



Pengaruh Tektonik pada Keruntuhan Purba di Amfiteater Ciletuh, Sukabumi, Indonesia

Tectonic Influences on Ancient Collapse at the Ciletuh Amphitheater, Sukabumi, Indonesia

Katon Sena Ajie Nugraha, Mega Fatimah Rosana, dan Zufaldi Zakaria

Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran
 Jl. Raya Bandung Sumedang KM.21, Hegarmanah, Kec. Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat 45363
 email: katonsena@gmail.com

Naskah diterima: 24 Januari 2023, Revisi terakhir: 10 April 2023, Disetujui: 13 April 2023 Online: 1 Agustus 2023
 DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v24i3.758>

Abstrak - Amfiteater Ciletuh merupakan bentang alam unik berbentuk tapal kuda yang terbuka ke arah barat dengan dimensi panjang sekitar 15 km dan lebar 9 km. Bentang alam ini berada di kawasan Geopark Ciletuh-Palabuhanratu, Kabupaten Sukabumi. Teori pembentukan amfiteater ini menyebutkan bentukan ini terbentuk akibat keruntuhan yang dipicu tumbukan meteorit dan ada pula yang menyebutkan akibat keruntuhan gravitasi. Metode analisis kekasaran citra digunakan untuk melihat garis patah di dinding amfiteater. Analisis *inverse paleostress* digunakan untuk mengetahui fase tektonik di daerah studi. Bentuk amfiteater tidak sirkular sempurna, namun mengikuti pola-pola kelurusan yang searah dengan sesar yang ada. Nilai indeks kekasaran pada DEM menunjukkan nilai tinggi sepanjang amfiteater yang diartikan sebagai garis patah keruntuhan. Penampang lereng amfiteater menunjukkan adanya perbedaan bentuk lereng yang mengindikasikan pengaruh struktur geologi yang berbeda di sepanjang lereng. Hasil analisis *inverse paleostress* menunjukkan setidaknya ada dua fase tektonik yang mempengaruhi pembentukan amfiteater antara lain fase “rezim tegasan *strike-slip*” dan fase “rezim tegasan ekstensional”.

Katakunci: Amfiteater Ciletuh, *inverse paleostress*, pola struktur, rezim tegasan.

Abstract - The Ciletuh Amphitheatre is a unique horse-shoe-shaped landscape that opens towards the west with dimensions of about 15 km in length and 9 km in width. This landscape is in the Ciletuh-Palabuhanratu Geopark area, Sukabumi Regency. The theory of amphitheater formation states that this formation was formed due to a collapse triggered by a meteorite impact, and some say it was due to gravity collapse. The method of analysis of the roughness of the image is used to see broken lines on the walls of the amphitheater. Inverse paleostress analysis was used to determine the tectonic phase in the study area. The shape of the amphitheater is not perfectly circular but follows patterns of straightness that are in the same direction as the existing fault. The roughness index values in DEM show a high value throughout the amphitheater which is interpreted as a broken line of collapse. The cross-section of the amphitheater slope shows a difference in the slope's shape, indicating the influence of different geological structures along the slope. The inverse paleostress analysis results show that at least two tectonic phases affect the formation of amphitheaters, including the “*strike-slip stress regime*” phase and the “*extensional stress regime*” phase.

Keywords: Ciletuh Amphitheater, *inverse paleostress*, structural pattern, stress regime.

PENDAHULUAN

Daerah Ciletuh berada di baratdaya Sukabumi tepatnya di Kecamatan Ciemas, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Daerah ini merupakan bagian dari Ciletuh-Palabuhanratu UNESCO Global Geopark. Morfologi amfiteater yang unik menjadi salah satu daya tarik dan menjadi salah satu geosite di Geopark Ciletuh-Palabuhanratu.

Amfiteater ini merupakan salah satu keunikan yang ada di kawasan Ciletuh (Rosana dkk., 2006). Morfologi ini merupakan amfiteater alam terbesar di Indonesia (Ikhrum dkk., 2018). Penelitian mengenai amfiteater Ciletuh menjadi penting sebagai bahan edukasi dan pengembangan Geopark Ciletuh-Palabuhanratu.

Amfiteater alam dengan ukuran panjang sekitar 15 km dan lebar 9 km yang berbentuk menyerupai tapal kuda. Terdapat perbedaan morfologi yang mencolok antara bagian lembah amfiteater dan dinding di sekitarnya. Morfologi ini merupakan fase awal dari siklus geomorfologi (Haryanto & Sudrajat, 2018).

