

Mekanisme Pembentukan Struktur Geologi di Gunung Raung, Provinsi Jawa Timur¹

The Mechanism of Structural Geology Formation at Raung Volcano, East Java

Firman Sauqi Nur Sabila^{a, 2}, Mirzam Abdurrachman^b

^a Program Studi S1 Teknik Perminyakan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

^b Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung

ABSTRAK

Gunung Raung di Kabupaten Jember, Bondowoso, dan Banyuwangi Jawa Timur merupakan salah satu gunungapi aktif di Busur Sunda. Keberadaan gunungapi ini menghasilkan keragaman potensi sumber daya alam yang ada seperti panas bumi, bahan galian vulkanik, dan endapan mineral. Perlunya penambahan data geologi pada gunungapi aktif melatarbelakangi peneliti untuk menelaah dan mengkaji lebih lanjut untuk mengidentifikasi tatanan geologi yang secara tidak langsung menjadi acuan pada tahap eksplorasi awal sumber daya geologi di dalamnya. Keberadaan struktur geologi dinilai turut memengaruhi aktivitas vulkanisme di gunungapi ini. Model struktur di batuan vulkanik juga kemudian dapat dijadikan analog pada reservoir panas bumi ataupun migas. Belum adanya penelitian yang menjelaskan mengenai tatanan struktur geologi dan tektonik Gunung Raung mendasari penelitian ini dengan tujuan untuk mempelajari aspek tersebut menggunakan analisis penginderaan jauh dan survei lapangan. Metode yang digunakan yaitu analisis penginderaan jauh menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM) dan observasi lapangan untuk mengidentifikasi keberadaan struktur geologi dan mekanismenya. Data yang didapatkan dari analisis penginderaan jauh akan divalidasi dengan keberadaan bukti-bukti struktur di lapangan. Penamaan struktur geologi akan didasarkan pada mekanisme serta lokasi geografisnya. Vulkanisme Gunung Raung menghasilkan produk berupa basalt, andesit, dan breksi piroklastik. Struktur geologi yang berkembang di Gunung Raung terdiri dari struktur primer berupa kekar berlembar dan autobreksi serta struktur sekunder yaitu Sesar Normal Kaldera Gadung, Sesar Normal Kaldera Raung, Sesar Normal Kali Slincak dan Sesar Mendatar Menganan Kali Pace.

Kata kunci: gunungapi, vulkanisme, struktur, tektonik

ABSTRACT

Mount Raung in the districts of Jember, Bondowoso, and Banyuwangi East Java is one of the active volcanoes in the Sunda Arc. The existence of this volcano produces a diversity of potential natural resources such as geothermal, volcanic minerals, and mineral deposits. The need for the addition of geological data on active volcanoes motivates researchers to study and further study to identify the geological setting that indirectly becomes a reference at the initial exploration stage of geological resources in it. The existence of geological structures is considered to have influenced the volcanism in this volcano. Structural models in volcanic rocks can also be analogous to geothermal or oil and gas reservoirs. The absence of research that explains the structure of the geological and tectonic structures of Mount Raung underlies this research with the aim to study these aspects using remote sensing analysis and field surveys. The method used is remote sensing analysis using Digital Elevation Model (DEM) data and field observations to identify the presence of geological structures and mechanisms. Data obtained from remote sensing analysis will be validated by the presence of

¹ Info Artikel: Received 17 Oktober 2020, Received in revised from 30 November 2020, Accepted 15 Desember 2020

² Corresponding author: sauqi@unej.ac.id (F. S. N. Sabila)

structural evidence in the field. The naming of the geological structure will be based on the mechanism as well as its geographical location. Mount Raung volcanism produces products in the form of basalt, andesite, and pyroclastic breccias. The geological structure that develops at Mount Raung consists of primary structures in the form of sheeting joint and autobrecciation as well as secondary structures, namely the Gadung Caldera Normal Fault, Raung Caldera Normal Fault, Kali Sincak Normal Fault, and Kali Pace Right Lateral Fault.

Keywords: volcano, volcanism, structure, tectonic

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki 129 gunungapi aktif. Keberadaan gunungapi ini merupakan konsekuensi dari posisi Indonesia yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu: Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, serta Lempeng Pasifik. Keberadaan gunungapi ini juga akan menghasilkan keragaman potensi sumber daya alam yang ada seperti panasbumi, bahan galian vulkanik, dan endapan mineral. Di sisi lain, keberadaan gunungapi aktif juga memberikan ancaman keberadaan suatu populasi di sekitarnya, yakni letusan gunungapi yang menjadikan gunungapi sebagai salah satu potensi bencana. Perlunya penambahan data geologi pada gunungapi aktif melatarbelakangi peneliti untuk menelaah dan mengkaji lebih lanjut untuk mengidentifikasi tatanan struktur geologi yang secara tidak langsung menjadi acuan pada tahap eksplorasi awal sumber daya geologi di dalamnya, serta memberikan data mengenai potensi terjadinya bencana letusan gunungapi.

