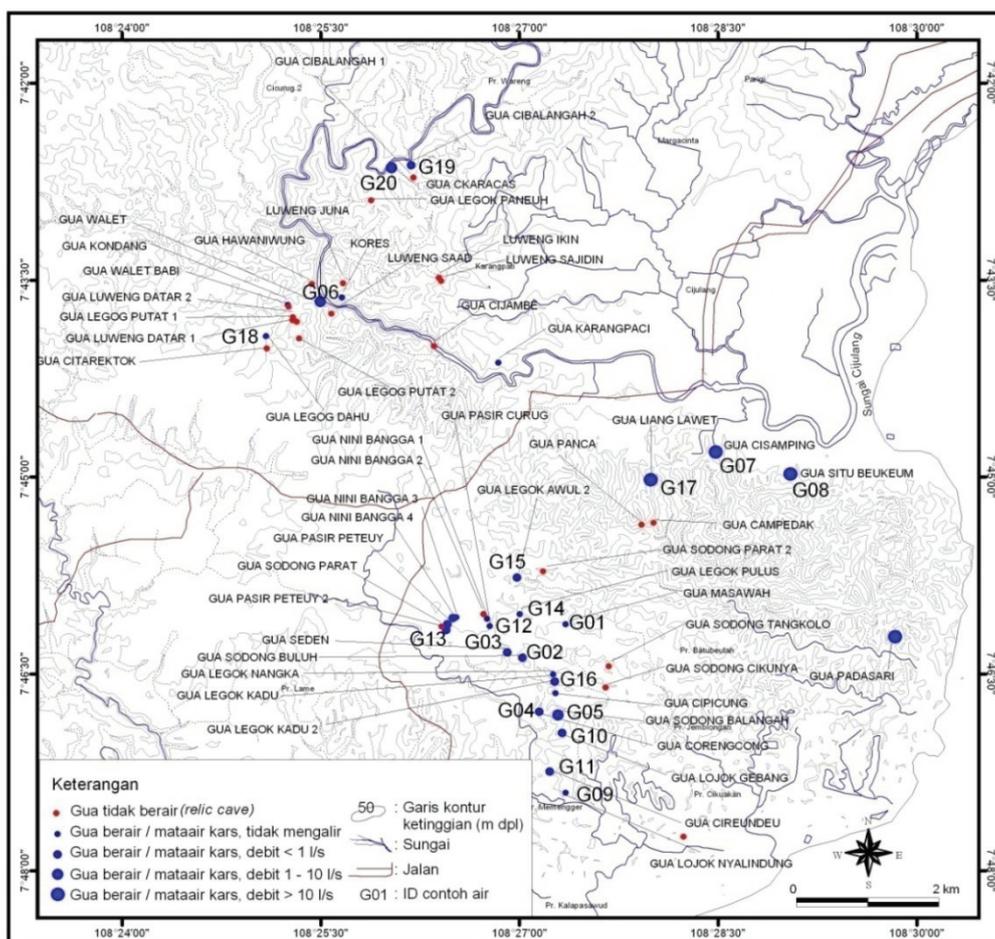
hingga barat daya, berwarna putih sampai putih kecoklatan, tekstur klastik, berukuran butir pasir sedang sampai kasar.

Hasil penelitian di lapangan menemukan 51 rongga gua dengan 21 gua (41,18%) bersifat kering dan 30 gua (58,82%) bersifat sebagai mata air kars (Gambar 4). Menurut Setiawan dkk.,⁷ berdasarkan atas analisis orientasi dan densitas kelurusan morfologi, sistem pengaliran bawah tanah daerah penelitian secara regional dikontrol oleh pola rekahan berarah utara-selatan, barat laut-tenggara, dan barat-timur.