Penelitian sebelumnya menyebutkan Amfiteater ciletuh merupakan singkapan jendela dari sistem *trusting* (Clement dkk., 2009). Adapun pembentukan morfologi ini disebabkan karena longsoran besar atau *mega slump* (Rosana dkk., 2006), keruntuhan akibat pengaruh grafitasi atau *gravity collapse* (Nugraha, 2016; Satyana, Prasetyo & Rosana, 2021), dan keruntuhan yang dipicu *meteorit impact* (Ummah dkk., 2018).

Penelitian ini dimaksudkan untuk melihat pengaruh struktur dalam pembentukan Amfiteater Ciletuh. Bentuk amfiteater Ciletuh tidak sirkular sempurna, namun mengikuti kelurusan sesar yang ada di daerah ini. Hal ini menimbulkan hipotesa, bahwa keruntuhan amfiteater ciletuh dipengaruhi struktur geologi di daerah ini.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berfokus pada kawasan amfiteater Ciletuh. Secara administratif, lokasi penelitian termasuk kawasan Kecamatan Ciemas, Kabupaten Sukabumi, Propinsi Jawa Barat. Secara geografis terletak pada posisi $7^{\circ} 7' 42,47''$ LS sampai $7^{\circ} 17' 25,22''$ LS dan $106^{\circ} 26' 32,64''$ BT sampai $106^{\circ} 31' 58,98''$ BT.

Tatanan Geologi

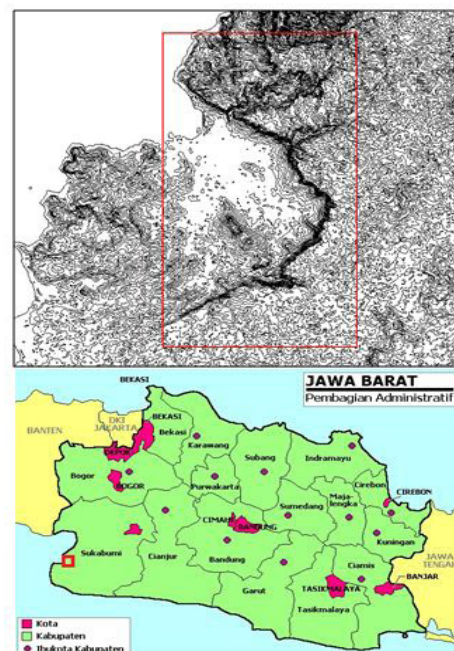
Daerah penelitian termasuk kawasan Ciletuh yang memiliki seting geologi yang kompleks. Terdapat morfologi unik berbentuk tapal kuda yang terbuka ke arah barat yang juga disebut Amfiteater Ciletuh.

Secara fisiografi, daerah penelitian termasuk ke dalam zona fisiografi pegunungan selatan (Bemmelen, 1948), dan merupakan bagian ujung dari Plato Jampang. Kawasan Ciletuh dibedakan menjadi tiga bentukan asal yaitu morfologi bentukan asal struktur, morfologi bentukan asal fluvial dan morfologi bentukan asal laut (Rosana dkk., 2006).

Pada daerah penelitian setidaknya terdapat tiga formasi batuan dan endapan permukaan. Batuan tertua di lokasi ini adalah Formasi Ciletuh yang berumur Eosen. Di atas Formasi Ciletuh terdapat Formasi Jampang Anggota Cikarang dan Formasi Jampang Anggota Cisereuh yang berumur Miosen (Sukanto, 1997; Rosana dkk., 2019).

Formasi Ciletuh tersebar di bagian lembah amfiteater. Formasi Ciletuh bagian bawah mencirikan endapan turbidit, sedangkan bagian atasnya terdiri atas batupasir dan konglomerat (Martodjojo, 1984). Adapun Formasi Ciletuh terbagi menjadi 2 formasi, yaitu Formasi Ciletuh yang terdiri atas breksi polimik dan Formasi Ciemas yang terdiri atas batupasir dan konglomerat (Hall dkk., 2007; Clements & Hall, 2008)

Formasi Jampang di lokasi penelitian umumnya menempati tinggian dengan dinding amfiteater sebagai batasnya. Di daerah Ciletuh, formasi ini dicirikan oleh lapisan tipis tuf asam yang banyak mengandung fragmen lempung dan gamping serta breksi dengan komponen utamanya terdiri atas andesit yang kaya akan hornblende (Martodjojo, 1984).



