



Kontrol Struktur Geologi Terhadap Pola Mineralisasi Di Desa Hulawa, Pohuwato, Provinsi Gorontalo

Diwa Ahmad Luly^a, Aang Panji Permana^b, Noviar Akase^c, Muhammad Kasim^d, Ronal Hutagalung^e, Agustinus Sosang^f

^{abcde}Program Studi Teknik Geologi, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia

^fDepartement Exploration Geologist, PT. Gorontalo Sejahtera Mining, Gorontalo, Indonesia

ARTICLE INFO

Sejarah artikel:

Diterima: 08 Maret 2026

Disetujui: 19 April 2026

Dipublish: 30 June 2026

Keywords:

Conjugate vein,
Mineralization,
Structural Geology

Corresponding author:

Aang Panji Permana

Email:

aang@ung.ac.id

ABSTRACT

This study was conducted in Hulawa Village, Buntulia District, Pohuwato Regency, Gorontalo Province, located within the North Arm of Sulawesi, an area known for its epithermal mineralization potential. The research aims to analyze the relationship between geological structures and mineralization patterns. The methodology involved geological surface mapping, structural measurements, lineament analysis, and stereographic interpretation using Dips 7.0 and WinTensor software. Geomorphologically, the study area consists of fault-controlled mountainous and hilly terrains. The identified lithologies include Lapilli Tuff, Porphyritic Rhyodacite, Rhyodacite Breccia, Dacite, Biotite Dacite, and Diorite. Structural analysis indicates that the area was affected by a principal compressional stress (σ_1) trending Northwest–Southeast (NW–SE), which generated conjugate fracture systems oriented NW–SE and Northeast–Southwest (NE–SW). These structures acted as conduits for hydrothermal fluid migration. Two dominant vein orientations were identified: NE–SW trending oxidized quartz veins in the northeastern area and NW–SE trending sulfide-rich stockwork veins containing pyrite and chalcopyrite in the southwestern area. Geochemical analysis shows that Cu, As, and Mo anomalies are spatially associated with structural zones, indicating strong structural control on hydrothermal fluid circulation and mineral deposition. Overall, mineralization in the Hulawa area is interpreted to be controlled by conjugate fracture systems and strike-slip fault structures.

How to cite this article:

Luly, D. A., Permana, A. P., Akase, N., Kasim, M., Hutagalung, R., Sosang, A. (2026). Kontrol Struktur Geologi Terhadap Pola Mineralisasi Di Desa Hulawa, Pohuwato, Provinsi Gorontalo. *Journal of Applied Geoscience and Engineering*, 5(1), 91-103 <https://doi.org/10.37905/jage.v5i1.38955>

1. PENGANTAR

Salah satu negara yang memiliki potensi sumber daya alam yang sangat melimpah yaitu Indonesia, terutama pada lingkungan tektonik busur magmatik. Menurut Sillitoe (1994), sebagian besar mineralisasi logam dasar dan logam mulia di Indonesia berkembang pada sistem magmatik yang berkaitan dengan aktivitas subduksi. Kondisi tektonik tersebut membentuk lingkungan vulkanik–plutonik yang mendukung terbentuknya endapan epitermal emas (Au) dan tembaga endapan porfiri (Cu). Sebaran sistem mineralisasi tersebut berkembang pada jalur magmatik berumur Mesozoikum Akhir hingga Kenozoikum yang memanjang ribuan kilometer di Indonesia (Carlile dan Mitchell, 1994).

Daerah penelitian berada di Desa Hulawa, Kecamatan Buntulia, Kabupaten Pohuwato, Provinsi Gorontalo dan termasuk dalam wilayah kontrak karya PT. Puncak Emas Tani Sejahtera yaitu prospek mineralisasi epitermal di Lengan Utara Sulawesi. Beberapa penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Arini, (2018) Panai et al (2024), dan Muhktar et al (2025) menunjukkan bahwa zona mineralisasi di wilayah Hulawa umumnya berkembang mengikuti orientasi timur laut–barat daya. Pola tersebut mengindikasikan bahwa struktur geologi kemungkinan berperan sebagai pengontrol utama terhadap jalur migrasi fluida hidrotermal dan lokasi pengendapan mineral.

Keberadaan struktur geologi seperti sesar, rekahan, dan zona dilatasi sangat penting dalam sistem mineralisasi karena dapat meningkatkan permeabilitas batuan dan menyediakan jalur bagi

sirkulasi fluida hidrotermal. Oleh sebab itu, Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki hubungan antara arah mineralisasi di wilayah Hulawa dan bagaimana struktur geologi yang mempengaruhinya. Pendekatan yang digunakan meliputi pemetaan geologi, analisis struktur, serta interpretasi hubungan spasial antara pola struktur dan distribusi mineralisasi.

2. METODE

Penelitian dilakukan menggunakan pendekatan pemetaan geologi permukaan untuk memperoleh data aktual mengenai kondisi geologi daerah penelitian. Pengamatan lapangan dilakukan sepanjang lintasan yang telah direncanakan untuk mendokumentasikan morfologi, litologi, singkapan batuan, serta struktur geologi yang berkembang.