Karakter debit mata air pada musim kemarau dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan atas grafik pada Gambar 5 terlihat bahwa semakin rendah elevasi maka debit mata air semakin besar. Pada elevasi di atas 40 m dpl (meter di atas permukaan air laut) sebagian besar mata air memiliki debit lebih kecil dari 1 l/dt kecuali pada mata air Cikaracak (G20) dengan debit 1,9 l/dt

dan mata air Gua Walet (G06) dengan debit 9,15 l/dt. Pada elevasi kurang dari 36 m dpl terdapat empat mata air dengan debit besar. Mata air tersebut antara lain Gua Cisamping (G07) dengan debit 30,53 l/dt, Gua Situ Bekem (G08) dengan debit 81,37 l/dt, Gua Liang Walet (G17) dengan debit 71,50 l/dt, dan Gua Padasari dengan debit 57,50 l/dt.

Karakteristik interaksi air dengan batuan berdasarkan atas fasies air tanah dan rasio Ca/Mg dari 25 sampel air yang dianalisis dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan atas Tabel 1 terlihat bahwa air tanah selama perjalanannya dominan telah berinteraksi dengan batu gamping dan batu gamping dolomitan. Satu sampel air yang diambil dekat Pantai Batukaras dengan fasies Ca-Mg-HCO₃-Cl menunjukkan bahwa selain berinteraksi dengan batu gamping dolomitan, air tersebut juga telah terpengaruh oleh air asin atau air laut.

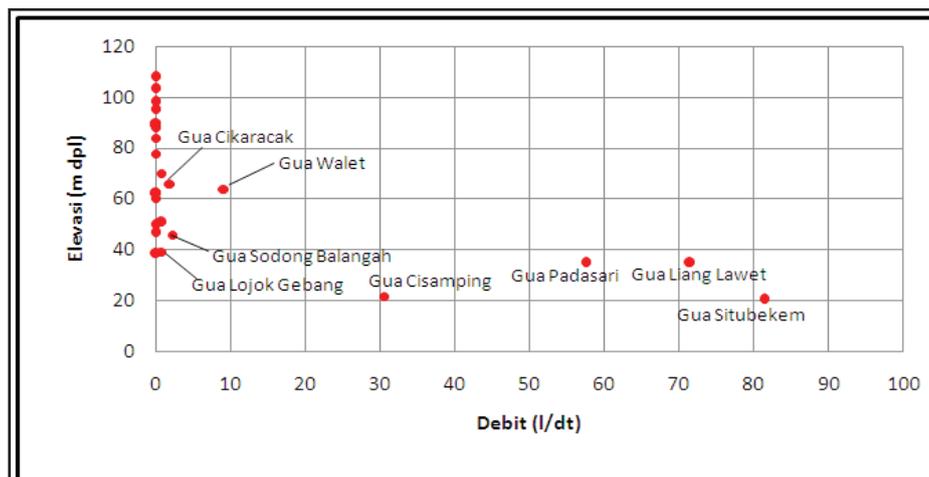


Gambar 4. Peta Distribusi Mata Air Kars

Tabel 1. Fases Hidrokimia dan Rasio Ca/Mg Contoh Air

Fases air tanah	Rasio Ca/Mg	Rata-rata	Jumlah sampel	Keterangan *)
Ca-HCO ₃	2,25–11,23	4,80	14	Air berinteraksi dengan batu gamping
Ca-Mg-HCO ₃	1,14–2,16	1,65	7	Air berinteraksi dengan batu gamping dolomitan
Mg-Ca-HCO ₃	0,57–0,91	0,74	3	Air berinteraksi dengan dolomit
Ca-Mg-HCO ₃ -Cl	1,39		1	Air berinteraksi dengan batu gamping dolomitan dan air asin

*) Langmuir, 1971, Zotl, 1974, dalam Eftimi dan Benderev⁹



Gambar 5. Grafik Distribusi Debit Mata Air Terhadap Elevasi

Interaksi antara air (H₂O), udara (CO₂), dan mineral kalsit penyusun batu gamping (CaCO₃) di daerah penelitian dapat dilihat dari grafik hubungan antara tekanan parsial CO₂ (Pco₂), derajat keasaman (pH), dan indeks kejenuhan terhadap CaCO₃ (SI_{kalsit}) pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 8.

