JLBG

JURNAL LINGKUNGAN DAN BENCANA GEOLOGI
Journal of Environment and Geological Hazards

ISSN: 2086-7794, e-ISSN: 2502-8804
Akreditasi KEMENRISTEKDIKTI: 21/E/KPT/2018 Tanggal 9 Juli 2018
e-mail: perpustakaan.pag@esdm.go.id - http://jlbg.geologi.esdm.go.id/index.php/jlbg

Kontrol Struktur Geologi terhadap Pola Lorong Gua Karst Karangnunggal, Kabupaten Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat

Control of Geological Structures on the Pattern of Karangnunggal Karst Cave Tunnel, Tasikmalaya Regency, West Java Province

Selasian Gussyak[1], Dicky Muslim[2] dan Euis Tintin Yuningsih[2]

[1]Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Badan Geologi,
Jalan Diponegoro No. 57 Bandung 40122 Indonesia
[2] Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran,
Jalan Raya Bandung Sumedang km 21, Jatinangor, Indonesia

e-mail: gussyak.pag@gmail.com
Naskah diterima 29 Desember 2021, selesai direvisi 27 Januari 2022, dan disetujui 4 April 2022

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pola pembentukan lorong rongga/gua yang memiliki sungai bawah tanah berdasarkan pengaruh struktur geologi yang berkembang pada Karst Karangnunggal, Kabupaten Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat. Penelitan ini dilakukan dengan analisis data sekunder, pengambilan data lapangan dan analisis studio. Observasi data kekar pada bebarapa mulut gua dianalisis dengan menggunakan software *Dips* dan *Riedel Shear Model*. Dua fitur gua yang memiliki sungai bawah tanah ditemukan terdiri atas Gua Sangiran - Gua Cipariuk dan Gua Cilutung - Gua Bojong, selanjutnya dilakukan pemetaan susur terhadap gua-gua tersebut. Berdasarkan hasil analisis pola kelurusan morfologi menunjukkan dominan arah orientasi timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara. Berdasarkan analisis pola kekar pada area mulut gua Cipariuk memiliki pola berarah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya. Dari analisis pola kekar area mulut Gua Cilutung dan Gua Bojong terindikasi adanya sesar mendatar berarah timur laut-barat daya. Arah-arah orientasi ini bila disandingkan dengan arah orientasi pola lorong gua hasil pemetaan susur gua berarah sama yaitu berarah timur laut-barat daya dan beberapa lokasi berarah barat laut-tenggara. Hal ini juga memiliki kesamaan arah dengan pola ekstensional dari model struktur Riedel.

Kata kunci: karst, kelurusan, kekar, Karangnunggal

ABSTRACT

This study discusses the direction of the formation of cave tunnel that has an underground river based on the influence of the geological structure that develop in the Karst Karangnunggal, Tasikmalaya Regency, West Java Province. The research was carried out by secondary data analysis, taking field data and analyzing studios. Observation of joint data at several cave mouths was analyzed using Dips software and Riedel Shear Mode. Two cave features that have underground rivers were found which consist of Sangiran Cave - Cipariuk Cave and Cilutung Cave - Bojong Cave, then the rail mapping of these caves was carried out. Based on the results of the lineament analysis, the dominant orientation is northeast-southwest and northwest-southeast. Based on the analysis of the joint pattern at the mouth of the Cipariuk Cave, it has a northwest-southeast and northeast-southwest trending pattern. The analysis of the joint pattern at the mouth of the Cilutung Cave and Bojong Cave indicates a horizontal fault with a northeast-southwest direction. These orientation directions when compared with the direction of the cave tunnel pattern orientation as a result of the cave rail mapping have the same direction, namely northeast-southwest and occasionally northwest-southeast direction. They also share the same direction as the extensional pattern of the Riedel Structural Model.

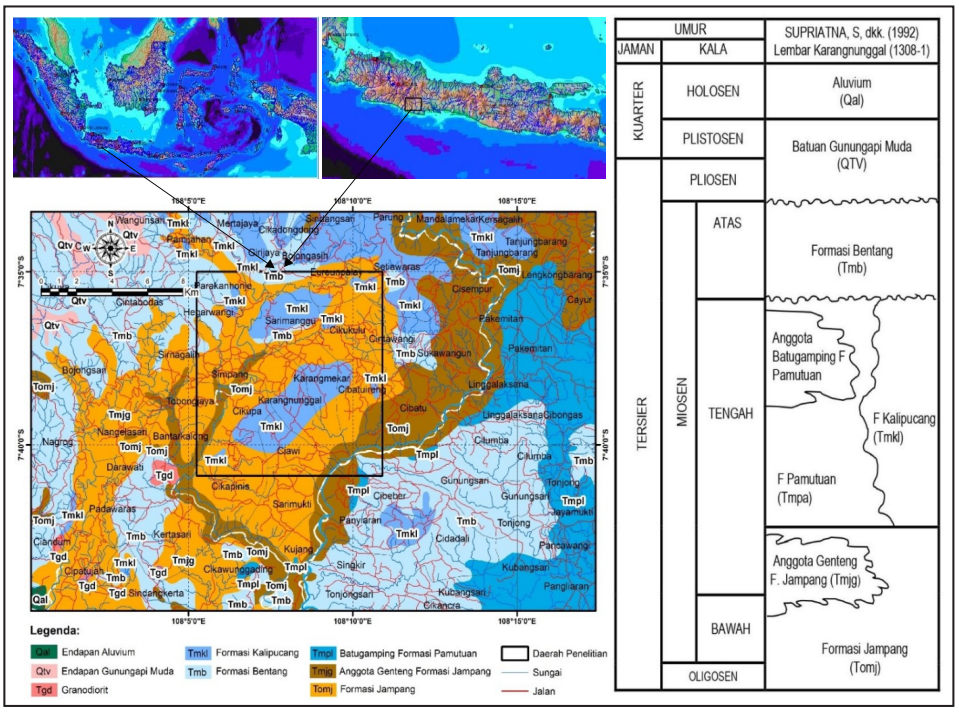
***Keywords**: karst, lineament, joint, Karangnunggal*

PENDAHULUAN

Daerah Karangnunggal, Kabupaten Tasikmalaya, memiliki endapan batugamping yang melampar dari utara ke selatan (Gambar 1). Batugamping ini sebagian besar termasuk dalam kawasan bentang alam karst Kabupaten Tasikmalaya. Batugamping telah mengalami proses karstifikasi sehingga karakteristik fisik batugamping daerah ini berbeda dengan batugamping pada umumnya. Ford dan Williams (1992) menyatakan bahwa karst adalah bentang alam dengan kekhasan kondisi hidrologi yang terbentuk sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik. Bentang alam ini memperlihatkan bentuk permukaan yang khusus dan drainase bawah permukaan (Milanovic, 1981). Perbedaan karakteristik fisik antara batugamping pada kawasan karst dengan batugamping dan batuan sedimen (Nugroho drr, 2016) pada umumnya antara lain banyak terdapat rongga-rongga akibat pelarutan terhadap mineral karbonat, banyak rekahan-rekahan sebagai bidang diskontinu, yang disebabkan oleh adanya struktur geologi dan akibat proses pelarutan dan rekahan yang ada sulit untuk ditentukan polanya sehingga sulit untuk diketahui baik dalam penyebaran maupun dimensinya.