Kajian geomorfologi dilakukan melalui interpretasi pola kontur, kemiringan lereng, dan pola pengaliran sungai yang kemudian dikorelasikan dengan hasil observasi lapangan berdasarkan klasifikasi BMB (2006). Identifikasi litologi dilakukan berdasarkan karakter megaskopis batuan, tekstur, komposisi mineral, dan tingkat alterasi yang berkembang (Permana et al., 2025a; 2025b; 2025c; 2026).

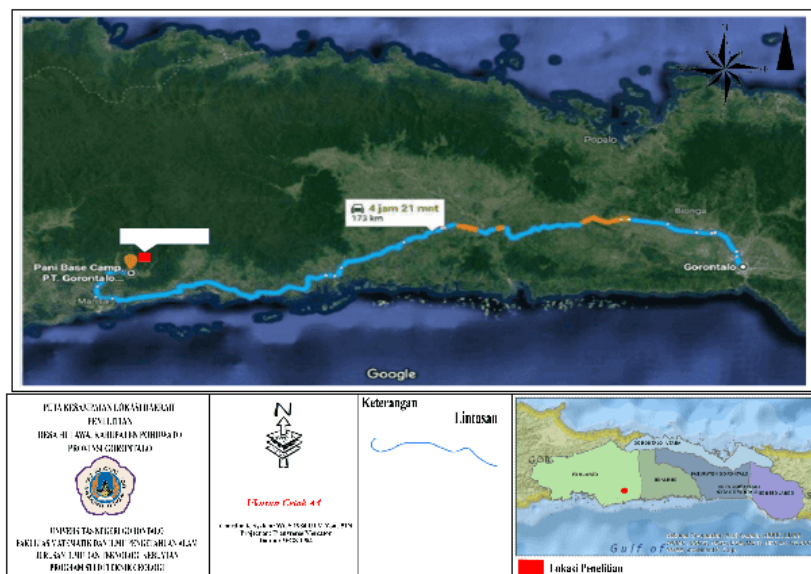
Analisis struktur geologi diawali dengan delineasi kelurusan untuk mengetahui kecenderungan arah struktur regional di daerah penelitian. Data struktur yang meliputi kekar, urat, dan sesar diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan, kemudian dianalisis menggunakan diagram mawar dan proyeksi stereografis dengan bantuan perangkat lunak Dips 7.0 dan WinTensor. Analisis tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi orientasi dominan struktur, arah tegasan utama, pola deformasi, serta hubungan kinematika struktur yang berkembang. Hasil interpretasi kemudian dikorelasikan dengan kondisi struktur regional dan pola mineralisasi di daerah penelitian.

Hasil akhir dari dari analisis adalah arah umum struktur dan arah gaya pada rose net dan stereo net, sistem struktur yang berkembang di lokasi penelitian. Klasifikasi atau karakteristik struktur geologi berdasarkan waktu terbentuknya relatif terhadap peristiwa mineralisasi, yaitu sebelum (pre-mineralisasi), bersamaan (syn-mineralisasi), dan setelah (post-mineralisasi).

Berdasarkan Fossen (2010), studi struktur geologi terbagi menjadi tiga jenis analisis utama, yaitu analisis geometrik, kinematik, dan dinamik.

a. Analisis Geometris

Analisis geometrik dilakukan dengan pendekatan deskriptif terhadap elemen-elemen struktur geologi yang teramati di lapangan. Pengamatan terhadap geometri kekar mencakup identifikasi kedudukan bidang kekar, keteraturannya (apakah sistematis atau tidak), tingkat kerapatan, serta arah orientasinya. Sementara itu, pengamatan pada struktur sesar melibatkan pengukuran bidang sesar dan elemen-elemen garis seperti arah umum (*trend*), sudut kemiringan (*plunge*), dan nilai pitch.



Gambar 1. Peta kesampaian lokasi penelitian (google earth, 2024)

b. Analisis Kinematika

Kekar dan sesar dianalisis lebih lanjut melalui pendekatan kinematik dengan memanfaatkan proyeksi stereografis menggunakan perangkat lunak Dips 7.0 dan WinTensor. Data hasil pengukuran kekar diinput ke dalam perangkat lunak tersebut untuk menghasilkan diagram mawar yang digunakan dalam interpretasi arah umum dari sistem kekar. Selain itu, data kekar dimanfaatkan dalam analisis kinematika sesar untuk mengidentifikasi arah gerakan sesar. Arah gerakan ini umumnya mengarah ke sudut lancip dari rekahan gash atau ditentukan berdasarkan posisi tegasan maksimum (σ_1). Penamaan jenis sesar selanjutnya ditentukan dengan mengacu pada klasifikasi Rickard (1972), yaitu dengan menghubungkan antara besarnya sudut kemiringan (dip) bidang sesar dan sudut pitch.