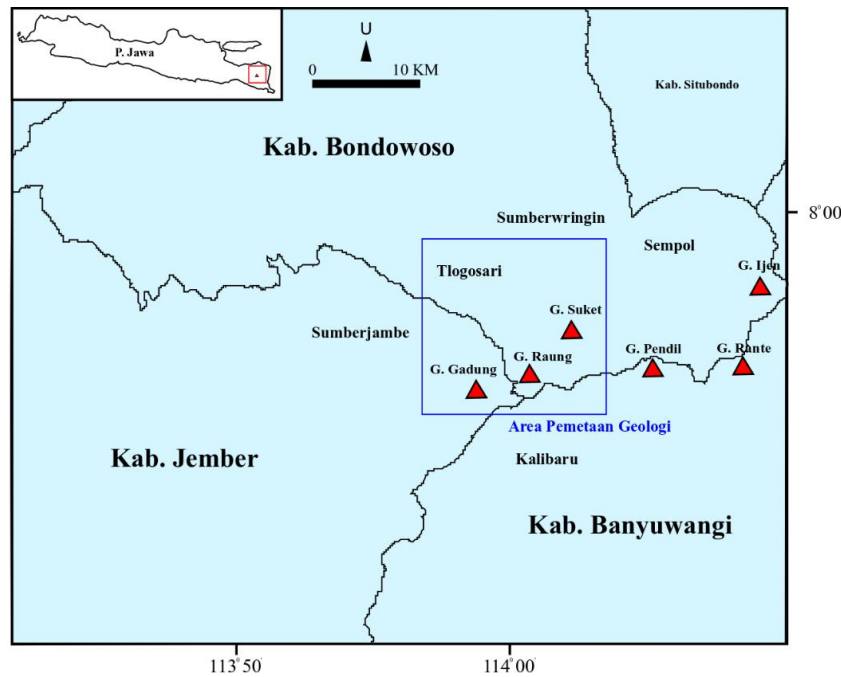
Selain mempelajari geologi berdasarkan data lapangan yang ada dengan prinsip vulkanostratigrafi, peneliti juga akan mengidentifikasi proses pembentukan struktur geologi dan tatanan tektonik menggunakan analisis kinematika untuk menjelaskan mekanisme struktur geologi di gunungapi tersebut dan sejarah pembentukannya. Gunung Raung yang menjadi daerah penelitian di Kabupaten Jember dan Bondowoso, Provinsi Jawa Timur. Lokasinya berdekatan dengan kompleks gunungapi Ijen yang secara fisiografis terletak pada busur vulkanik kuartar Jawa dan secara tektonik terletak pada bagian batas timur dari Mikrokontinen Jawa Timur.

Daerah penelitian berada pada proyeksi geografi 8°00'17.95"LS-8°08'25.01"LS dan 113°55'49.00"LS-114°03'56.53"BT atau proyeksi koordinat UTM 825000-838000 E dan 9102000-9115000 N zona 49 S dengan datum WGS 1984. Secara administratif daerah penelitian terletak pada wilayah Kabupaten Jember, dan Kabupaten Bondowoso, Provinsi Jawa Timur (Gambar 1). Luas pemetaan geologi mencapai 169 km² (13 x 13 km) mencakup bagian utara kerucut Gunung Raung (60%), bagian barat kerucut Gunung Suket (15%), dan bagian utara kerucut Gunung Gadung (25%).

Pola struktur Jawa Timur cukup kompleks karena wilayah ini merupakan tempat perpotongan dua struktur utama, yakni antara struktur pola Meratus yang berarah timurlut-baratdaya dan struktur pola Sakala yang berarah timur-barat (Sribudiyani dkk., 2003). Pola Meratus lebih berkembang di lepas pantai Jawa bagian timur, sedangkan pola Sakala berkembang sampai ke daratan Jawa bagian timur dimana daerah penelitian berada. Keberadaan struktur geologi ini kemungkinan besar juga memengaruhi posisi kemunculan gunungapi serta deformasi yang terjadi di gunungapi tersebut.

METODE

Struktur geologi di daerah penelitian didapatkan dari analisis kelurusan dan bentuk-bentuk sirkular pada peta kontur dan citra SRTM yang di konversi menjadi DEM. Selain dari analisis citra, analisis struktur geologi ini juga diperkuat dengan data-data struktur yang diamati secara langsung di lapangan. Data struktur yang diperoleh dari observasi lapangan berupa bukti gejala keberadaan struktur yaitu struktur bidang dan struktur garis yang kemudian dioalah dalam analisis kinematik.