Gambar 1. Lokasi penelitian yang berada di kawasan Ciletuh Sukabumi.

Hubungan kedua formasi ini tidak selaras dengan jenis ketidaxelarasan menyudut (Nugraha, 2016). Ketidak-xelarasan ini diakibatkan adanya orogenesis yang membuat tinggian purba di kawasan Ciletuh pada Oligosen, sehingga tidak ada pengendapan (Haryanto, 2014). Adapula yang menyebutkan ketidaxelarasan ini akibat adanya sesar trusting yang menghilangkan formasi pada Oligosen (Hall dkk, 2007).

MATERIAL DAN METODE

Studi ini berfokus di Amfiteater Ciletuh. Analisis yang dilakukan yaitu analisis geomorfologi dan *paleostress*. Data yang digunakan untuk analisis geomorfologi berupa data *Digital Elevation Model* (DEM) dari Aster yang kemudian dianalisis menggunakan software Qgis. Untuk analisis *paleostress* digunakan data sesar yang didapat dari hasil pengukuran lapangan.

Analisis citra dilakukan untuk mengidentifikasi bentuk morfologi Amfiteater Ciletuh menggunakan *Digital Elevation Model* (DEM) dari Aster. Analisis citra menggunakan indeks kekasaran dari citra DEM yang selanjutnya dilakukan penarikan kelurusan. Index kekasaran merupakan perhitungan data raster berdasarkan perbedaan ketinggian suatu piksel dengan piksel lain sekelilingnya (Teng & Tay, 2006). Karena dinding amfiteater memiliki perbedaan ketinggian yang signifikan dengan lembahnya, identifikasi garis patah dari dinding amfiteater akan lebih efektif menggunakan metode ini.

Analisis *paleostress* dari data struktur geologi dilakukan untuk melihat gaya yang berkembang. Untuk merekonstruksi struktur digunakan metode *inversi paleostress*. Untuk melihat area ekstensi dan kompresi digunakan metode *right dihedron*. Metode ini dapat digunakan untuk grup sesar maupun *focal mechanism*, yang selanjutnya diproyeksikan

menggunakan proyeksi stereografi (Henares dkk., 2003) Analisis dilakukan dengan menggunakan software Tensor 5.9.2. (Delvaux dkk., 1997; Delvaux & Sperner, 2003).

Data cermin sesar yang diolah menghasilkan gaya yang berkembang di lokasi penelitian, dimana dihasilkan arah dari σ_1 , σ_2 , dan σ_3 dimana gaya $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$, kemudian dihitung nilai rasio stress (R) dengan persamaan (Delvaux dkk., 1997):

$$R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$$

dengan nilai $0 \leq R \leq 1$

Untuk menentukan *stress rezim* (R') dapat diekspresikan dalam angka dengan nilai R' dari 0-3. Untuk menentukan nilai R' digunakan persamaan (Delvaux dkk., 1997):

Jika σ_1 pada posisi vertical maka $R' = R$

Jika σ_2 pada posisi vertical maka $R' = 2 - R$

Jika σ_3 pada posisi vertical maka $R' = 2 + R$

Selanjutnya seluruh parameter dianalisis untuk melihat pengaruh struktur terhadap proses pembentukan amfiteater.