c. Analisis Dinamika

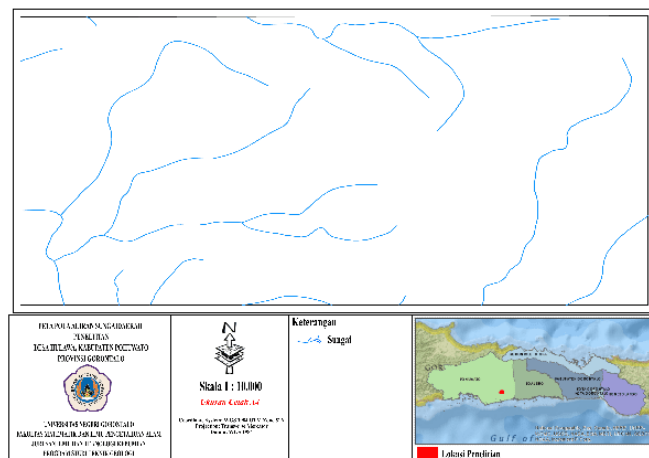
Analisis dinamika dilakukan untuk menginterpretasikan gaya atau tegasan (stress) yang menyebabkan terjadinya deformasi, serta memahami pola tegasan yang berperan dalam pembentukan struktur geologi tersebut. Setelah arah gerakan sesar diketahui melalui analisis kinematika, tahap ini bertujuan untuk menentukan besar dan arah tegasan utama, yaitu σ_1 , σ_2 , dan σ_3 . Nilai σ_1 diperoleh dengan mengukur setengah dari sudut lancip yang dibentuk oleh dua bidang shear fracture, kemudian ditentukan nilai trend dan plunge-nya. Nilai σ_2 ditentukan dari titik perpotongan antara kedua shear fracture, sementara nilai σ_3 dihitung dari sudut 90° terhadap arah σ_1 pada bidang bantu. Hasil dari analisis ini kemudian dikaitkan dengan konsep tektonik regional, dengan memperhatikan data geometri kekar dan sesar untuk menginterpretasikan gaya-gaya tektonik yang mempengaruhi deformasi geologi di wilayah penelitian.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Geomorfologi wilayah penelitian

Analisis geomorfologi yang dilakukan melalui interpretasi pola kontur, pola aliran sungai, dan kemiringan lereng, yang didukung oleh observasi langsung di lapangan. Seluruh data yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis untuk menentukan karakteristik serta penamaan satuan geomorfik mengacu pada klasifikasi Bentuk Muka Bumi (BMB, 2006). Secara umum, daerah penelitian memiliki bentang alam berupa perbukitan hingga pegunungan yang dicirikan oleh variasi pola kontur topografi. Berdasarkan klasifikasi fisiografi regional Gorontalo menurut Menurut Van Bemmelen (1949), Zona Pegunungan Selatan mencakup wilayah penelitian. Wilayah penelitian terletak di ketinggian antara 46 sampai 781 (mdpl), berdasarkan interpretasi dari data Model Elevasi Digital (DEM).

Berdasarkan klasifikasi pola aliran sungai menurut Howard (1966), daerah penelitian memperlihatkan satu tipe pola aliran, yaitu pola aliran sejajar (parallel). Pola aliran ini umumnya berkembang pada wilayah dengan kemiringan lereng sedang hingga curam dan lazim dijumpai pada bentuk lahan berupa perbukitan memanjang. Keberadaan perbukitan memanjang dengan pola aliran paralel tersebut mencerminkan bahwa bentuk lahan di daerah penelitian dikontrol oleh pengaruh struktur geologi.



Gambar 2. Peta pola aliran sungai di daerah penelitian



Gambar 3. Satuan pegunungan blok sesar (a) dan Satuan perbukitan blok sesar (b)

3.1.1 Satuan Pegunungan Blok Sesar

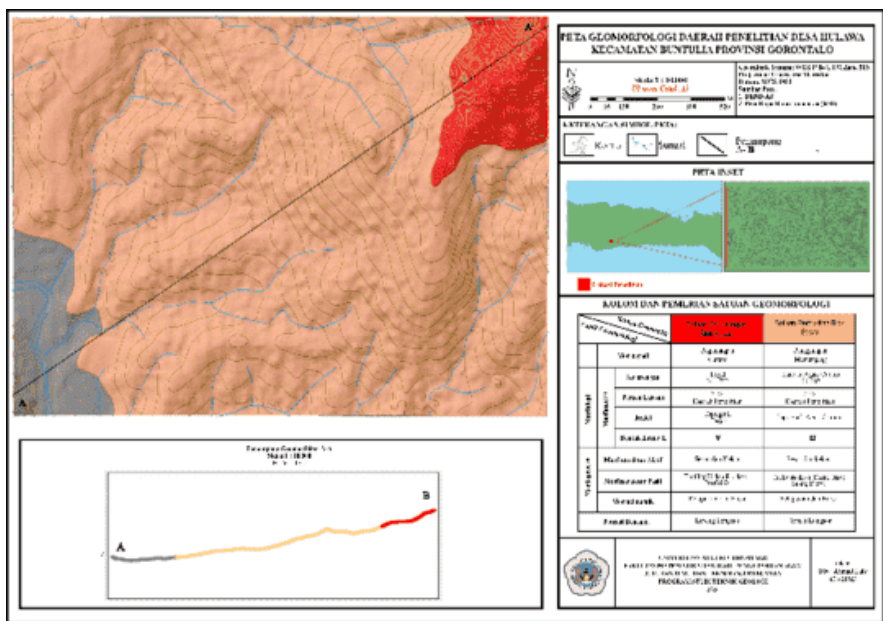
Satuan ini mencakup sekitar seperempat luas daerah penelitian dan dicirikan oleh relief terjal dengan pola kontur rapat. Lereng umumnya berkisar antara 34° – 55° , menunjukkan intensitas topografi yang tinggi. Morfologi perbukitan yang memanjang dan berkembangnya pola kelurusan ke berbagai arah menunjukkan bahwa evolusi bentang alam pada satuan ini dipengaruhi secara kuat oleh kontrol struktur. Orientasi struktur dominan berkembang pada arah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya. Pola tersebut mengindikasikan keterlibatan proses tektonik dalam pembentukan geomorfologi selain pengaruh pelapukan dan erosi. Litologi penyusun utama berupa lapili tuf dan riadasit porfiritik. Proses geomorfik yang aktif pada satuan ini berupa erosi vertikal dan pelapukan intensif yang ditandai dengan berkembangnya lembah berbentuk V (Gambar 3a).