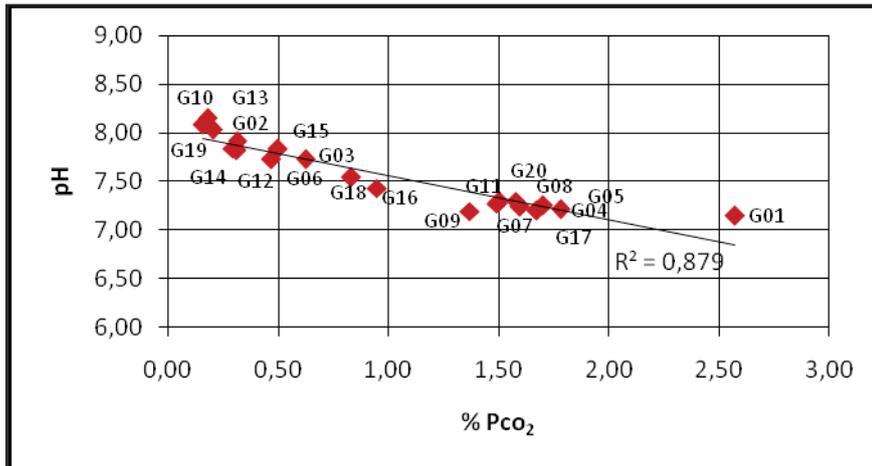
Berdasarkan atas grafik hubungan antara Pco₂ dengan pH seperti yang terlihat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin tinggi Pco₂ maka pH semakin rendah dengan tingkat korelasi tinggi (R² = 0,879). Hal tersebut berhubungan dengan proses difusi CO₂ ke dalam air akan menyebabkan bertambahnya konsentrasi ion H⁺ yang terbentuk akibat disosiasi H₂CO₃ sebagai hasil reaksi antara CO₂ dengan air (H₂O).

Pada Gambar 7 memperlihatkan bahwa semakin tinggi harga pH maka indeks kejenuhan terhadap CaCO₃ (SI_{kalsit}) semakin besar atau semakin lewat jenuh dengan tingkat korelasi tinggi (R² = 0,827). Hal tersebut disebabkan semakin besar harga pH maka air semakin tidak agresif

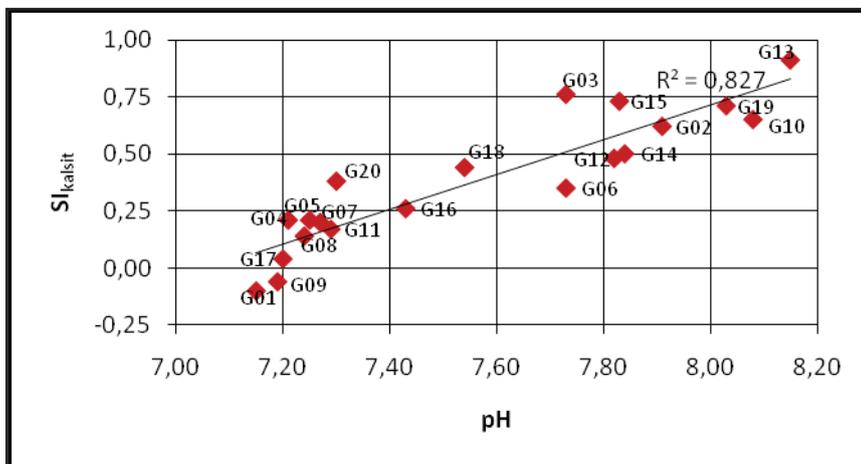
sehingga tidak mampu lagi melarutkan mineral CaCO₃. Dengan demikian, naiknya Pco₂ akan menyebabkan penurunan SI_{kalsit} dengan tingkat korelasi tinggi (R² = 0,726) seperti terlihat pada Gambar 8.