Gambar 1 Lokasi daerah penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur geologi pada batuan adalah kenampakan secara umum batuan, termasuk bentuk dan kedudukannya. Berdasarkan proses pembentukannya, struktur geologi dapat di bedakan menjadi struktur primer dan struktur sekunder.

Struktur primer

Struktur primer yang dijumpai di daerah Gunung Raung dan sekitarnya merupakan struktur yang terbentuk pada saat proses pendinginan lava seperti autobreksi dan kekar berlembar (Gambar 2). Autobreksi merupakan struktur yang terbentuk akibat proses pendinginan lava yang membentuk fragmentasi menyudut (Mcphie dkk., 1993).



Gambar 2 (a) Autobreksi, (b) Vesikuler, (c) Lava koheren.

Pada kenampakan di lapangan, autobreksi seringkali digunakan untuk menentukan bagian permukaan lava. Secara fisik bagian tengah lava terdiri dari struktur koheren kemudian pada bagian tepi akan dijumpai struktur autobreksi dimana autobreksi pada bagian atas biasanya memiliki banyak struktur vesikuler sedangkan autobreksi bagian bawah biasanya memiliki efek bakar. Pada aliran lava sering dijumpai struktur kekar berlembar yang berkembang seperti pada singkapan lava di kaki barat Gunung Ijen Tua (Gambar 3). Pengamatan pada kekar berlembar ini berguna untuk mengetahui arah bidang aliran lava dan pusat erupsi dari daerah penelitian dimana arah aliran lava biasanya tegak lurus dengan bidang kekar berlembar.



Gambar 3 Singkapan satuan lava andesit 1 (II) yang menunjukkan struktur kekar berlembar.

Pengamatan di daerah kaki barat Gunung Ijen Tua, arah kemiringan bidang kekar berlembar ini relatif berarah tegak lurus dengan aliran lava mengalir dari arah timur daerah tersebut. Hal ini menandakan bahwa Gunung Ijen Tua yang berada di timur daerah tersebut adalah sumber dari aliran lava.

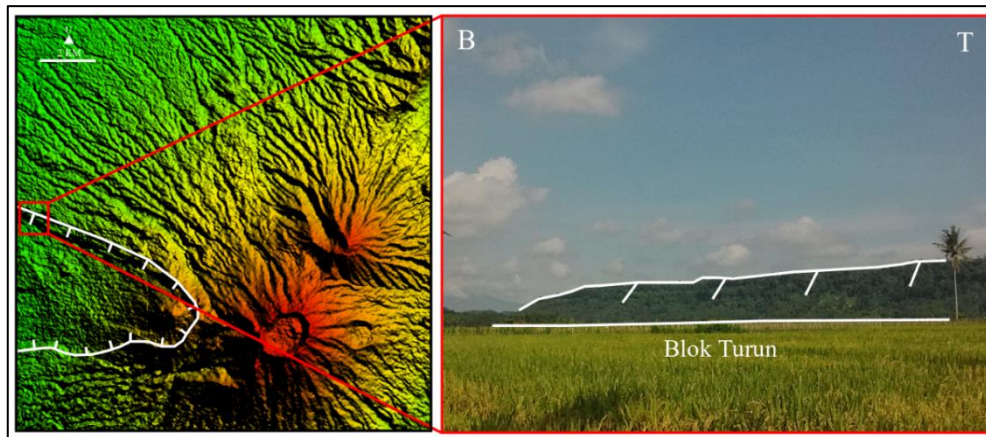
Struktur sekunder

Struktur geologi di Gunung Raung dan sekitarnya ditentukan berdasarkan analisis kelurusan dan sirkular dari citra SRTM, Landsat-8, peta topografi, dan observasi lapangan. Penentuan nama sesar di daerah penelitian berdasarkan klasifikasi ganda oleh Rickard (1973 dalam Harsolumakso dkk., 1977) dan digabungkan dengan nama daerah yang menunjukkan bukti-bukti keberadaan sesar tersebut. Analisis kinematik dilakukan untuk mengenahi jenis pergerakan sesar. Kemudian dilanjutkan dengan analisis dinamik untuk mengetahui arah tegasan utama yang mempengaruhi pembentukan sesar-sesar tersebut.

Berdasarkan hasil analisis pola kelurusan pada citra dan pengamatan langsung di lapangan, terdapat empat sesar utama pada daerah penelitian. Sesar-sesar tersebut adalah Sesar Normal Kaldera Gadung, Sesar Normal Kaldera Raung, Sesar Normal Kali Sincak dan Sesar Mendatar Menganan Kali Pace.