3.1.2 Satuan Perbukitan Blok Sesar

Unit geomorfologi ini, yang mencakup sekitar 75% dari total area wilayah studi, dibedakan oleh pola kontur yang relatif landai hingga agak curam, dengan kemiringan lereng berkisar antara 11° – 19° . Kondisi tersebut mencerminkan relief bergelombang lemah hingga sedang. Berdasarkan aspek morfostruktur aktif, satuan ini dikontrol oleh struktur geologi yang umumnya berorientasi timur laut–barat daya dan barat laut–tenggara. Orientasi struktur tersebut menunjukkan bahwa perkembangan morfologi perbukitan di daerah penelitian tidak hanya dipengaruhi oleh proses eksogen, tetapi juga berkaitan dengan aktivitas deformasi tektonik yang berkembang di wilayah tersebut. Secara morfostruktur pasif, satuan ini tersusun oleh litologi dasit, dasit biotit, diorit, dan breksi riadasit, yang berperan dalam mengontrol bentuk lahan berdasarkan karakter fisik serta tingkat ketahanan batuan terhadap proses pelapukan dan erosi. Ditinjau dari aspek morfodinamik, proses geomorfik yang dominan berupa erosi dan pelapukan dengan tingkat erosi yang relatif muda, yang ditandai oleh perkembangan lembah berbentuk V sebagai indikasi erosi vertikal yang masih aktif. Pola pengaliran sungai yang berkembang pada daerah satuan termasuk pola aliran paralel menurut klasifikasi Howard (1966) (Gambar 3b).



Gambar 4. Kenampakan satuan Dataran Banjir



Gambar 5. Peta geomorfologi di wilayah penelitian

3.1.3 Dataran Banjir

Satuan ini memiliki pola kontur yang renggang dengan kemiringan lereng 0°-3° (Datar). Relief pada satuan ini yakni dataran. Proses eksogen yang mempengaruhi satuan ini yaitu berupa erosi dan pelapukan (Gambar 4).

3.2 Stratigrafi daerah penelitian

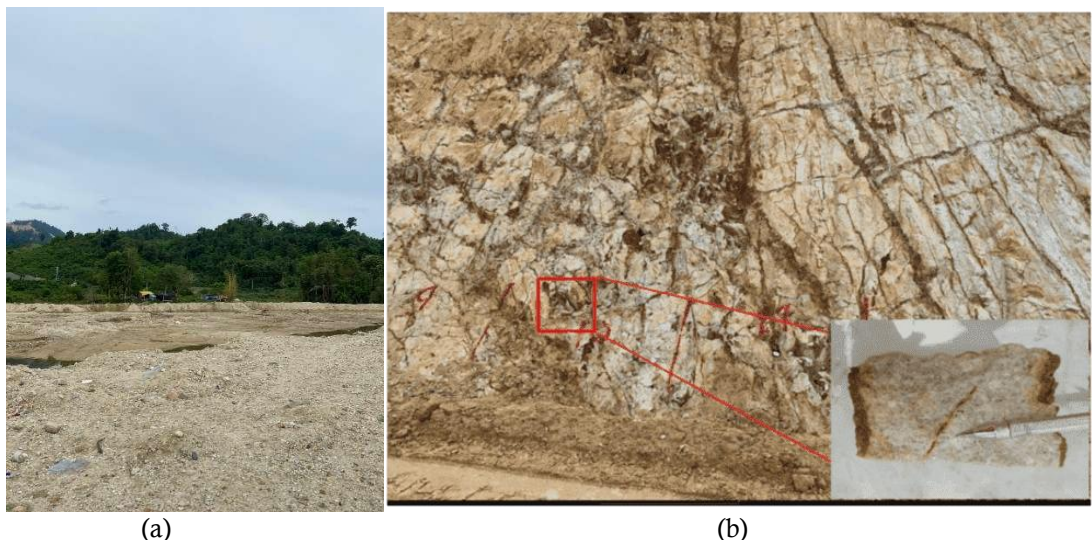
Pada studi daerah penelitian, seluruh litologi yang teridentifikasi telah mengalami berbagai proses geologi, antara lain alterasi, mineralisasi, oksidasi, serta pelapukan fisik dan kimia, dengan intensitas yang bervariasi dari lemah hingga kuat. Kondisi tersebut mengakibatkan mineral primer pada batuan menjadi sulit dikenali secara jelas. Meskipun demikian, selain mengacu pada penelitian terdahulu oleh Kavaleries (1984), penelitian ini juga menggunakan pendekatan tambahan berdasarkan parameter observasi lapangan, khususnya yang berkaitan dengan tekstur batuan dan komposisi mineral yang masih dapat teridentifikasi, guna mendukung penentuan jenis litologi secara lebih akurat. Selain itu, penentuan jenis litologi secara makroskopis dilakukan dengan mengacu pada klasifikasi Fenton (1940) dan Schmidt (1981), yang digunakan sebagai dasar dalam mengidentifikasi batuan berdasarkan ciri fisik yang terlihat di lapangan.