Harga masing-masing parameter hidrokimia berupa besarnya Pco₂, pH, dan SI_{kalsit} tersebut kemudian dihubungkan dengan karakteristik hidrogeologi berupa besarnya densitas atau kerapatan kelurusan batuan dan besarnya debit mata air kars. Hal tersebut kemudian dijadikan dasar untuk analisis sistem hidrogeologi kars yang menurut Cvijic (1918) dalam Milanovic¹ secara umum dibagi menjadi tiga zona, yaitu zona kering, zona transisi, dan zona aliran menerus. Tabel karakteristik hidrogeologi dan hidrokimia di daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

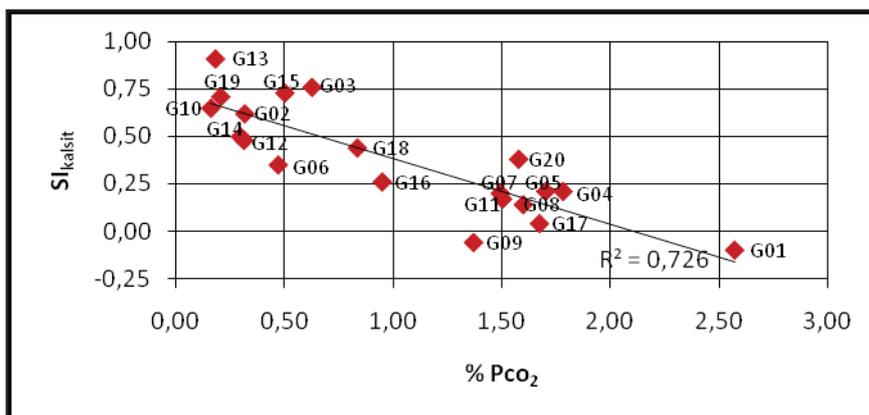
Hasil interpretasi sistem hidrogeologi kars seperti yang disajikan pada Tabel 2 memperlihatkan zonasi hidrogeologi kars dengan karakter mekanisme aliran yang ada pada rentang elevasi tertentu. Zona kering berada di atas zona transisi,



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Pco₂ dengan pH



Gambar 7. Grafik Hubungan Antara pH dengan SI_{kalsit}



Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Pco₂ dengan SI_{kalsit}

terletak pada elevasi yang bervariasi mengikuti bentuk topografi kars dengan karakter gua yang ditemui bersifat kering. Pada elevasi 110–65 m dpl merupakan zona transisi dengan karakter debit mata air musim kemarau minimal (< 1 l/