Sesar normal Kaldera Gadung

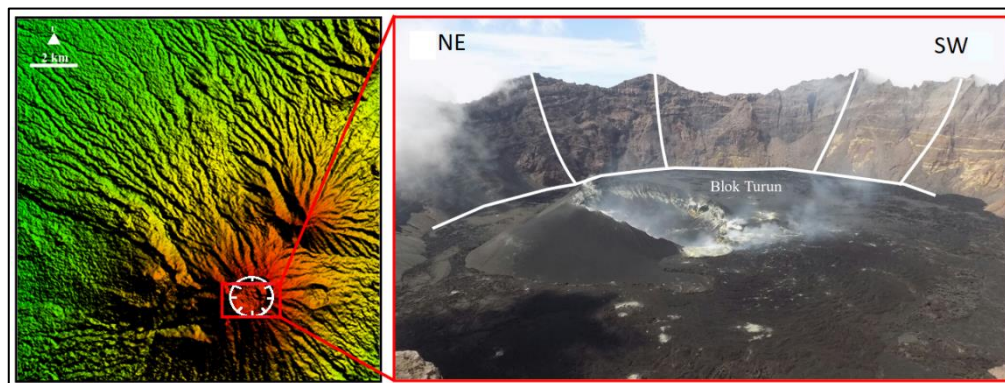
Sesar ini merupakan sesar normal berbentuk sirkular dengan bukaan ke arah barat yang diperkirakan terbentuk akibat aktivitas vulkanisme Gunung Gadung Tua. Sesar ini memanjang dari Desa Sumberjambe ke arah timur hingga mengelilingi kerucut Gunung Gadung Muda kemudian memanjang ke arah barat hingga Desa Slateng. Selain pola sirkular yang dapat diamati melalui citra, pada sepanjang struktur sirkular ini ditemukan setempat bidang sesar normal (Gambar 4). Sesar ini muncul pada Holosen Fase I setelah erupsi Gunung Gadung Tua (Siebert, 2002). Sesar ini memotong produk vulkanik Gunung Gadung Tua yang terdiri dari perselingan lava dan batuan piroklastik.



Gambar 4 Posisi pada citra SRTM dan bentukan morfologi Sesar Normal Kaldera Gadung.

Sesar normal Kaldera Raung

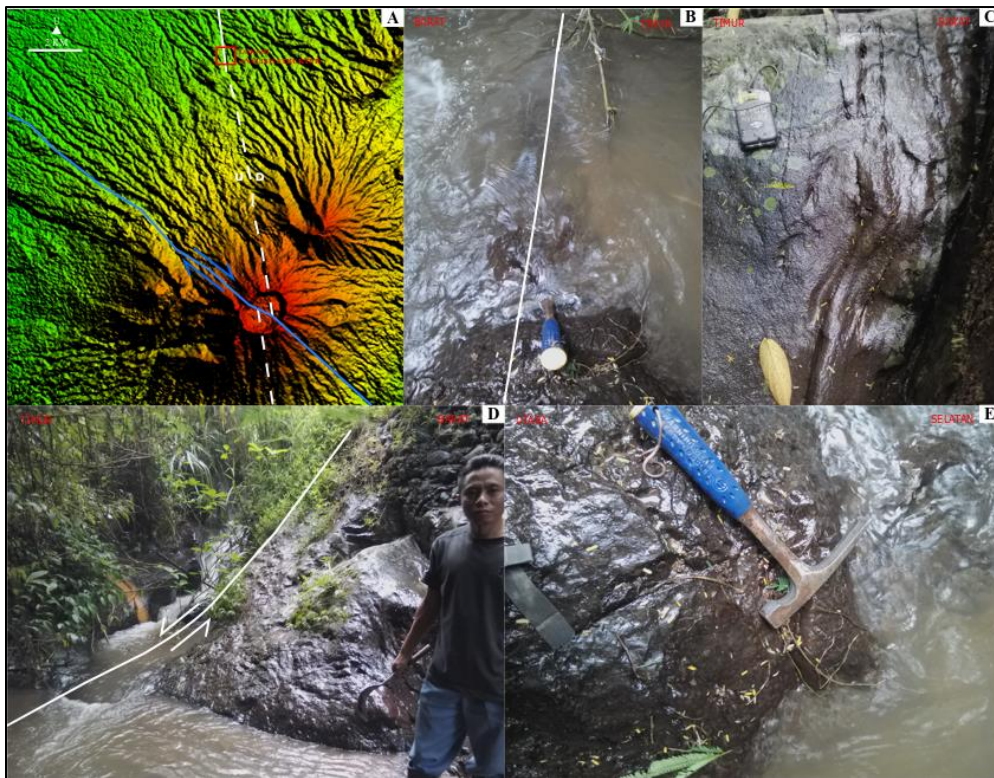
Sesar ini merupakan sesar normal berbentuk radial yang diperkirakan terbentuk akibat aktivitas vulkanisme Gunung Raung. Sesar ini membentuk morfologi radial pada puncak Gunung Raung di wilayah tengah daerah penelitian. Selain pola radial yang dapat diamati melalui citra, pada sepanjang dinding kaldera Gunung Raung ditemukan setempat bidang sesar normal (Gambar 5). Sesar ini muncul pada Holosen Fase III setelah erupsi Gunung Raung. Sesar ini memotong produk vulkanik Gunung Raung yang terdiri dari perselingan lava dan batuan piroklastik.