Batugamping daerah ini termasuk kedalam batugamping Formasi Kalipucang. Pelamparan batugamping Kalipucang membentuk fitur eksokarst terdiri atas bukit-bukit karst, dolina, mata air dan fitur endokarst berupa gua kering (gua fosil) dan gua yang memiliki jaringan aliran sungai bawah tanah serta *speleothem*. Berdasarkan Kepmen ESDM Nomor 17 Tahun 2012 tentang Penetapan Kawasan Bentang Alam, eksokarstmerupakan bentukan karst pada bagian permukaan sedang endokarst merupakan bentukan karst pada bagian bawah permukaan. Wilayah yang dilakukan penelitian adalah 2 (dua) blok sebaran batugamping Kalipucang yang terendapkan di atas serta terlihat dari permukaan dikelilingi oleh Anggota Genteng Formasi Jampang. Peran rekahan dan patahan dalam mengendalikan speleogenesis di berbagai sistem karst telah diakui secara luas.

Faulkner, drr. (2006), Kassa, drr. (2012), Setiawan (2015) serta Choi, drr. (2016), telah melakukan penelitian terkait pengaruh struktur



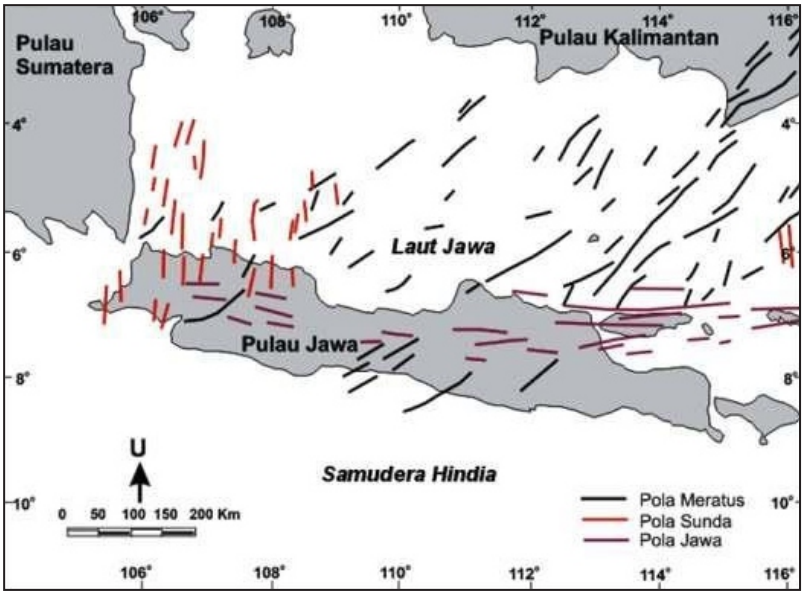
Gambar 1. *Peta Geologi Daerah Karangnunggal*, Kabupaten Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat (modifikasi Supriatna, drr., 1992).

geologi terhadap aliran pada rongga atau *conduit*. Dalam kasus *carbonate metamorphosis,* Faulkner, drr. (2006), menerangkan bahwa hanya jalur rekahan terbuka yang memberikan peluang untuk pelarutan dan pembentukan rongga ke dalam lorong gua. Kassa, drr. (2012) mengidentifikasi bahwa pembentukan gua-gua sebagian besar dikendalikan oleh struktur geologi, sejalan dengan Choi, drr. (2016) yang menyatakan bahwa batuan akan melemah secara mekanis di inti dan zona kerusakan patahan, dalam kondisi ini, batuan tersebut dapat dengan mudah terkikis oleh sirkulasi air bawah tanah dan berkontribusi pada pembentukan rongga bawah tanah. Setiawan (2015) mengemukakan bahwa pola rekahan dan densitas kelurusan berhubungan dengan jumlah gua yang berkembang pada kawasan karst. Jalur aliran di karst berkembang secara baik di sepanjang zona sesar, kekar-kekar dan bidang perlapisan, dan keberadaan struktur tektonik dianggap sangat diperlukan untuk perkembangan karst (Glazek, 1989).

Berkembangnya gua yang memiliki jaringan sungai bawah tanah di daerah penelitian, apabila dikorelasikan dengan literatur yang dikemukan diatas maka penelitian pengaruh struktur terhadap fenomena ini menjadi sangat menarik untuk dilakukan. Juga nantinya diperoleh informasi manakah karst yang berkembang baik di antara 2 (dua) blok pelamparan batugamping, dan diharapkan dapat membantu dalam deliniasi Kawasan Bentang Alam Karst.

Tektonika daerah penelitian dipengaruhi oleh tumbukan Lempeng India-Australia dengan Lempeng Eurasi periode Oligosen hingga Miosen Awal, yang mengakibatkan terbentuknya jalur pegunungan bagian selatan Pulau Jawa. Hasil sedimentasinya berupa Formasi Jampang dan Anggota Genteng Formasi Jampang (Tomj). Kemudian pada periode Akhir Miosen Awal - Miosen Tengah daerah penelitian mengalami orogenesa (tektonik)yang menyebabkan daerah ini menjadi laut dangkal dan mulai diendapkan batuan-batuan Formasi Formasi Kalipucang.

Pada Oligosen akhir ini, Jawa bagian tengah, barat dan Laut Jawa secara tektonik dan magmatik tidak aktif lagi atau stabil, dan menyatu dengan subkontinen yang meliputi sebagian besar Sumatera dan seluruh Semenanjung Malaya. Fisiografi di Laut Jawa membentuk pola kelurusan morfologi dan struktur berarah timur laut-barat daya (Gambar 2), yang disebut sebagai arah Meratus. Gambar 2 menunjukkan pola-pola kelurusan (struktur) di Pulau Jawa dan sekitarnya, yang terdiri atas arah Meratus (barat



Gambar 2. Tiga arah pola struktur (kelurusan) di Jawa dan sekitarnya (Pulunggono dan Martodjojo, 1994).