HASIL PENELITIAN

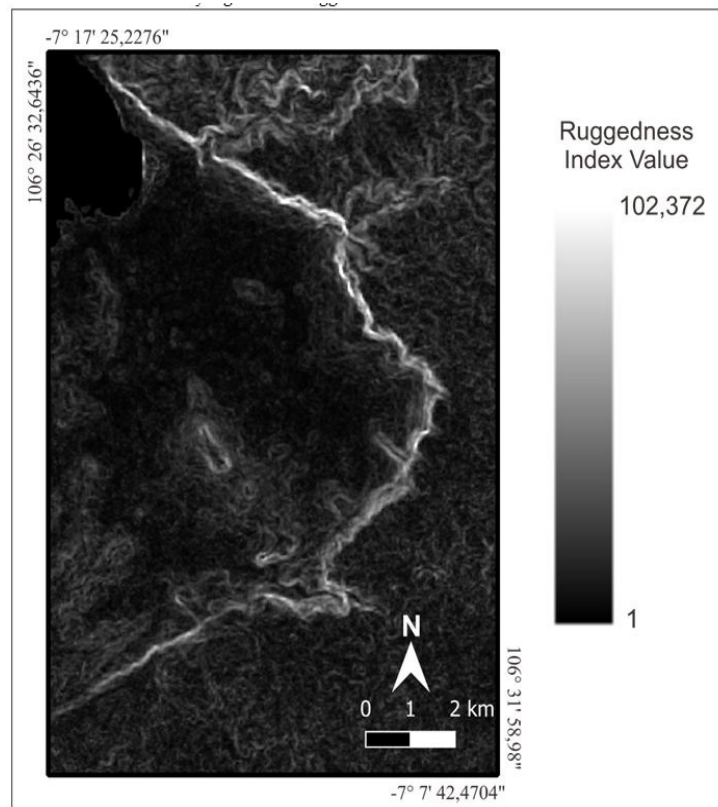
Analisis Geomorfologi

Indeks kekasaran di sepanjang dinding amfiteater memiliki nilai yang relatif tinggi dibandingkan daerah lain. Nilai *ruggedness* yang tinggi menunjukkan warna relatif putih (Gambar 3.). Nilai indeks kekasaran tertinggi bernilai 102,372. Bagian lembah amfiteater memiliki nilai yang relatif rendah karena cenderung datar. Bagian atas amfiteater pun relatif memiliki nilai rendah karena merupakan bagian dari *plato*, namun ada beberapa bagian yang memiliki nilai tinggi.

Stress tensor type	EXTENSIVE				STRIKE-SLIP				COMPRESSIVE				
Stress symbols													
Stress ratio R	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	0.75	0.5	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
Stress regime	Radial EXTENSIVE		Pure EXTENSIVE		TRANS-TENSIVE	Pure STRIKE-SLIP		TRANS-PRESSIVE	Pure COMPRESSIVE		Radial COMPRESSIVE		
Stress index R'	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
Determination of R'	R' = R				R' = 2 - R				R' = 2 + R				

sumber: Delvaux dkk., (1997).

Gambar 2. Ilustrasi perbandingan *stress rezim* (R') dengan *rasio stress* (R) dan orientasi sumbu utama dari ellipsoid tegangan.



Gambar 3. Peta nilai *Rugedness index* hasil pengolahan citra DEM.

Bentuk Amfiteater Ciletuh tidak sirkular sempurna, tetapi mengikuti pola-pola kelurusan. Penarikan kelurusan DEM yang diolah dengan parameter kekasaran permukaan menunjukkan setidaknya ada dua arah utama, yaitu baratlaut - tenggara dan timurlaut -baratdaya. Kelurusan yang berarah baratlaut -tenggara umumnya memiliki bentuk relatif lurus dengan tebing yang lebih terjal, sedangkan kelurusan dengan arah timurlaut – baratdaya cenderung sirkular.

Terlihat pola kelurusan dan nilai indeks kekasaran yang berbeda di dinding amfiteater. Kelurusan dengan arah baratlaut - tenggara memiliki nilai indeks kekasaran lebih besar daripada dinding yang berarah timurlaut - baratdaya. Hal ini menandakan bahwa lereng yang mempunyai arah baratlaut-tenggara lebih terjal.

Perbandingan pola indeks kekasaran dan profil lereng (Gambar 4.) menunjukkan perbedaan. Pada lereng baratlaut-tenggara umumnya menunjukkan satu puncak indeks kekasaran yang menandakan hanya ada satu lereng terjal. Pada lereng yang berarah timurlaut-baratdaya terdapat beberapa puncak pada nilai *rugednes index*. Hal ini menandakan lereng yang berundak.