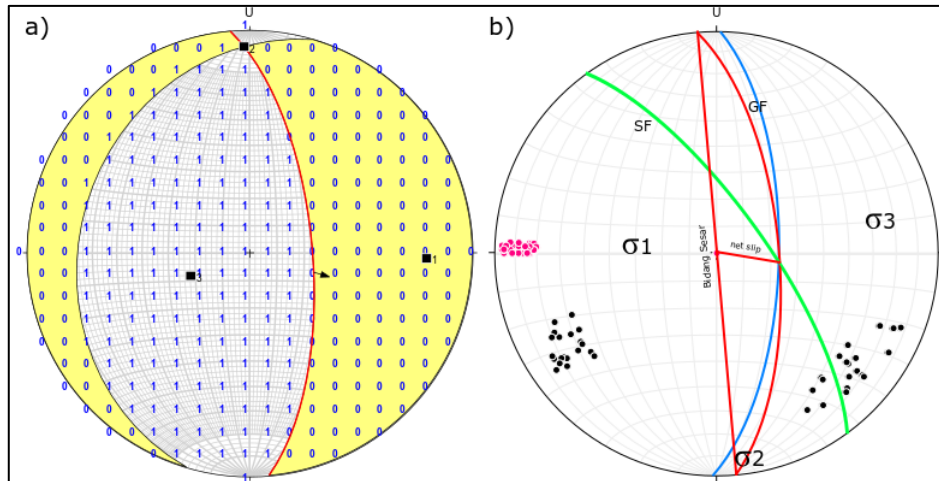
Gambar 5 Posisi pada citra SRTM dan bentukan morfologi Sesar Normal Kaldera Raung.

Sesar normal Kali Sincak

Sesar ini mempunyai kelurusan berarah relatif utara-selatan yang memanjang dari lembah Kali Sincak, hulu Kali Sumberwringin, dan menerus hingga kaldera Gunung Raung. Pada kelurusan ini terdapat bukti-bukti sesar berupa gawir-gawir terjal dan struktur penyerta berupa breksi sesar, *shear fracture* dan *gash fracture* (Gambar 6). Sesar ini terbentuk pada umur Holosen dan aktif hingga saat ini. Sesar ini memotong produk vulkanik Gunung Suket pada satuan lava basalt 1 (S11) dan lava andesit 2 (S12) serta produk vulkanik Gunung Raung pada satuan lava basalt 7 (R13) dan lava basalt 9 (R15). Berdasarkan analisis kinematik data elemen struktur yang diperoleh di lapangan (Gambar 7), didapat kedudukan bidang sesar N 355⁰ E/ 67⁰ E dengan kedudukan *net-slip* 65⁰, N 106⁰ E dan pitch sebesar 82⁰. Berdasarkan klasifikasi sesar oleh Rickard (1973 dalam Harsolumakso dkk., 1977), diperoleh penamaan sesar yaitu Sesar Normal Kali Sincak. Analisis dinamik pada Sesar Normal Kali Sincak dilakukan pada data pengukuran *shear fracture* dan *gash fracture*. Hasil analisis dinamik menunjukkan bahwa arah tegasan utama (σ_1) yang mempengaruhi sesar ini memiliki orientasi 59⁰, N 276⁰ E.