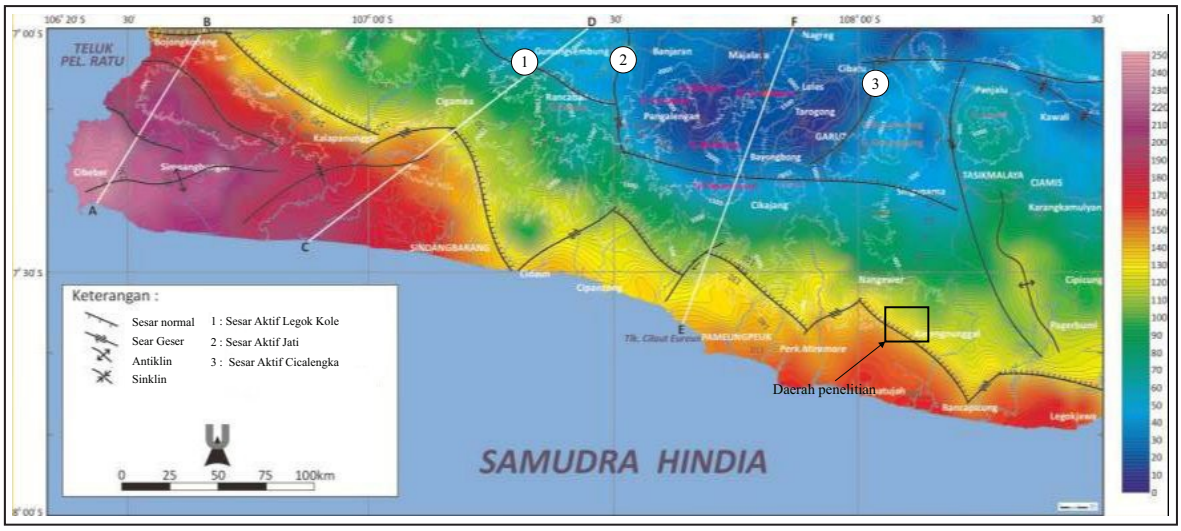
daya – timur laut), arah Jawa (barat – timur) dan arah Sunda (utara – selatan) (Pulunggono dan Martodjojo, 1994).

Sesar regional di daerah studi ini berarah utara barat laut-selatan tenggara, dan menerus ke arah Pangandaran. Sesar ini disebut sebagai Sesar Citanduy (Budhitrisna, 1987). Sejalan dengan itu Subagio (2018) juga menjelaskan berdasarkan analisis anomali Bouguer (Gambar 3), sesar normal yang berarah barat laut-tenggara, terjadi di sepanjang pantai selatan daerah penelitian. Sesar-sesar ini seolah-olah terpotong oleh sesar-sesar geser, sehingga sesar-sesar tersebut pada arah lateral membentuk garis zig-zag sedemikian rupa, blok bagian utara turun secara relatif terhadap blok selatan

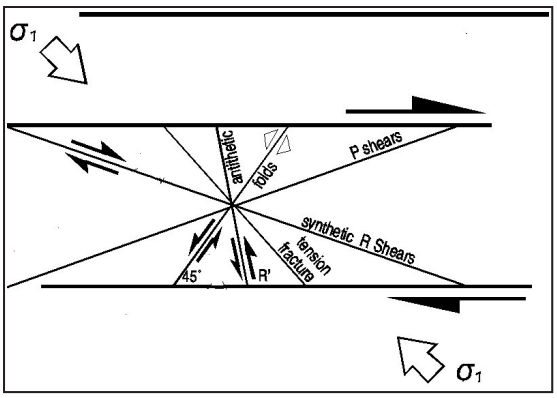
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengamatan dan pengambilan data singkapan batugamping meliputi deskripsi batugamping serta pengambilan sampel batuan untuk nantinya dilakukan analisis petrografi. Di samping itu dilakukan pengamatan fitur eksokarst dan endokarst pada 2 (dua) blok pelamparan batugamping yang berkembang di daerah penelitian. Analisis pola kelurusan (*lineament*) morfologi menggunakan citra DEMNAS (*Digital Elevation Model Nasional*) dengan resolusi 8,25 meter yang dikeluarkan oleh BIG (Badan Informasi Geospasial) tahun 2017. Analisis dilakukan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Analisis karakterisasi kelurusan morfologi metode statistika menghasilkan diagram roset maupun secara spasial. Pengukuran *strike/dip* kekar pada mulut gua serta analisis mekanisme pola kekar untuk mendapatkan proyeksi stereografik dan pengukuran jalur sungai bawah tanah metode langkah kompas menggunakan kompas dan *distometer* untuk mengukur jarak.

Terhadap hasil pengukuran data kekar dilakukan pengolahan dengan menggunakan Riedel Shear Model. Model ini merupakan model struktur yang terdiri atas berbagai komponen struktur yang berkembang dalam suatu sistem sesar mendatar (Riedel, 1929). Di dalam *Riedel Shear Model*, suatu sistem sesar mendatar disebut sebagai *Principle Displacement Zone* (PDZ), dengan σ1 memiliki sudut ± 45° terhadap PDZ (Gambar 4). Seiring pergerakan PDZ, *synthetic R shears* akan terbentuk pertama kali yang diikuti dengan dan *antithetic R'shears* (Riedel, 1929, Corbett and Leach, 1997). *Synthetic R shears* pada umumnya terbentuk sudut ±15° terhadap pergerakan PDZ secara umum sementara *anthithetic R'shears* terbentuk pada sudut ± 85° dari PDZ (Riedel, 1929, Tchalenko, 1970, Corbett



Gambar 3. Struktur geologi bawah permukaan. Hasil penafsiran kualitatif dan kuantitatifpola anomali Bouguer (Subagio, 2018).



Gambar 4. Model struktur *Riedel Shear* (Corbett and Leach, 1997).

and Leach, 1997, Davis et al., 2000). *P shears* merupakan komponen struktur yang terbentuk paling akhir, dengan sudut ±15° terhadap PDZ, dan mengakomodasi proses *shearing* secara keselurahan (Corbett and Leach, 1997).

Di dalam *Riedel shear model*, komponen penting bagi suatu sistem struktur adalah komponen ekstensional atau *open fractures*, dimana *open fracture* (*extensional setting*) dapat memberikan permebilitas sekunder yang efektif pada batuan i.e. dalam sistem magmatik dan hidrothermal (Corbett and Leach, 1997). *Open fractures* pada sistem Riedel terbentuk pertama kali searah dengan σ1 (Mode I) (zoback, 2010) atau ± 45^0 terhadap PDZ (Corbett and Leach, 1997). Seiring proses *shearing, extensional setting* akan berotasi dan semakin membuka searah dengan proses *shearing* dari PDZ sampai mendekati tegak lurus terhadap PDZ sesar mendatar (Corbett and Leach, 1997).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan *outcrop* batugamping (Gambar 5) berpedoman pada peta sebaran batugamping dalam *Peta Geologi Lembar Karangnunggal, Jawa, Skala 1 : 100.000* (Supriatna, drr., 1992). Batugamping daerah penelitian teramati berupa batugamping Formasi Kalipucang yang terdiri atas *Wackestone-Grainstone*. *Wackestone* berwarna abu kehitaman, klastik, pemilahan buruk, kemas terbuka dan porositas sedang. Matriks berupa mikrit lumpur gampingan 45%. *Packstone* berwarna coklat kehitaman, klastik, pemilahan sangat buruk, kemas terbuka, dan porositas sedang. Matrik terdiri atas mikrosparit dan orthosparit 20%. *Grainstone* berwarna coklat khitaman, klastik, pemilahan sangat buruk, kemas terbuka dan porositas sedang. Matriks terdiri atas spari kalsit 15%. Batugamping Kalipucang berumur Miosen Tengah dan terendapkan selaras dengan Anggotan Genteng

Gambar 5. *Outcrop* mulut Gua Cilutung, berurutan bagian atas *grainstone*, tengah *packstone* dan bawah *wackestone.*

Formasi Jampang (Tmjg) yang berumur Miosen Awal – Miosen Tengah.