Analisis Inverse Paleostress

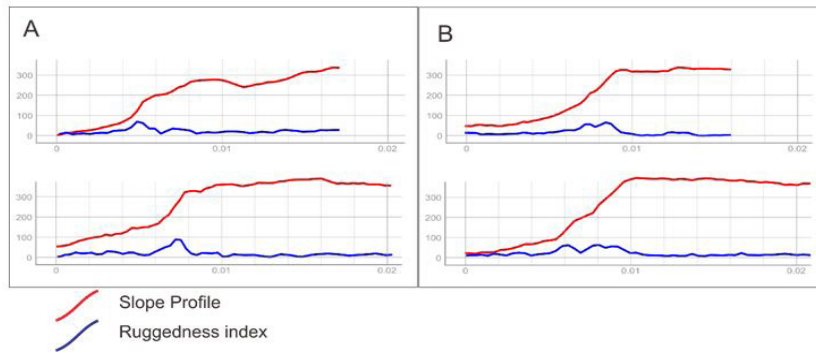
Terdapat 12 data sesar yang diolah menggunakan

analisis *inverse paleostress*. Cermin sesar di lokasi penelitian umumnya sesar mendatar, dan sesar *oblique*. Setiap cermin sesar yang ditemukan diolah menggunakan *software Win Tensor* dan menghasilkan nilai σ_1 , σ_2 , dan σ_3 (Tabel 1). Hasil analisis *paleostress* dari data sesar mendefinisikan *strike-slip* rezim.

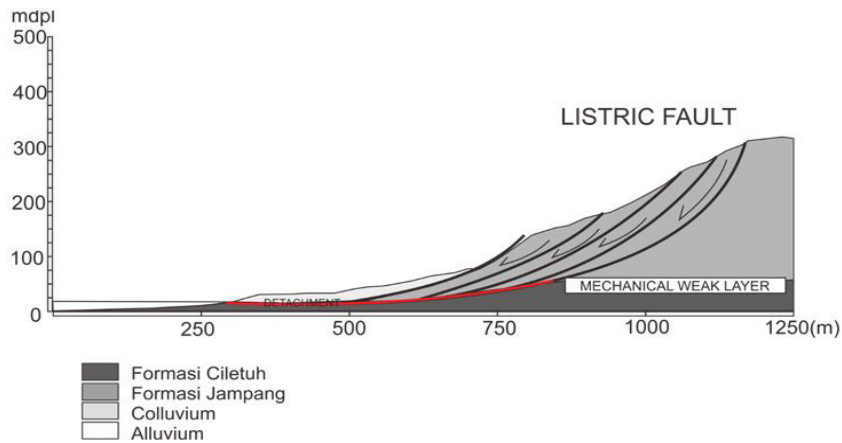
Sesar mendatar dengan arah relatif baratlaut -tenggara menghasilkan *stress rezim strike-slip*. Gaya kompresional fasa ini berarah relatif barat laut - timur tenggara dengan azimuth U 95° B dan inklinasi 4°. Gaya ekstensionalnya berarah relatif utara timurlaut - selatan baratdaya dengan azimuth U 188° B dan inklinasi 30°.

Perundakan pada tebing dengan arah timurlaut-baratdaya diinterpretasikan sebagai *half graben* yang terbentuk dari sesar dengan pergerakan normal dengan kontak Formasi Jampang dan Formasi Ciletuh sebagai bidang *detachmen*-nya (Nugraha, 2016). Sesar normal ini yang menyebabkan bentuk dinding yang berundak (Gambar 5). Kelurusan tebing amfiteater diinterpretasikan sebagai bidang patah dan slopenya sebagai dip dengan jenis sesar normal. Hasil pengolahan data ini mendefinisikan ekstensional rezim.

Tensor stress yang diperoleh dilaporkan pada peta struktural untuk setiap tahap paleostres, bersama dengan patahan utama yang mungkin aktif selama tahap ini (Gambar 6).



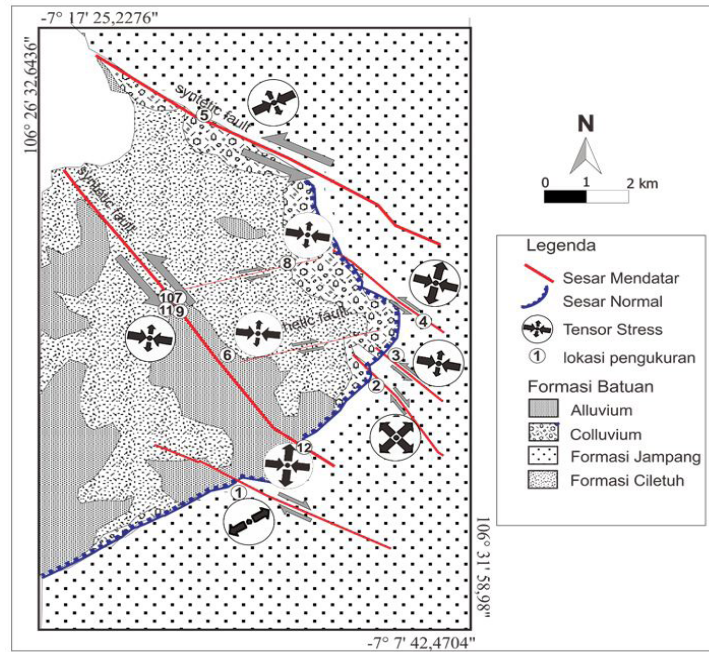
Gambar 4. Perbandingan profil lereng dan nilai indeks kekasaran lereng yang berarah baratlaut – tenggara (A) dan lereng yang berarah timurlaut- baratdaya (B).