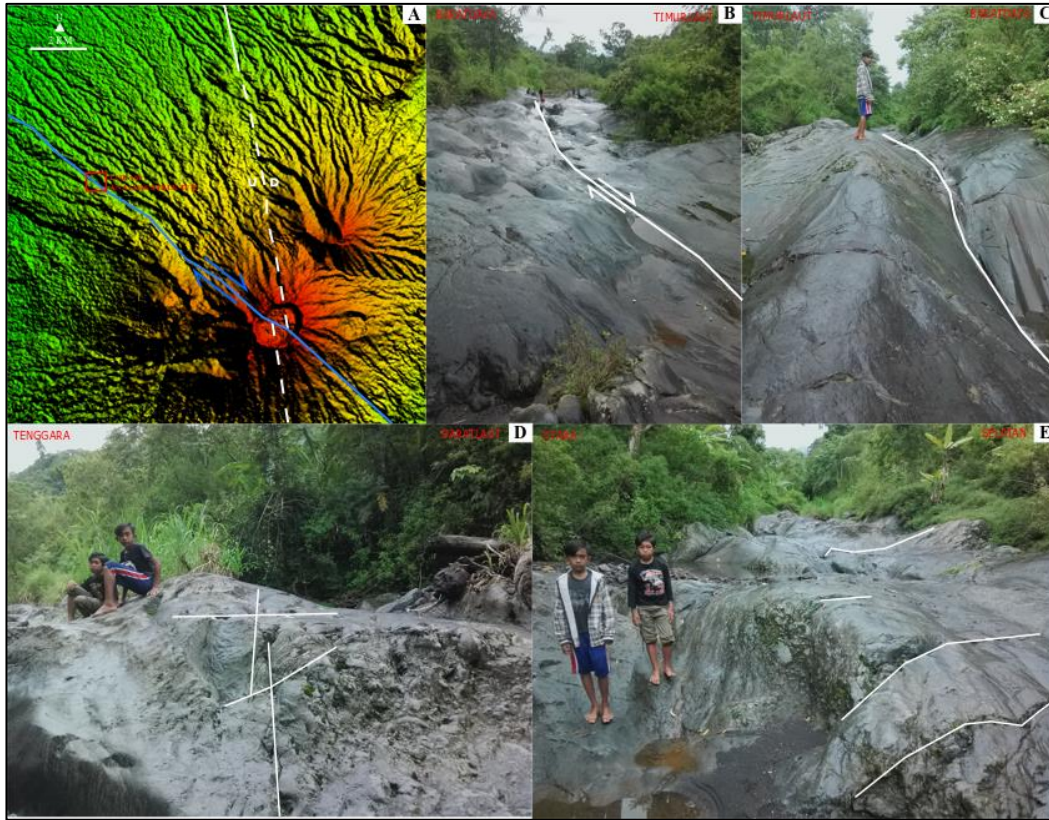
Gambar 6 Posisi pada citra SRTM dan bukti gejala Sesar Normal Kali Sincak. (a) Citra SRTM, (b) Arah breksiasi, (c) *Gash fracture*, (d) Bidang sesar, (e) *Shear fracture*.



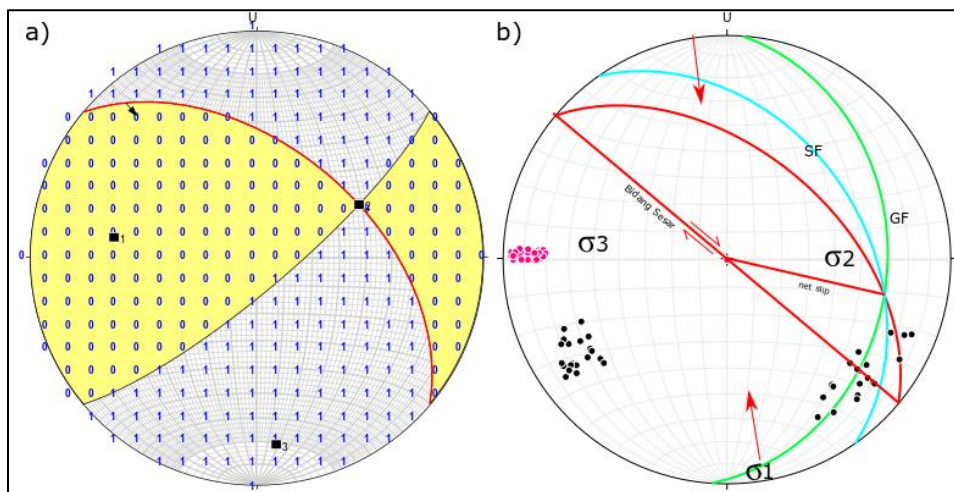
Gambar 7 Analisis kinematik Sesar Normal Kali Sincak. (a) Analisis dengan *Faultkin*, (b) Analisis dengan *Stereonet*.