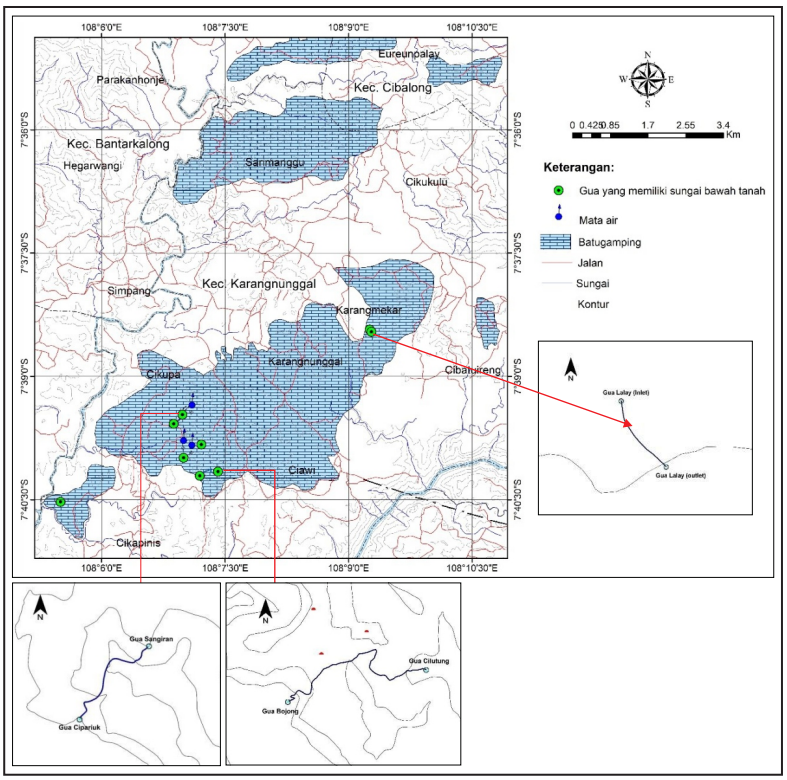
Batuan gunungapi Oligo-Miosen yang terdiri atas breksi gunungapi, lava, dan tufa di segmen daerah ini bertindak sebagai batuan-dasar batugamping. Sedang batupasir gampingan, batulempung, konglomerat, serpih, dan lensa-lensa kecil batugamping yang berumur Miosen Akhir berfungsi sebagai batuan penutup. Kehadiran batuan dasar akan mempengaruhi speleogenesis, terutama kedalamannya. Sedangkan batuan penutup, terutama yang berbutir halus dan bersifat kedap air, berpengaruh pada proses peresapan air hujan larian ke dalam lapisan batugamping di kedalaman. Mengingat segmen daerah ini banyak mengalami peretakan, maka peresapan air permukaan ke dalam tanah lebih banyak dipengaruhi oleh kekar-kekar terbuka, yang genesanya berkaitan dengan pembentukan sesar. Bidang sesarnyapun juga berfungsi sebagai saluran, tempat masuknya air hujan. Air yang meresap dan bersirkulasi di dalam lapisan batugamping akan mempengaruhi proses karstifikasi dan membentuk gejala endokars yang belum tersingkap.

Struktur berbentuk lapies yaitu bentuk-bentuk tidak teratur dan lubang-lubang secara intensif juga teramati pada singkapan batugamping pada blok bagian selatan (Gambar 6), sedangkan pada bagian blok utara fenomena ini tidak intensif. Ini menandakan telah terjadi proses pelarutan cukup intensif pada blok bagian selatan, hal ini juga ditandai dengan terbentuknya serta berkembangnya gua fosil dan gua berair (memiliki jaringan sungai bawah tanah) berkembang pada blok bagian selatan (Gambar 5).

Gambar 6. Tekstur lapies *outcrop* batugamping di Desa Ciawi.

Beberapa gua di bagian selatan daerah penelitian memiliki jaringan sungai bawah tanah (Gambar 7), yang terdiri atas Gua Sangiran (*insurgen*) – Gua Cipariuk *(resurgen*) dengan arah kemiringan perlapisan batugamping N 35^0E/15^0, Gua Cilutung (*insurgen*) – Gua Bojong (*resurgen*) dengan arah kemiringan perlapisan N 72^0E/31^0 dan Gua Lalay. Mylroie (1984) menyebutkan bahwa *isurgence* adalah masuknya aliran air dari drainase permukaan menuju drainase bawah permukaan dan *resurgence* yaitu munculnya aliran air di permukaan yang berasal dari drainase bawah permukaan. Pelarutan ekstensif batuan karbonat yang telah menyebabkan pembentukan gua-gua tersebut adalah hasil dari sungai alogenik, yang berasal dari perbukitan breksi yang berdampingan, dan sungai autogenik, yang berasal dari air hujan yang terinfiltrasi pada batugamping. Di samping fitur tersebut, morfologi karst di permukaan dan sekitar jaringan sungai bawah tanah Gua Cilutung juga terbentuk cekungan tertutup berbentuk bulat atau lonjong dengan ukuran beberapa meter hingga lebih kurang satu kilometer atau yang disebut juga dengan dolina (Ford dan Williams, 1992). White (1998) menyatakan dolina merupakan pengatus yaitu saluran dengan permeabilitas tinggi yang mengatuskan air dalam dolina ke sistem drainase bawah tanah dan mintakat yang terubah oleh proses pelarutan di permukaan dan dekat permukaan batuan.