Gambar 5. Interpretasi struktur pada dinding amfiteater yang berarah relatif timurlaut – baratdaya.

Tabel 1. Hasil analisis *paleostres*.

No	σ_1 Inclinaton	σ_1 Azimut	σ_2 Inclinaton	σ_2 Azimut	σ_3 Inclinaton	σ_3 Azimut	R	R'	Reg	strees rezim
1	48	333	41	141	6	236	1	1	NS	Transtensive
2	27	203	55	340	21	102	0.5	1.5	SS	strike-slip
3	26	99	62	305	11	194	0.5	1.5	SS	strike-slip
4	10	106	80	295	1	197	0.5	1.5	SS	strike-slip
5	28	65	55	287	20	166	0.5	1.5	SS	strike-slip
6	40	301	13	42	47	147	1	1	UF	Transtensive
7	13	98	70	328	15	192	0.5	1.5	SS	strike-slip
8	9	275	62	23	26	180	0.5	1.5	SS	strike-slip
9	14	129	13	222	71	354	0.5	2.5	TF	Transpressive
10	22	134	22	34	57	264	0.5	2.5	TF	Transpressive
11	6	276	67	171	22	8	0.5	1.5	SS	strike-slip
12	29	235	61	49	3	143	0.5	1.5	SS	strike-slip
resultan	4	95	59	358	30	188	188	0.47	1.78	strike-slip



Gambar 6. Peta struktur geologi di kawasan Amfiteater Ciletuh. Sesar yang membentuk *strike-slip* rezim digambarkan dengan warna merah sedangkan ekstensional rezim digambarkan dengan warna biru

DISKUSI

Kelurusan dinding Amfiteater Ciletuh memiliki dua kelompok arah, yaitu relatif baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya. Berdasarkan perbandingan profil kedua lereng (Gambar 4), terdapat perbedaan kedua kelompok lereng ini. Kelompok dinding amfiteater dengan arah baratlaut - tenggara cenderung lebih terjal dan mengikuti arah sesar mendatar. Kelompok dinding dengan arah timurlaut - baratdaya memiliki bentuk cenderung sirkular dengan bentuk lereng yang berundak.

Hasil analisis *paleostress* menghasilkan dua jenis rezim stress yaitu *strike-slip* dan ekstensional. Kedua rezim stress ini berpengaruh terhadap pembentukan Amfiteater Ciletuh.

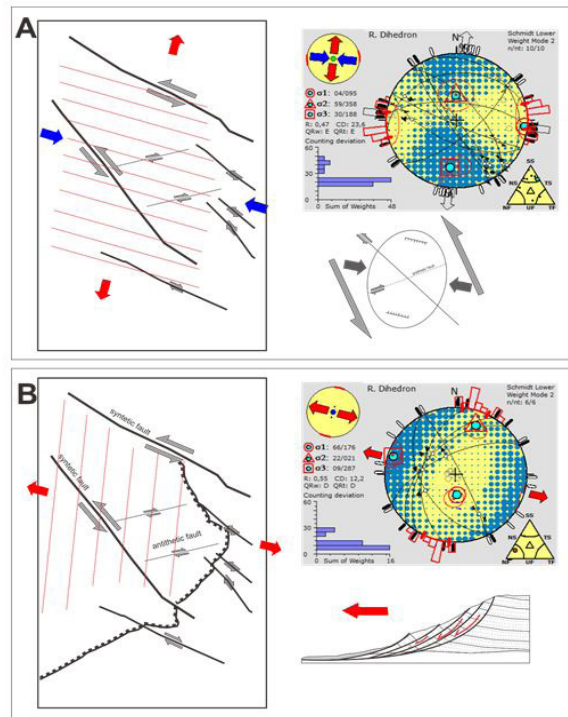
Stress rezim *strike-slip* memiliki arah kompresional barat baratlaut - timur tenggara dan gaya ekstensional utara timurlaut - selatan baratdaya yang dapat dilihat pada plot *right dihedron* (Gambar 7). Dengan gaya ekstensional ini, maka keruntuhan dapat terjadi dengan arah cenderung barat baratlaut - timur tenggara. Selain itu kelurusan tebing amfiteater dengan arah baratlaut - tenggara hampir sejajar dengan sesar mendatar yang ada. Hal ini kemungkinan akibat adanya bidang lemah di sepanjang sesar mendatar sehingga keruntuhan mengikuti arah sesarnya.