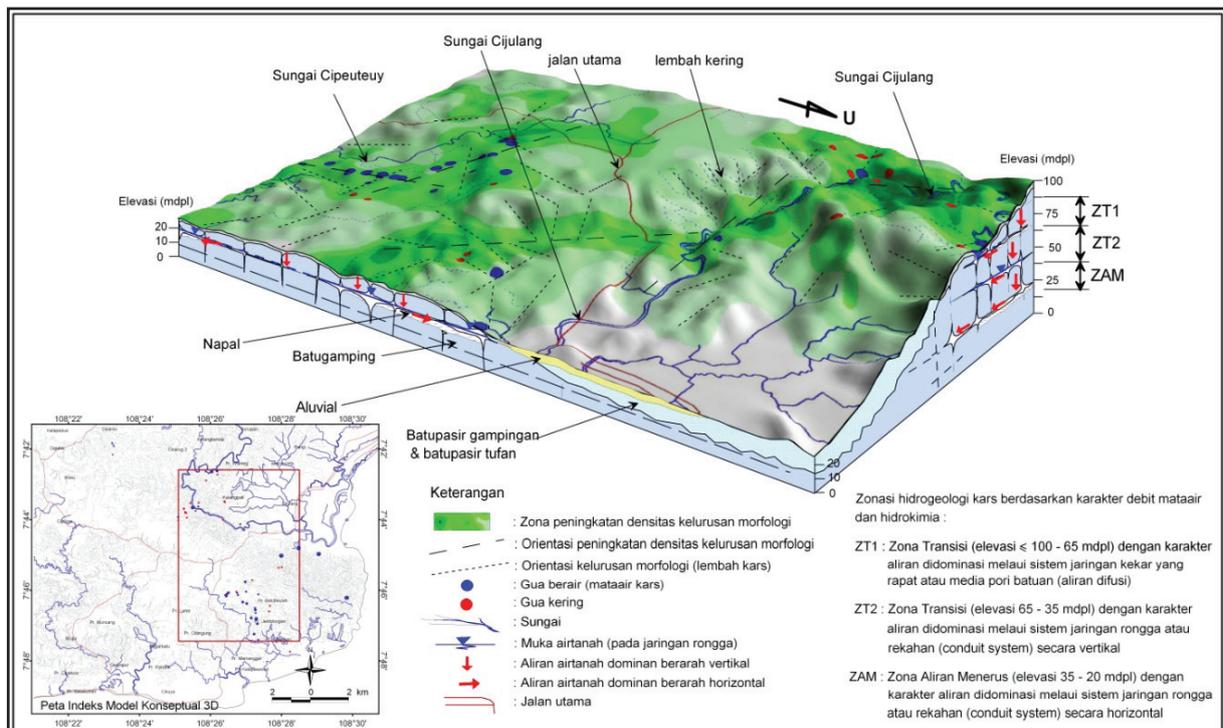
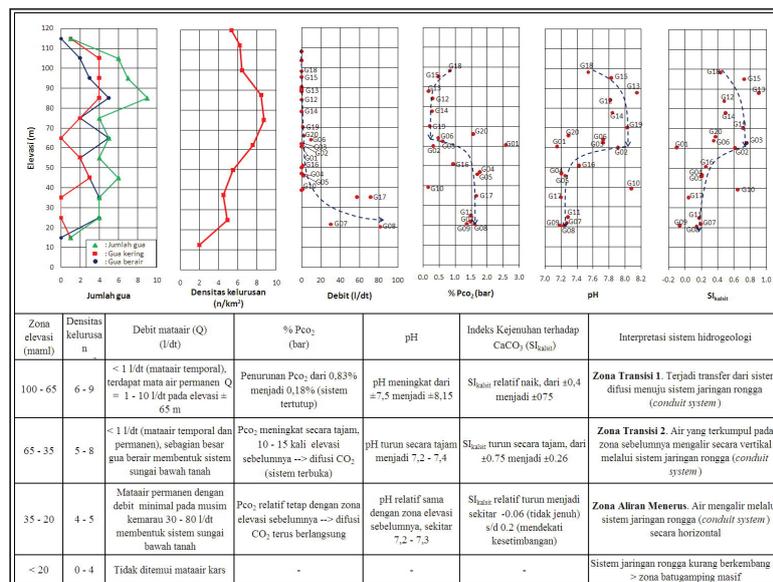
dt), bahkan sebagian besar hanya menggenang. Densitas kelurusan rata-rata pada rentang elevasi 110–65 m dpl relatif tinggi (6–9 /km²) yang menunjukkan intensifnya jaringan rongga yang terbentuk sebagai tempat terakumulasinya air.

Proses hidrokimia yang terjadi pada rentang elevasi 110–65 m dpl adalah penurunan P_{CO_2} (dari $\pm 0,83\%$ menjadi $\pm 0,18\%$) yang menunjukkan sistem tidak mendapat suplai CO_2 yang menerus sehingga konsentrasi ion H^+ terus berkurang (pH naik dari $\pm 7,5$ menjadi $\pm 8,15$) dan air semakin jenuh terhadap $CaCO_3$ (SI_{kalsit} naik dari $\pm 0,4$

menjadi $\pm 0,75$). Berdasarkan atas karakter tersebut maka diinterpretasikan bahwa air yang terakumulasi pada mata air berasal dari aliran difusi melalui sistem rekahan yang rapat, kemudian terakumulasi pada sistem jaringan rongga.

Elevasi 65–35 m dpl masih termasuk dalam zona transisi dengan karakter debit mata

Tabel 2. Karakteristik Parameter Hidrogeologi dan Hidrokimia Daerah Penelitian



Gambar 9. Model Konseptual Sistem Hidrogeologi Kars Cijulang

air selama musim kemarau memiliki debit minimal (< 1 l/dt), meskipun beberapa mata air bersifat permanen. Densitas kelurusan yang lebih rendah dari rentang elevasi sebelumnya ($5-8 / \text{km}^2$) menunjukkan intensitas jaringan rongga lebih sedikit sehingga air yang mengalir lebih terkonsentrasi.