Hobbs (1904) menyebutkan yang termasuk dalam pola-pola kelurusan di permukaan adalah lembahan, punggungan, batas area yang memiliki perbedaan ketinggian, sungai, garis pantai, batas garis formasi batuan, dan zona-zona retakan. Selanjutnya Parizek (1967, dalam Nemitz, 2001) menyatakan bahwa fenomena depresi karst seperti lembah karst, dolin, *sinkhole*, dan sebagainya berkembang terutama sepanjang zona rekahan. Penarikan kelurusan morfologi yang merupakan ekspresi dari zona lemah pada batuan baik rekahan (kekar), sesar, dan bidang ketidakmenerusan lainnya. Analisis

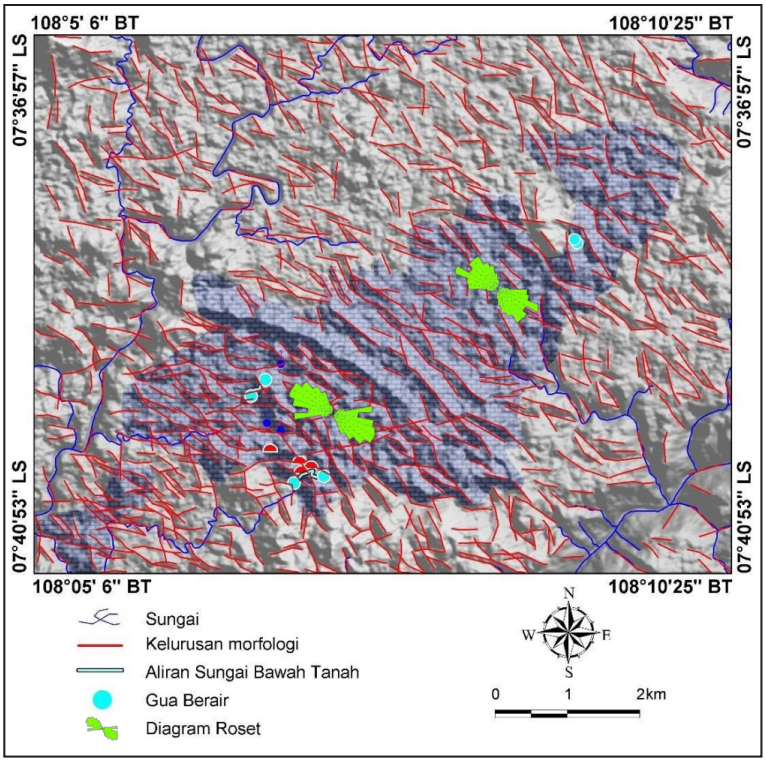


Gambar 7. Peta sebaran fitur eksokarst dan endokarst.

kelurusan morfologi hanya dilakukan pada blok selatan yang memiliki sebaran eksokarst dan endokarst berkembang baik.

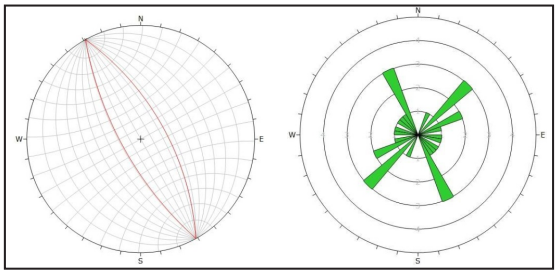
Berdasarkan citra DEMNAS telah terinterpretasikan sebanyak 307 kelurusan morfologi karst. Hasil interpretasi kelurusan dan orientasi kelurusan dalam bentuk diagram roset secara spasial dapat dilihat pada Gambar 8. Hasil analisis orientasi kelurusan morfologi menggunakan diagram roset memperlihatkan bahwa di daerah penelitian sebelah timur arah laut memiliki kelurusan dominan barat laut-tenggara (N 270^0 – 330^0 E) dimana pada bagian wilayah ini terbentuknya jaringan sungai bawah tanah Gua Lalay. Pada arah barat daya pelamparan batugamping, arah kelurusan menjadi bervariasi berarah barat laut-tenggara (N 290^0 – 310^0 E) dan dengan arah relatif barat-timur (N 80^0 – 90^0 E). Pada wilayah ini merupakan daerah yang banyak terbentuknya fitur eksokarst dan endokarts terutama sungai bawah tanah Gua Sangiran - Gua Cipariuk dan sungai bawah tanah Gua Cilutung - Gua Bojong.

Pengukuran data kekar dilakukan pada mulut Gua Cipariuk, Gua Cilutung dan Gua Bojong, kemudian dilakukan analisis kekar. Gua Cipariuk memiliki kekar yang berkembang berupa kekar tarik (*tension joint)* sebagaimana yang tersaji pada Gambar 9. Ada sebanyak 15 data kekar yang menurut hasil pengolahan menunjukkan dua kutub maksimal, dengan analisis stereogram menunjukkan pola umum *tension joint* berarah barat laut-tenggara. Sedangkan berdasarkan diagram roset berarah timur laut-barat daya dan berarah barat laut- tenggara (Gambar 10). Berdasarkan citra DEMNAS telah terinterpretasikan sebanyak 307 kelurusan morfologi karst. Hasil interpretasi kelurusan dan orientasi kelurusan dalam bentuk diagram roset secara spasial dapat dilihat pada Gambar 8. Hasil analisis orientasi kelurusan morfologi menggunakan diagram roset memperlihatkan bahwa di daerah penelitian sebelah timur arah laut memiliki kelurusan dominan barat laut-tenggara (N 270^0 – 330^0 E) dimana pada bagian wilayah ini terbentuknya jaringan sungai bawah tanah Gua Lalay. Pada



Gambar 8. Kelurusan morfologi dan diagram roset.

Gambar 9. Kekar tarik pada Gua Cipariuk.



Gambar 10. Analisis data kekar dalam stereonet dan diagram roset Gua Cipariuk.

arah barat daya pelamparan batugamping, arah kelurusan menjadi bervariasi berarah barat laut-tenggara (N 290^0 – 310^0 E) dan dengan arah relatif barat-timur (N 80^0 – 90^0 E). Pada wilayah ini merupakan daerah yang banyak terbentuknya fitur eksokarst dan endokarts terutama sungai bawah tanah Gua Sangiran - Gua Cipariuk dan sungai bawah tanah Gua Cilutung - Gua Bojong.

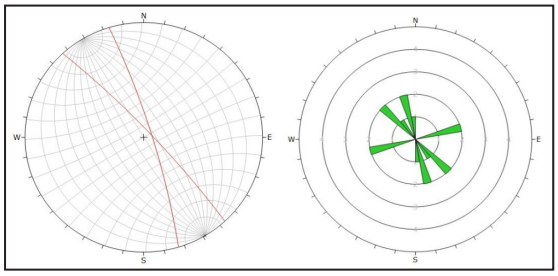
Pengukuran data kekar dilakukan pada mulut Gua Cipariuk, Gua Cilutung dan Gua Bojong, kemudian dilakukan analisis kekar. Gua Cipariuk memiliki kekar yang berkembang berupa kekar tarik (*tension joint)* sebagaimana yang tersaji pada Gambar 9. Ada sebanyak 15 data kekar yang menurut hasil pengolahan menunjukkan dua kutub maksimal, dengan analisis stereogram menunjukkan pola umum *tension joint* berarah barat laut-tenggara. Sedangkan berdasarkan diagram roset berarah timur laut-barat daya dan berarah barat laut- tenggara (Gambar 10).