Berdasarkan uraian sebelumnya serta hasil integrasi antara kegiatan lapangan dan analisis laboratorium, daerah penelitian dapat dikelompokkan ke dalam enam satuan litostratigrafi tidak resmi. Pembagian satuan tersebut didasarkan pada karakteristik litologi masing-masing batuan, dan disusun secara kronologis dari satuan termuda hingga satuan tertua.

1. Aluvial
2. Tuff Lapili
3. Riodasit porfiritik
4. Breksi Riodasit
5. Dasit Biotit
6. Dasit
7. Diorit

3.2.1 Satuan Endapan Aluvial

Satuan endapan aluvial di daerah penelitian terdiri dari material lepas yang berukuran pasir hingga kerakal, tingkat kebulunan dari material ini berkisar dari sub rounded-rouned. Material ini tersebar hanya sebatas pada aliran sungai, dan menempati luas sekitar 6% dari total luas penelitian (Gambar 6a)



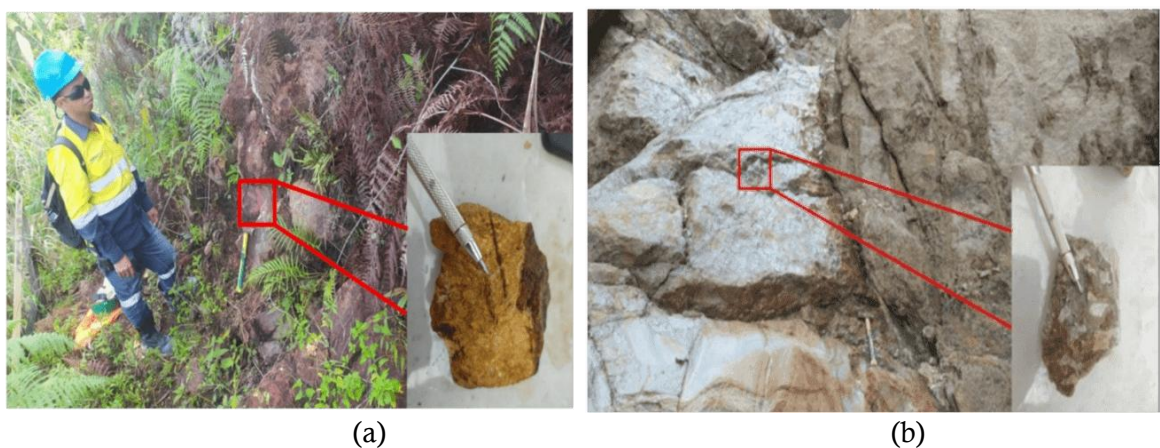
Gambar 6. Satuan Aluvial (a), Singkapan satuan tuff lapilli (b)

3.2.2 Satuan Tuff Lapili

Unit ini tersebar di bagian timur laut wilayah penelitian dan mencakup sekitar $4\pm\%$ dari total area penelitian. Berdasarkan hasil observasi lapangan, litologi penyusun satuan ini diinterpretasikan sebagai Tuff Lapili. Secara megaskopis, batuan memperlihatkan warna abu-abu keputihan hingga coklat keputihan, dengan struktur yang umumnya masif dan distribusi material vulkanik yang relatif merata. Tingkat pelapukan batuan tergolong sedang, dengan ukuran butir berkisar antara 1–4 mm yang termasuk dalam kategori tuf kasar. Tekstur batuan menunjukkan karakter fragmen-supported, dengan bentuk fragmen membundar tanggung hingga menyudut tanggung, serta tuf berperan sebagai massa dasar. Selain itu, tingkat alterasi pada satuan ini tergolong sedang hingga kuat sehingga beberapa komponen primer telah mengalami perubahan (Gambar 6b).

3.2.3 Satuan Riodasit Porfiritik

Unit ini tersebar di bagian timur wilayah penelitian dan mencakup sekitar $5\pm\%$ dari total luas wilayah penelitian. Secara umum, singkapan batuan pada satuan ini memperlihatkan perkembangan struktur kekar yang cukup intensif, dengan tingkat alterasi berkisar dari sedang hingga kuat. Selain itu, batuan juga menunjukkan tingkat oksidasi lemah hingga sedang. Secara kenampakan dilapangan, litologi riodasit porfiritik berwarna abu-abu terang dengan tekstur porfiritik dan hubungan ukuran butir inequigranular. Bentuk kristal yang teramati berkisar dari subhedral hingga anhedral. Fenokris penyusun batuan terdiri atas kuarsa dan plagioklas, di mana sebagian mineral plagioklas telah mengalami alterasi menjadi mineral lempung akibat proses ubahan hidrotermal (Gambar 7a).