Proses hidrokimia yang terjadi pada rentang elevasi 65–35 m dpl adalah meningkatnya Pco_2 secara tajam, yaitu maksimum pada elevasi ± 65 m dpl (mata air Gua Masawah) sebesar 2,57% atm atau sekitar 10–15 kali dari Pco_2 pada rentang elevasi sebelumnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa air mengalami kontak dengan CO_2 yang berada pada jaringan rongga sehingga konsentrasi ion H^+ bertambah (pH turun dari sekitar 7,7–8,15 menjadi 7,2–7,4) dan $\text{SI}_{\text{kalsit}}$ turun dari $\pm 0,75$ menjadi $\pm 0,26$. Karakter tersebut menunjukkan mekanisme aliran air tanah melalui jaringan rongga secara vertikal menuju level elevasi yang lebih rendah.

Elevasi 35–20 m dpl merupakan zona aliran menerus dengan karakter mata air bersifat permanen yang ditunjukkan oleh adanya empat mata air berdebit relatif besar (30–80 l/dt). Kontak antara air dengan CO_2 terus berlangsung meskipun tidak seintensif pada zona elevasi sebelumnya sehingga Pco_2 relatif tetap, pH sedikit turun pada kisaran 7,2–7,3, dan $\text{SI}_{\text{kalsit}}$ mendekati kondisi kesetimbangan ($\text{SI}_{\text{kalsit}} = 0,1-0,2$). Hal tersebut menunjukkan difusi CO_2 masih tetap berlangsung meskipun tidak seintensif pada zona elevasi sebelumnya. Karakter aliran yang terbentuk didominasi oleh aliran horizontal yang merupakan akumulasi air dari zona elevasi di atasnya dengan air yang berasal dari daerah tangkapan air (*catchment area*) yang lebih luas. Model konseptual sistem hidrogeologi kars daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 9.

KESIMPULAN

Daerah Cijulang dan sekitarnya merupakan daerah kars yang ditunjukkan oleh berkembangnya morfologi perbukitan kars dan sistem jaringan rongga seperti gua atau sungai bawah tanah. Hasil

observasi lapangan menemukan 30 mata air kars dengan fasies hidrokimia pada umumnya adalah Ca-HCO_3 dan Ca-Mg-HCO_3 yang menunjukkan bahwa air dominan telah berinteraksi dengan batu gamping dan batu gamping dolomitan.

Berdasarkan analisis data hidrokimia berupa derajat keasaman (pH), tekanan parsial CO_2 (Pco_2), dan indeks kejenuhan terhadap CaCO_3 ($\text{SI}_{\text{kalsit}}$) yang dikombinasi dengan karakteristik hidrogeologi menunjukkan adanya perubahan mekanisme aliran air tanah pada rentang elevasi tertentu. Mekanisme aliran difusi terjadi pada elevasi 110–65 m aml (zona transisi-1) kemudian berubah menjadi sistem aliran melalui jaringan rongga secara vertikal pada elevasi 65–35 m aml (zona transisi-2) dan secara horizontal pada elevasi 35–20 m aml (zona aliran menerus).

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Milanovic, P. T. 1981. *Karst Hydrogeology*. Water Resources Publications, USA
- ²Ford, D. C., dan P. W. Williams. 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology*. Chapman & Hall, London
- ³Matthess, G. 1981. *The Properties of Groundwater*. McGraw Hill
- ⁴Keheew, A. E. 2001. *Applied Chemical Hydrogeology*. Prentice Hall, New Jersey
- ⁵Domenico, P. A., dan F. W. Schwartz. 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley and Sons, New York
- ⁶Supriatna, S., L., D. Sarmili, Sudana, dan A. Koswara. 1992. *Peta Geologi Lembar*
- ⁷*Karangnunggal 1308-1, Skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- ⁸Setiawan, T., B. Brahmantyo, D. E. Irawan. 2008. Analisis Kelurusan Morfologi untuk Interpretasi Sistem Hidrogeologi Kars Cijulang, Kabupaten Ciamis, Provinsi Jawa Barat. *Prosiding PIT IAGI ke-37*, Bandung
- ⁹Eftimi, R., dan A. Benderev. 2007. Utilization of Hydrochemical Data for Characterization of The Karst System : Example of Iskerts Karst Spring, Bulgaria. *Review of Bulgarian Geological Society*, Vol. 68, Part 1–3, Bulgaria.