Rezim tegasan ekstensional memiliki arah gaya ekstensional baratlaut - tenggara, sedangkan gaya

kompresionalnya cenderung vertikal yang dapat dilihat pada *plot right dihedron* (Gambar 7). Gaya kompresional yang vertikal dapat disebabkan pembebanan masanya sendiri sehingga terjadi keruntuhan gravitasi (*gravitational collapse*) atau ada pengaruh dari faktor eksternal seperti tumbukan meteor sebagai pemicu keruntuhan (Ummah dkk., 2018).

Kedua rezim stress ini kemungkinan terjadi di waktu yang berbeda. Pada tepi sesar normal bagian timurlaut terlihat batas sesar normal adalah sesar mendatar. Kemungkinan sesar mendatar terbentuk lebih dahulu dibandingkan sesar normal. Sehingga rezim *strike-slip* terbentuk terlebih dahulu diikuti rezim ekstensional.

Proses keruntuhan pembentuk Amfiteater Ciletuh menyingkapkan Formasi Ciletuh. Kontak Formasi Ciletuh dan Formasi Jampang sebagai bidang *detachment* sehingga Formasi Ciletuh dapat tersingkap (Nugraha, 2016). Formasi termuda yang terpotong oleh sesar mendatar dengan rezim *strike-slip* adalah Formasi Jampang yang berumur Miosen. Tektonik yang menyebabkan pensesaran ini terjadi setelah Miosen. Kemungkinan tektonik penyebab pensesaran ini terjadi pada Pliosen-Plistosen dimana puncak tektonik kompresi di Jawa bagian barat yang dimulai pada Miosen Akhir terjadi (Helmi & Haryanto, 2008).



Gambar 7. Pola tegasan dari rezim tegasan pada daerah penelitian. Garis merah pada peta menunjukkan bidang ekstensional. A. rezim tegasan strike-slip. B. rezim tegasan ekstensional.

Setelah didapatkan Formasi Jampang yang berumur Miosen tidak ada lagi formasi batuan yang lebih muda di daerah Ciletuh. Batuan yang ada di lembah Amfiteater Ciletuh, yaitu Formasi Ciletuh yang berumur Eosen dan di atasnya terdapat *colluvium* dan *alluvium* yang berumur resen. Berdasarkan hal ini dapat diinterpretasikan bahwa keruntuhan terjadi sebelum didapatkan *alluvium* atau pada Plistosen-Resen.

KESIMPULAN

Pola keruntuhan di sepanjang dinding Amfiteater Ciletuh dipengaruhi oleh struktur geologi dimana dinding berarah baratlaut-tenggara dipengaruhi oleh sesar mendatar, sedangkan dinding yang berarah timurlaut - baratdaya terbentuk akibat sesar normal. Terdapat dua rezim tegasan yang mempengaruhi

keruntuhan amfiteater, yaitu rezim tegasan *strike-slip* yang terjadi pada periode Pliosen-Plistosen dan rezim tegasan ekstensional yang terjadi pada Plistosen-resen. Untuk mengetahui lebih jauh mengenai keterbentukan Amfiteater Ciletuh, penelitian geofisika seperti gayaberat dapat dilakukan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Padjadjaran yang telah membiayai kegiatan ini melalui skema riset Academic Leadership Grand (ALG), Laboratorium Geologi Dinamik Universitas Padjadjaran, serta kepada Badan Pengelola Ciletuh-Palabuhanratu UNESCO Global Geopark, dan semua pihak atas dukungannya dalam membantu proses pengerjaan.