Gambar 7. Singkapan satuan batuan riodasit porfiritik (a), dan Singkapan satuan breksi riodasit (b)

3.2.4 Satuan Breksi Riodasit

Unit ini tersebar di bagian timur wilayah penelitian dan mencakup sekitar $5\pm\%$ dari seluruh area studi penelitian. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, litologi penyusun satuan ini diidentifikasi sebagai breksi riodasit. batuan berwarna abu-abu kecoklatan dan memperlihatkan struktur breksi yang jelas. Fragmen penyusunnya bersifat monomik, yaitu fragmen riodasit, dengan tekstur matrix-supported. Tingkat pemilahan fragmen tergolong buruk, dengan bentuk butir berkisar dari membundar tanggung hingga menyudut tanggung (Gambar 7b).

3.2.5 Satuan Dasit Biotit

Satuan Dasit Biotit pada daerah penelitian mencakup sekitar $10\pm\%$ dari total luas wilayah penelitian Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, litologi penyusun satuan ini diidentifikasi sebagai dasit. Litologi Dasit Biotit berwarna abu-abu, struktur batuan masif dengan tekstur porfiritik. Kristal yang berkembang umumnya berbentuk subhedral hingga anhedral dengan hubungan antarbutir inequigranular. Ukuran kristal berkisar dari halus hingga sedang, mineral yang dominan penyusun utama batuan berupa kuarsa, plagioklas, dan biotit (Gambar 8a).

3.2.6 Satuan Dasit

Satuan Dasit pada daerah penelitian mencakup sekitar $64\pm\%$ dari seluruh luas wilayah wilayah penelitian. Berdasarkan hasil observasi di lapangan, litologi penyusun satuan ini diidentifikasi sebagai dasit dengan kenampakan megaskopis berwarna putih kecoklatan dan memiliki struktur masif. Secara megaskopis, batuan menunjukkan derajat kristalisasi holokristalin dengan tekstur porfiritik. Kristal yang berkembang umumnya berbentuk subhedral hingga euhedral, inequigranular. Mineral yang dominan menyusun batuan terdiri atas kuarsa, plagioklas, dan sedikit mineral mafik (Gambar 8b).



Gambar 8. Kenampakan singkapan satuan dasit biotit (a) dan Kenampakan satuan ingkapan satuan dasit (b)



Gambar 9. Kenampakan singkapan satuan diorit (a) dan Peta Geologi daerah penelitian (b)

3.2.7 Satuan Diorit

Satuan Diorit pada daerah penelitian diinterpretasikan sebagai bagian dari Formasi Granodiorit Bumbulan dan mencakup sekitar 6% dari total luas wilayah penelitian. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, litologi penyusun satuan ini diidentifikasi sebagai diorit berdasarkan hasil observasi di lapangan satuan diorit berwarna abu-abu dan memiliki struktur masif. Batuan menunjukkan tekstur faneritik halus dengan hubungan antarbutir equigranular. Bentuk kristal yang berkembang umumnya berkisar dari subhedral hingga anhedral. Komposisi mineral penyusun batuan didominasi oleh feldspar dan biotit (Gambar 9a).

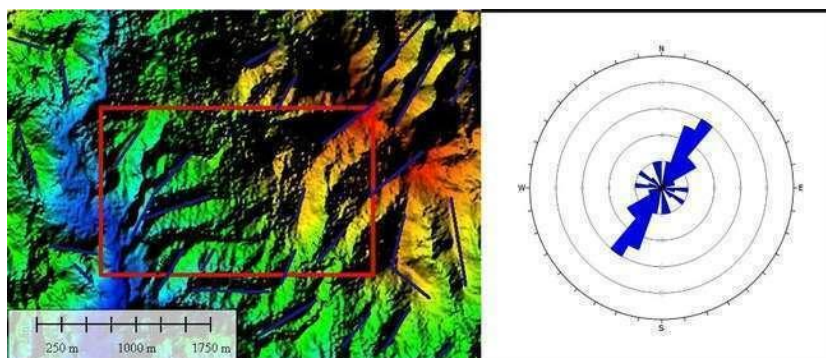
3.3 Struktur Geologi wilayah penelitian

3.3.1 Analisis Pola Kelurusan

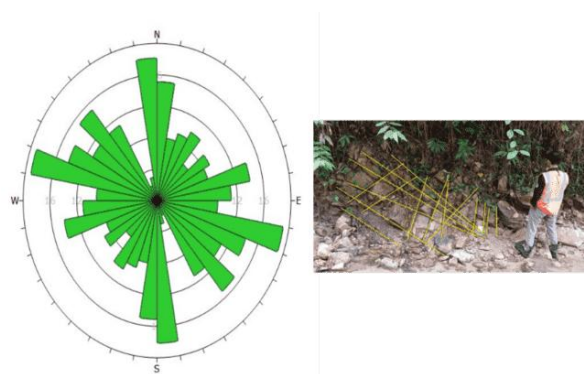
Arah umum pola kelurusan yang teridentifikasi kemudian diukur untuk memperoleh data kelurusan, yang kemudian dianalisis menggunakan diagram mawar untuk menentukan kecenderungan orientasi dominan. Pola kelurusan yang dihasilkan umumnya sesuai dengan arah struktur geologi yang ditemukan di area studi penelitian. Temuan analisis menunjukkan bahwa struktur geologi di wilayah penelitian umumnya berorientasi timur laut–barat daya (Gambar 10).