Gua Cilutung memiliki kekar yang berkembang berupa kekar tarik (*tension joint)* sebagaimana terlihat pada Gambar 11. Sebanyak 11 data kekar diperoleh, analisis steoreogram terbentuk dua puncak titik maksima, dengan pola umum *tension joint* berarah barat laut-tenggara.

Gambar 11. Kekar tarik pada Gua Cilutung.

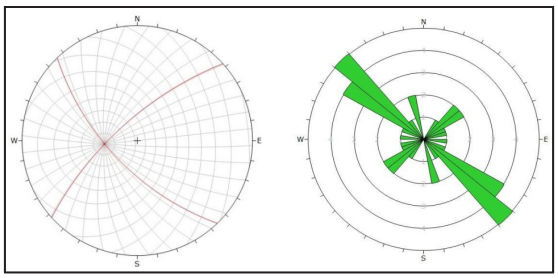
Diagram roset yang dihasilkan dari pengolahan data kekar di Gua Cilutung menunjukkan pola berarah barat laut-tenggara dan relatif timur laut- barat daya (Gambar 12).

Gua Bojong memiliki kekar yang berkembang juga berupa kekar tarik (*tension joint)* sebagaimana tersaji pada Gambar 13. Analisis stereogram data kekar sebanyak 22 data menghasilkan dua titik maksima yang berpotongan, dengan arah umum *tension joint* berarah relatif barat laut-tenggara. Diagram roset yang dihasilkan dari pengolahan data kekar di Gua Bojong menunjukkan pola berarah barat laut-tenggara (Gambar 14).



Gambar 12. Analisis data kekar dalam stereonet dan diagram roset Gua Cilutung.

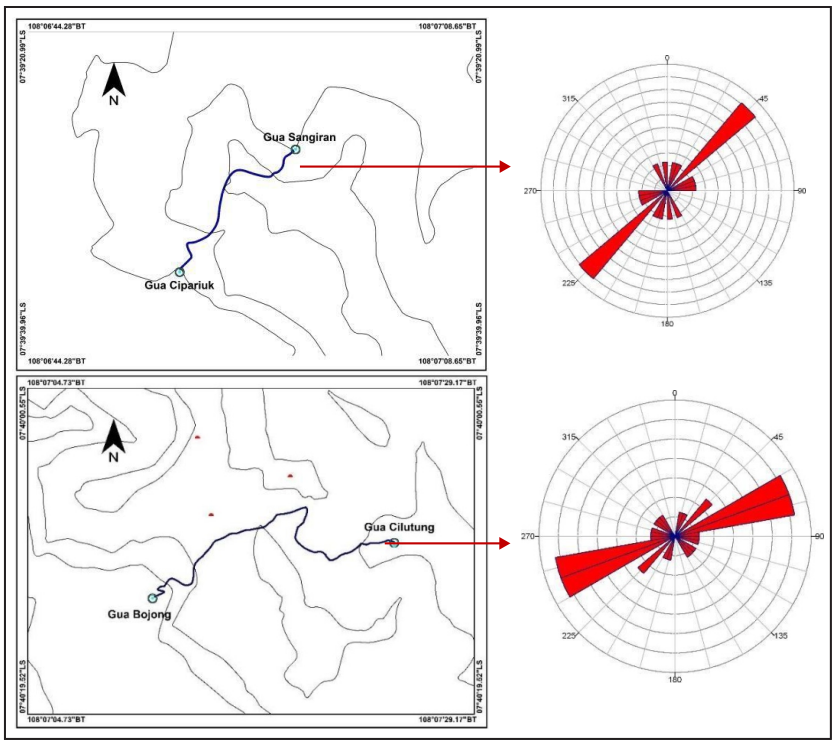
Gambar 13. Kekar tarik pada Gua Bojong.



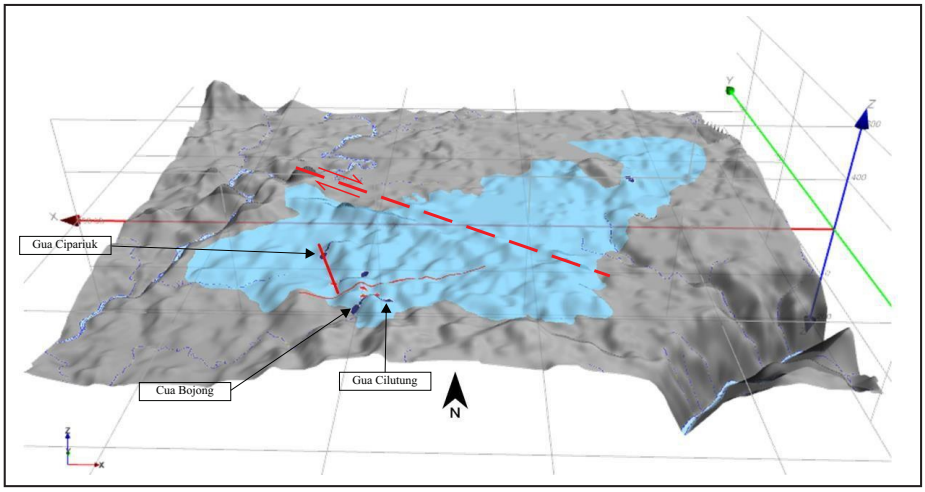
Gambar 14. Analisis data kekar dalam stereonet dan diagram roset Gua Bojong.

Pemetaan hanya dilakukan pada lorong gua yang memiliki jaringan sungai bawah tanah dengan menggunakan metode langkah kompas dan *distometer* meliputi lorong Gua Sangiran - Gua Cipariuk dan Gua Cilutung - Gua Bojong (Gambar 15). Sedangkan aliran air dalam Gua Lalay hanya memiliki panjang 32 meter. Mulut Gua Sangiran merupakan tempat masuknya aliran air permukaan dan luahannya pada mulut Gua Cipariuk dengan panjang lorong gua 326,3 meter. Pola lorong-lorong gua memiliki arah dominan timur laut-barat daya (N 40^0 – 50^0 E) dan sesekali dengan arah barat laut-tenggara. Mulut Gua Cilutung merupakan tempat masuknya aliran air permukaan dan luahannya melalui mulut Gua Bojong dengan panjang lorong gua 594 meter. Pola lorong-lorong gua memiliki arah dominan relatif timur-timut laut-barat-barat daya (N 60^0 - 80^0 E) dan beberapa lokasi dengan arah barat laut-tenggara. Gua Lalay memiliki panjang lorong 32 meter relatif tidak ada kelokan dengan pola arah lorong gua berarah barat laut-tenggara (N 320^0 - 330^0 E).