Sesar mendatar menganan Kali Pace

Sesar ini mempunyai kelurusan berarah relatif barat laut-tenggara di sepanjang lembah aliran Kali Pace dan menerus hingga Kaldera Gunung Raung. Pada kelurusan ini terdapat bukti-bukti sesar berupa gawir-gawir terjal dan struktur penyerta berupa breksi sesar, shear fracture dan gash fracture (Gambar 8). Sesar ini terbentuk pada umur Holosen dan aktif hingga saat ini. Sesar ini memotong produk vulkanik Gunung Gadung pada satuan lava andesit 2 (G11) serta produk vulkanik Gunung Raung pada satuan breksi piroklastik 3 (Rap1), breksi piroklastik 4 (Rap2), lava basalt 8 (R14) dan lava basalt 9 (R15). Sesar ini juga memotong kelurusan Sesar Normal Kali Sincak dimana perpotongannya tepat berada di pusat erupsi resen Gunung Raung. Berdasarkan analisis kinematik data elemen struktur yang diperoleh di lapangan (Gambar 9), didapat kedudukan bidang sesar $N 310^{\circ} E / 50^{\circ} NE$ dengan kedudukan *net-slip* 11° , $N 126^{\circ} E$ dan Pitch sebesar 15° . Berdasarkan klasifikasi sesar oleh Rickard (1973 dalam Harsolumakso dkk., 1977), diperoleh penamaan sesar yaitu Sesar Mendatar Menganan Kali Pace. Analisis dinamik pada Sesar Mendatar Menganan Kali Pace dilakukan pada data pengukuran *shear fracture* dan *gash fracture*. Hasil analisis dinamik ini menunjukkan bahwa arah tegasan utama (σ_1) yang mempengaruhi sesar ini memiliki orientasi 18° , $N 174^{\circ} E$.



Gambar 8 Posisi pada citra SRTM dan bukti gejala Sesar Mendatar Menganan Kali Pace. (a) Citra SRTM, (b) Bidang sesar, (c) Breksiasi, (d) *Shear fracture*, (e) *Gash fracture*.



Gambar 9 Analisis kinematik Sesar Mendatar Menganan Kali Pace. (a) Analisis dengan *Faultkin*, (b) Analisis dengan *Stereonet*.

Mekanisme pembentukan struktur

Pada sub-sub bab sebelumnya telah dibahas analisis kinematik struktur sesar di daerah penelitian. Dari analisis tersebut diperoleh jenis dan arah pergerakan sesar daerah Gunung Raung dan sekitarnya sehingga dapat diketahui analisis dinamikanya, yaitu arah gaya utama

yang kemudian digunakan sebagai indikasi mekanisme pembentukan struktur sesar di daerah penelitian.

Autobreksi dan kekar berlembar

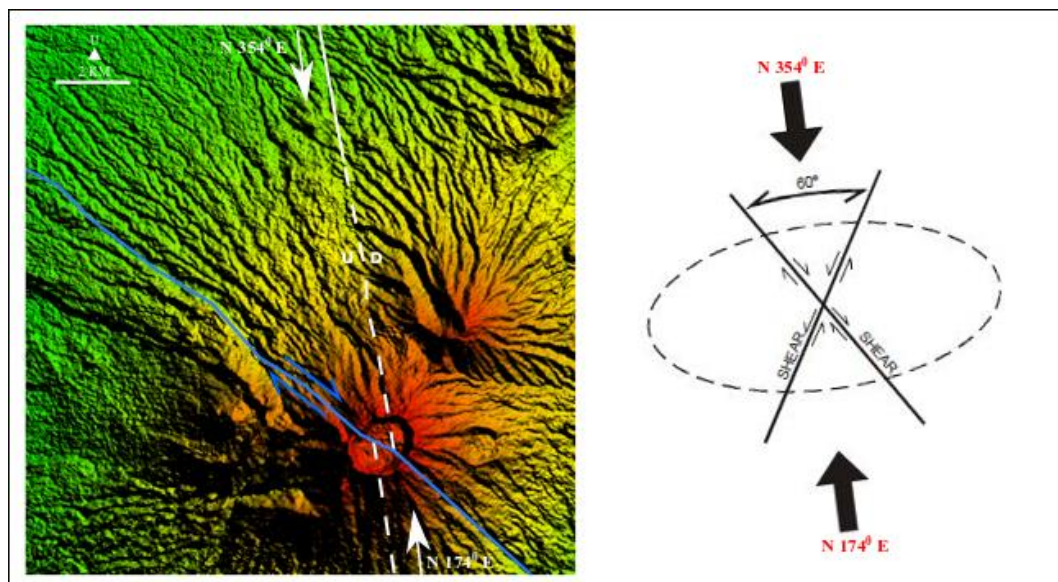
Struktur autobreksi dan kekar berlembar terbentuk akibat pendinginan suhu tepi aliran lava dan tidak terkait dengan proses tektonik (Yuwono, 2004).