3.3.2 Kekar

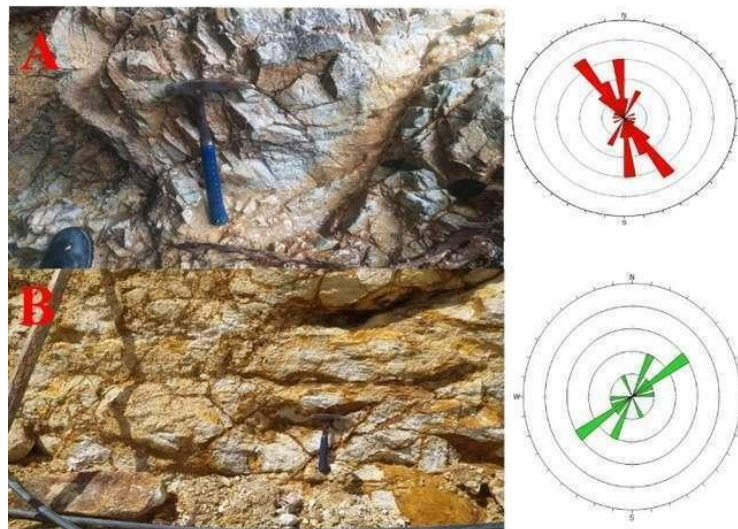
Data hasil pengukuran kekar dari seluruh lokasi penelitian dikompilasi dan disajikan dalam bentuk diagram mawar (*rose diagram*) untuk mengidentifikasi pola orientasi serta arah dilatasi yang berkembang di daerah penelitian. Berdasarkan hasil analisis diagram mawar, teridentifikasi tiga pola utama, timur laut–barat daya, barat laut–timur tenggara dan utara–selatan. Selain itu, hasil pengukuran struktur di beberapa lokasi juga menunjukkan adanya hubungan saling memotong (*cross-cutting relationship*) antar kekar. Meskipun penentuan urutan pembentukan kekar relatif sulit dilakukan, terutama akibat pengaruh rotasi Lengan Utara Sulawesi, secara umum dapat diinterpretasikan bahwa kekar berarah utara–selatan merupakan struktur yang terbentuk paling akhir. Hal ini didasarkan pada hubungan pemotongan, dimana pola tersebut memotong pola-pola kekar yang telah terbentuk sebelumnya (Gambar 11).



Gambar 10. Peta pola kelurusan daerah penelitian



Gambar 11. Kenampakan kekar dilapangan



Gambar 12. Kenampakan urat dilokasi penelitian

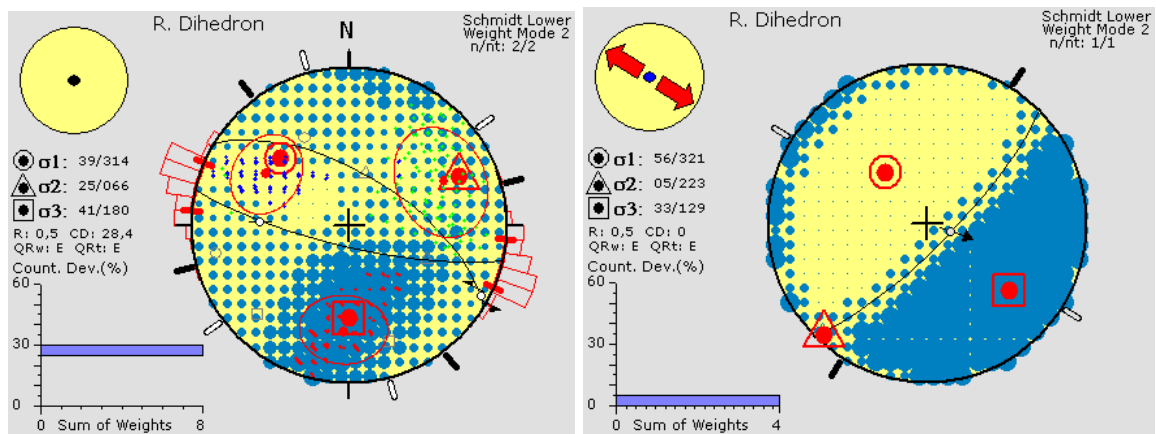
3.3.3 Urat

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, teridentifikasi adanya dua pola urat yang berkembang pada lokasi penelitian. Pola pertama dijumpai di bagian timur laut daerah penelitian, khususnya pada vein Baganite, yang menunjukkan orientasi timur laut–barat daya dengan komposisi mineral berupa urat kuarsa yang telah mengalami oksidasi. Sementara itu, pola kedua ditemukan di bagian barat daya daerah penelitian, tepatnya pada *vein Magazine*, yang memiliki orientasi barat laut–tenggara. Urat pada lokasi ini berkembang dengan tipe *stockwork*, dengan komposisi mineral utama berupa pirit dan kalkopirit. Perbedaan orientasi kedua pola urat tersebut menunjukkan adanya dua sistem struktur yang saling berasosiasi, yang kemungkinan membentuk pasangan rekahan konjugasi (*conjugate fractures*). Orientasi arah timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara diartikan sebagai struktur yang terbentuk pada fase pra hingga sin-mineralisasi (*pre-syn mineralization*), yang berperan dalam mengontrol jalur fluida hidrotermal serta proses pengendapan mineral di daerah penelitian.