Secara regional, daerah penelitian dikontrol oleh sesar mendatar dengan arah umum barat laut - tenggara, yang ditunjukkan oleh analisa struktur dari peta anomali Bouguer Regional pada Gambar 3 (Subagio,2018). Pola struktur utama tersebut dapat diidentifikasi juga pada peta sebaran endokarst yang menunjukkan *offset* menganan (Gambar 16). Pola struktur dengan arah barat laut - tenggara tersebut, berdasarkan model struktur Riedel, maka dapat di kategorikan sebagai sesar utama (*PDZ/Principle Displacement Zone)* untuk daerah penelitian



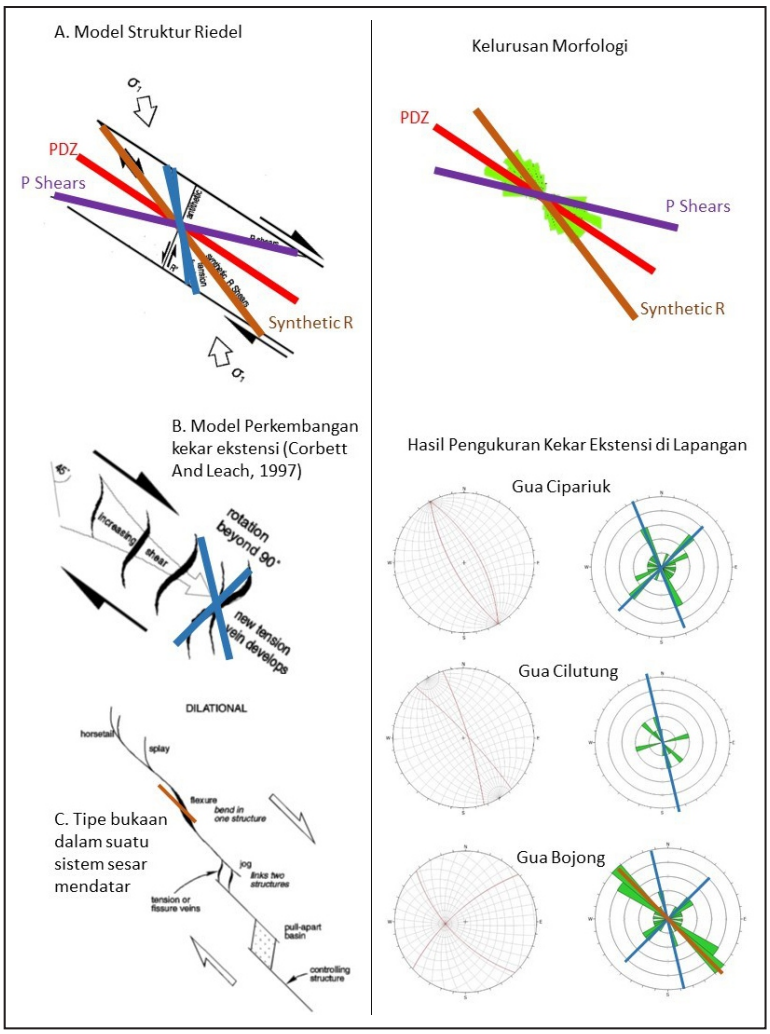
Gambar 15. Panjang dan pola lorong gua.



Gambar 16. Bidang sesar dan sebaran endokarst

ini. Dalam Model Struktur Riedel, terdapat komponen struktur yang terdiri atas *Synthetic R*, *Anthithetic R'*, *P shears*.

Pada model eksperimen awal (*Clay experiment* dari Riedel, 1929), pola yang berkembangan seiring dengan proses *shearing* adalah *Synthetic R* dan *P shears*, sementara *anthithetic R'* mengalami rotasi dan selanjutnya menjadi *P shears* (Riedel, 1929 dalam Tchalenko, 1970; Corbett and Leach, 1997). Perbandingan model struktur Riedel dan hasil penarikan kelurusan menunjukkan arah umum kelurusan merupakan representasi arah dominan dari *Synthetic R* dan *P Shears* di daerah penelitian (Gambar 17). Selanjutnya didalam model struktur Riedel terdapat komponen struktur yang ekstensional (bukaan). Hasil pengukuran kekar ekstensi di lapangan pada tiga lokasi secara umum menunjukkan kesamaan

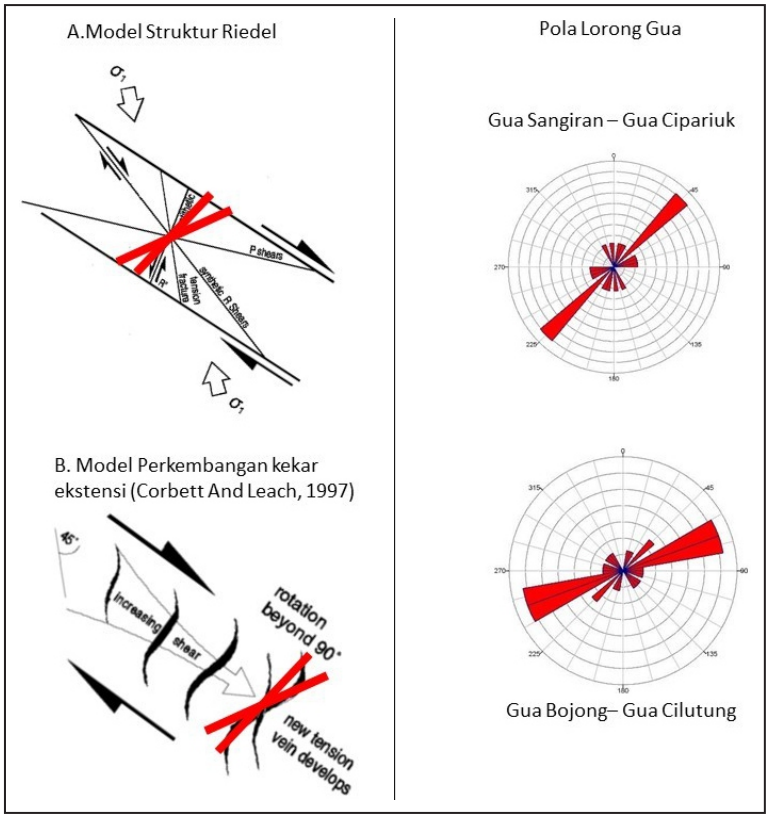


Gambar 17. Perbandingan dari model struktur Riedel dengan data dan hasil analisa struktur geologi. Secara umum data dan hasil analisa struktur di area penelitian dapat dijelaskan dengan menggunakan model struktur Riedel.

arah dengan pola ekstensi dari model struktur Riedel terutama untuk arah ekstensional utara, barat laut - selatan, tenggara (± N170^{0}E). Selain arah yang sesuai dengan pola ekstensi pada model struktur Riedel, terdapat pola *maxima* lain arah ekstensi, pada arah umum timur laut – barat daya.