ACUAN

Bemmelen R.W.Van, 1949. *Geology of Indonesia*, Vol 1.a. Martinus Nijhoff, the Hague, Netherlands.
 Clements, B. and Hall, R. 2008. U–Pb dating of detrital zircons from West Java show complex Sundaland provenance. In: *Indonesian Petroleum Association, Proceedings 32nd Annual Convention*, IPA08-G-115, 1–18.
 Clements, B., Hall, R., Smyth H.R. and Cottam M.A., 2009, “Thrusting of a volcanic arc: a new structural model for Java,” *Petroleum Geoscience*, 15:159–174
 Delvaux, D. and Sperner, B., 2003. Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program. D. Nieuwland Ed In: *New Insights into Structural Interpretation and Modelling*. Geological Society, London, Special Publications, 212: 75-100.

- Delvaux, D., Moeys, R., Stapel, G., Petite, C., Levi, K., Miroschnichenko, A., Ruzhich, V., and San'kov, V., 1997, Paleostress reconstructions and geodynamics of the Baikal region, Central Asia. Part II: Cenozoic tectonic stress and fault kinematics. *Tectonophysics*, 282(1-4): 1-38.
- Hall, R., Clements B., Smyth H.R. and Cottam M.A., 2007. A New Interpretation of Java's Structure. *Proceeding Indonesia Petroleum Association, 31 st Annual Convention*, 125-181.
- Haryanto, I., 2014. Evolusi tektonik Pulau Jawa bagian barat selama kurun waktu Kenozoikum, Disertasi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, tidak dipublikasi
- Haryanto, I., and Sudrajat, A., 2018. On the Geomorphology and Tectonic Position of Ciletuh-Jampang Area, West Java, Indonesia. *Universal Journal of Geoscience* 6(2): 47-54
- Helmi, F. dan Haryanto, I. 2008, Pola Struktur Regional Jawa Barat. *Bulletin of Scientific Contribution*, 6: 57-66
- Henares, J., López Casado C., Sanz de Galdeano C., Delgado, J., and Peláez, J.A., 2003, Stress fields in the Iberian-Maghrebi Region. *Journal of Seismology* 7: 65-78
- Ikhram, R., Rosana, M. F., Agusta, R., and Andriani, S. S., 2018. Study of Significance of Geodiversity in Ciletuh-Palabuhanratu National Geopark, West Java, Indonesia. *International Journal of Earth Science and Engineering*.11(02) DOI:10.21276/ijee.2018.11.0207
- Martodjojo, S. 1984. Evolusi Cekungan Bogor, Jawa Barat. Institut Teknologi Bandung. Disertasi, tidak dipublikasi
- Nugraha, K. S. A., 2016. Tektonostratigrafi Daerah Taman Jaya dan Sekitarnya, Sukabumi, Jawa Barat. Skripsi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, tidak dipublikasi
- Rosana, M. F., Mardiana, U., Syafri, I., Sulaksana, N., and Haryanto, I., 2006. *Geologi Kawasan Ciletuh, Sukabumi: Karakteristik, Keunikan, dan Implikasinya*. Research Workshop and Postgraduate Program Development, FMIPA Universitas Padjadjaran.
- Rosana, M.F., Isnaniawardhani, V., Hardiyono, A., Helmi, F., Brilian, C.H., Nugraha, K.S.A., Saragih, K.D., Ardiansyah, N., Ikhram, R., Zulfaris, D.Y., Agustin, F., dan Faturrahman. M.L. 2019. *Peta Geologi Lembar Cikadal-Lengkong (lembar peta 1208-43 dan 1208-64)*. Universitas Padjadjaran dan Pusat Survei Geologi
- Satyana, A. H., Prasetyo, A., and Rosana, M. F., 2021. Ciletuh Subduction, Southwest Java, New Finding: Nature, Age and Regional Implicaion. *Proceedings 45th Indonesia Petroleum Association*
- Sukanto, Rab, 1975. *Geologi Lembar Jampang dan Balekambang, Skala 1:100.000*. Direktorat Geologi, Bandung
- Teng HT., and Tay LT., 2006, Surface Roughness Index for DEMs and SAR Image. *IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2006.IGARSS
- Ummah, K., Sukiyah, E., Rosana, M. F., Alam, B. Y. CSS. S., 2019, Remote Sensing Identification of Possible Meteorite Impact Crater on Ciletuh, West Java. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(5): 1962-1968, DOI:10.18517/ijaseit.8.5.5559