Sesar normal kaldera

Sesar normal ini terbentuk karena adanya collapse pada tubuh gunungapi sebagai akibat letusan eksplosif yang menyebabkan keluarnya produk erupsi dalam jumlah yang sangat besar. Kosongnya ruang pada dapur magma kemudian menyebabkan gaya gravitasi menjadi dominan dan membuat terjadinya collapse. Bagian yang mengalami *collapse* kemudian menjadi blok turun (*hanging wall*) pada pembentukan sesar normal. Pendapat ini didukung oleh Suppe (1985) yang mengatakan bahwa sesar normal dapat terbentuk karena runtuhnya batuan ke ruang kosong di bawah permukaan yang terbentuk akibat penghilangan material didalam gunungapi dan hal ini tidak berhubungan dengan ekstensi horizontal, namun lebih karena adanya pengaruh gaya gravitasi. Berdasarkan dimensi dari sesar normal ini, maka Sesar Normal Kaldera Gadung dan Raung berkaitan dengan kaldera yang terbentuk dari aktivitas vulkanisme Gunung Gadung dan Raung. Berdasarkan klasifikasi Lipman (1977) tipe pembentukan Kaldera Gadung adalah tipe Trapdoor dimana terjadi collapse pada salah satu dinding kaldera yang membentuk bukaan dan morfologi sirkular. Sedangkan Kaldera Raung digolongkan dalam tipe *Plate or Piston* dengan keberadaan lantai kaldera yang hampir tidak mengalami retakan dan hancuran serta blok lantai kaldera turun secara homogen mengelilingi dinding kaldera dengan pola radial. Biasanya kaldera dengan tipe ini berkaitan dengan aktivitas vulkanik tipe erupsi Plinian.

Sesar

Berdasarkan pola kelurusan dari citra SRTM dan peta topografi yang di dukung oleh observasi lapangan, diperoleh beberapa gejala struktur pada Sesar Normal Kali Sincak dan Sesar Mendatar Menganan Kali Pace. Pembentukan kedua sesar ini diperkirakan dikontrol oleh proses tektonik yang berlangsung pada daerah penelitian. Untuk mengetahui mekanisme pembentukan sistem sesar tersebut, maka harus dilakukan identifikasi arah umum tegasan utama daerah penelitian. Berdasarkan analisis kinematik dan dinamik, maka didapatkan orientasi arah tegasan utama pada daerah penelitian berarah relatif utara-selatan. Arah tegasan utama mengontrol arah pergerakan sesar. Sesar normal Kali Sincak lebih dipengaruhi oleh gaya ekstensi berarah timur-barat dan sesar mendatar menganan Kali Pace membentuk strike-slip dengan arah pergerakan relatif menganan. Berdasarkan orientasi tegasan utama dan pergerakan relatif sesar, maka dapat diinterpretasikan mekanisme pembentukan sesar di daerah penelitian mengikuti model (*pure shear*) *inline compression* (Thomas, 1973) seperti model pada Gambar 10. Gaya yang mengontrol mekanisme tersebut diperkirakan berasal dari aktivitas tektonik subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia di sebelah selatan daerah penelitian.



Gambar 10 Model tegasan utama (*pure shear*) *inline compression* yang mengontrol pembentukan dan pergerakan sesar pada daerah penelitian.

KESIMPULAN

Struktur geologi daerah penelitian terdiri dari struktur primer berupa kekar berlembar dan autobreksi serta struktur sekunder berupa sesar yaitu Sesar Normal Kaldera Gadung, Sesar Normal Kaldera Raung, Sesar Normal Kali Slincak dan Sesar Mendatar Menganan Kali Pace. Proses pembentukan struktur tersebut berkaitan dengan proses magmatisme dan orientasi tatanan tektonik yang memengaruhi pola tegasan di daerah Gunung Raung.

DAFTAR PUSTAKA

- Harsolumakso, A.H., Magetsari, N.A., dan Abdullah, I.C. (1997). *Buku Paduan Praktikum Geologi Struktur*, Teknik Geologi ITB, Bandung.
- Lipman, P.W. (1976). "Caldera Collapse Breccias in The Western San Juan Mountains, Colorado". *Geological Society of America*, 87, 1397-1410.
- McPhie, J., Doyle, M., dan Allen, R. (1993). *Volcanic Textures: A Guide to the Interpretation of Textures in Volcanic Rocks*. University of Tasmania, Hobart.
- Siebert, L. (2002). "Landslide Resulting from Structural Failure of Volcanoes", *Geological Society of America*, 15, 209-235.
- Sribudiyani., Muchsin, N., Ryacudu, R., Kunto, T., Astono, P., Prasetya, I., Sapiie, B., Asikin, S., Harsolumakso, A. H., dan Yulianto, I. (2006). "The Collision of the East Java Microplate and Its Implication for Hydrocarbon Occurrences in The East Java basin". *Proceeding, Indonesian Petroleum Association (IPA), 23th Annual Convention and Exhibition, October 2006*.
- Suppe, J. (1985). *Principles of Structural Geology*, Prentice-Hall, Englewood Cliff.
- Thomas, W.A. (1973). "Southwestern Appalachian Structural System Beneath The Gulf Coastal Plain". *American Journal of Science*, 273, 372-390.
- Yuwono, Y.S. (2004). *Pemetaan Daerah Vulkanik: Panduan untuk Pemetaan Lapangan, Laboratorium dan Geologi Ekonomi*, Bandung.