Kondisi ini dapat dijelaskan oleh model dinamis dari bukaan, seiring dengan berkembangnya proses pergeseran dari PDZ (*degree of shearing*) (Corbett and Leach, 1997). Dari model tersebut, kekar bukaan pada umumnya memiliki dua arah *maxima* seperti yang ditunjukkan oleh hasil pengukuran di 3 lokasi pada daerah penelitian. Khusus untuk hasil pengukuran di lokasi Gua Bojong, pola dominan dari kekar bukaan, searah dengan pola PDZ. Pola bukaan tersebut bisa terjadi pada kondisi awal pada *flexure area* yang merupakan kondisi awal dalam pembetukan struktur *pull apart* (Gambar 17C).

Hasil pemetaan Pola lorong gua menunjukkan arah umum timur laut – barat daya. Berdasarkan analisis kesebandingan terhadap model struktur Riedel dengan PDZ barat laut – tenggara, yang ditunjukkan pada Gambar 18A, arah umum tersebut tidak berkesuaian dengan arah komponen struktur-struktur utama pada model Riedel. Akan tetapi pola lorong gua tersebut memiliki arah umum yang sesuai dengan arah ektensional maksimum dalam suatu proses pergeseran pada sesar utama (Gambar 18B).



Gambar 18. Analisa kesebandingan antara model struktur Riedel, yang telah terbukti berkembang di daerah penelitian berdasarkan, analisa kelurusan dan kegiatan lapangan,dengan pola umum lorong gua. Pola umum lorong gua tidak disebandingkan dengan komponen struktur utama dari model struktur Riedel (A). Akan tetapi pola tersebut berkesesuain dengan pola ektensional pada kondisi maximum shearing (pergeseran maksimum) (B).

KESIMPULAN

Karstifikasi bekembang lebih baik pada area pelamparan batugamping bagian selatan. Pola lorong gua dari sistem karst pada area ini memiliki arah umum timur laut – barat daya yang merupakan arah optimum dari rotasi sistem ekstensional pada sesar utama dengan arah barat laut - tenggara. Dapat dikatakan lorong gua pada area penelitian dikontrol oleh struktur geologi yang berkembang. Hasil penelitian ini memperkuat hasil-hasil penelitian terdahulu mengenai kontrol struktur geologi dalam sistem karst.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas dukungan Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan - Badan Geologi dan Program Studi Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran.

DAFTAR PUSTAKA

Budhitrisna, 1987. *Geologi Lembar Tasikmalaya, Jawa Barat*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan danEnergi, Bandung.

Choi, J.-H., Edwards, P., Ko, K., Kim, Y.-S., 2016. *Definition and classification of fault damage zones*: a review and a new methodological approach. Earth Sci. Rev. 152, 70–87.

Corbett, G. J. and T. M. Leach., 1997. "*Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization*." Special Publication Series No. 6, Society of Economic Geologist.

Davis, G. H., A. P. Bump, P. E. García and S. G. Ahlgren., 2000. "*Conjugate Riedel deformation band shear zones*." Journal of Structural Geology 22(2): 169-190.

Davis, G. H., S. J. Reynolds and C. F. Kluth., 2011. *Structural geology of rocks and regions, John Wiley & Sons*.

Ford, D. dan Williams, P., 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*, Chapman and Hall, Londonn, İ., Yılmaz, I., 2016. Morphometric and geological features of karstic depressions in gypsum (Sivas, Turkey). Environ. Earth Sci. 75 (1040). DOI:10.1007/ s12665-016-5845-5.

Faulkner T., 2006. *Tectonic Inception in Caledonide Marbles*. Acta Carsologica, : 7-21.

Glazek J., 1989. *Tectonic conditions for karst origin and preservation*. In: Bosak P., Ford D.C., Glazek J. & Horacek I. (Eds.), *Paleokarst. A Systematic and Regional Review*. ElsevierAcademia, Amsterdam-Praha, 569-575.

Hobbs, W. H., 1904. *Lineaments of the Atlantic border region*. Geol. Soc. Am. Bull., 15, 483 – 506.

Kassa, S., Pierson, B.J., Chow, W.S., Talib, J.B.A., 2012. *Identifying the link between lineament and cave passage trends to comprehend fractures continuity and influence on the Kinta Valley karst system, Peninsular Malaysia*. Int. J. Speleol. 41 (1), 59–73.

Mc Clay, K., 1987. *The Mapping of Geological Structures.* s.l.:Departement of Geology-Royal Bedford New College University of London.

Milanovic, P. T., 1981. *Karst Hydrogeology.* Water Resources Publications, USA.

Mylroie, J. E., 1984. *Groundwater as a Geomorphic Agent : Hydrologic Classification of Caves and Karst*. The 'Binghamton' Symposia in Geomorphology, International Series, No. 13, Allen & Unwin, Inc., Britain.

Nemitz, J., 2001. *Fracture Trace and Lineament Analysis: Groundwater Potential of The Circleville Farms Property*. The Pennsylvania State University, Ferguson Township, Dept. of Geosciences, The Pennsylvania State University

Nugroho, B., Pulung, dan Utomo, E. P., 2016. *Kualitas Batugamping Berdasarkan Analisis Klasifikasi Geomekanik Di Goa Seropan, Gunung Kidul*, *Yogyakarta*. Bulletin of Scientific Contribution, Volume 14, **1**, 63 – 74.

Riedel, W., 1929. *Zur mechanik geologischer brucherscheinungen.Centralblatt fur Mineralogie, Geologie, and Paleontologie 1929B, 354*.

Setiawan, T., 2015. *Sistem Aliran Air Tanah Akuifer Kars Fakfak, Papua Barat, Berdasarkan Karakter Kelurusan dan Hidrogeokimia*. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol 6 No. 1: 31-44.

Subagio, 2018. *Struktur Geologi Bawah Permukaan Pegunungan Selatan Jawa Barat*. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral Vol.19. No.4 November hal 187 – 200.

Supriatna, S., L. Sarmili, D. Sudana, dan Koswara, A., 1992. *Peta Geologi Lembar Karangnunggal 1308-1, Skala 1 : 100.000.* Pusat Penelitiandan Pengembangan Geologi, Bandung.

Tchalenko, J., 1970. *Similarities between shear zones of different magnitudes*. Geological Society of America Bulletin 81(6): 1625-1640.

Pulunggono, A. dan Martodjojo, S., 1994. *Perubahan Tektonik Paleogen-Nieogen merupakan peristiwa tektonik terpenting di Jawa*. Proc Sem. Ulang-tahun Kampus Bayat, Jurnal Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada: 1-14.

White, W.B., 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrain.* Oxford University Press, New York.

Zoback, M. D., 2010. *Reservoir Geomechanics.* Cambridge University Press.