3.3.4 Sesar

Sesar-sesar yang terbentuk di wilayah penelitian memiliki arah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya sesar turun sesar oblique dan juga mendatar. Berdasarkan peta struktur regional, daerah penelitian yang berada dalam zona yang dipengaruhi oleh sistem sesar utama seperti Gorontalo *Fault* serta jaringan sesar minor dengan berbagai orientasi. Posisi ini menunjukkan bahwa daerah penelitian terletak pada zona deformasi yang kompleks, dimana interaksi antara struktur regional dan lokal berperan dalam membentuk pola rekahan yang intensif. Keberadaan sesar-sesar dengan orientasi yang beragam di sekitar daerah penelitian mengindikasikan adanya kondisi tektonik yang memungkinkan terbentuknya zona-zona dilatasi, seperti perpotongan sesar (*fault intersection/conjugate*) dan zona pembelokan (*fault bend*). Merujuk pada model kontrol struktural mineralisasi yang diusulkan oleh Corbett dan Leach (1997), zona-zona dilatasi tersebut merupakan lokasi yang sangat prospektif sebagai jalur migrasi dan akumulasi fluida hidrotermal.

Dengan demikian, posisi daerah penelitian yang berada pada zona perpotongan dan interaksi struktur ini menunjukkan bahwa mineralisasi di daerah Hulawa kemungkinan besar dikontrol oleh struktur geologi yang berkembang. Struktur regional berperan sebagai jalur utama (*primary conduit*) bagi fluida hidrotermal dari kedalaman, sedangkan struktur lokal seperti rekahan dan sesar minor berfungsi sebagai jalur sekunder yang mengontrol distribusi mineralisasi secara lebih detail di tingkat lokal. Berdasarkan konsep struktur mayor yang telah dijelaskan oleh Corbett dan Leach (1997), kelompok struktur dengan orientasi barat–timur diinterpretasikan sebagai struktur akresi (*arc-parallel*) yang terbentuk sejajar dengan arah busur subduksi. Sementara itu, kelompok struktur dengan orientasi barat laut–tenggara dan timur laut–barat daya ditafsirkan sebagai bagian dari sistem rekahan konjugasi.



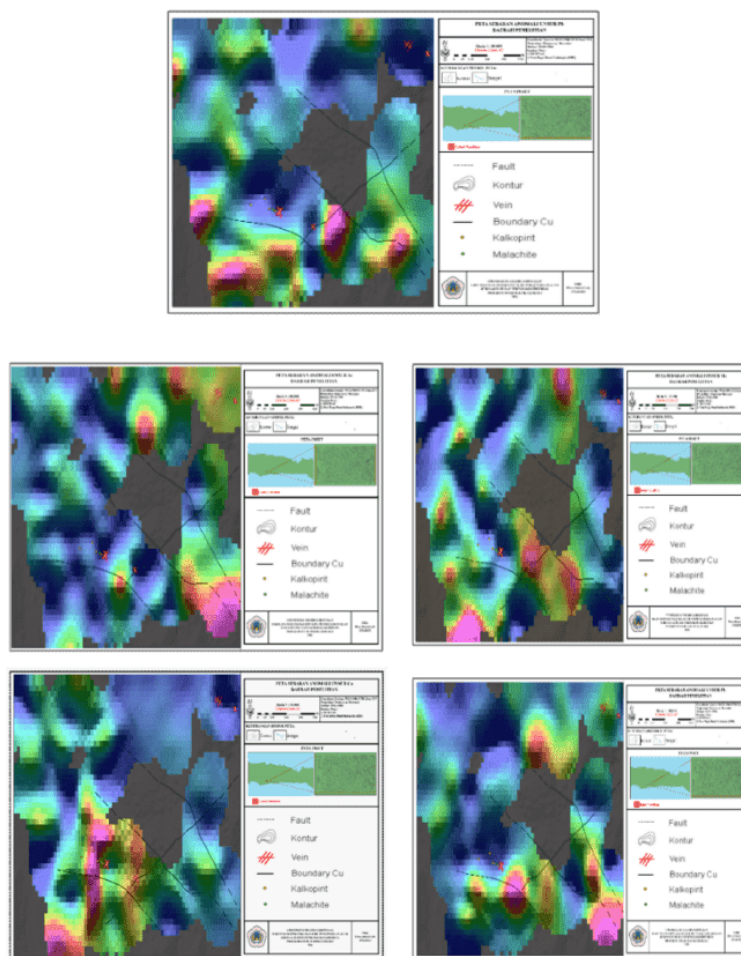
(a) (b)
Gambar 13. Hasil pengolahan sesar orde 1 menggunakan software WinTensor (a) dan Hasil pengolahan sesar orde 2 (b)

Seluruh sesar yang teridentifikasi kemudian diklasifikasikan berdasarkan kesamaan fase dan orde struktur, yang ditentukan melalui hubungan potong-memotong antar sesar serta arah tegasan yang bekerja. Sebanyak empat sesar yang ditemukan pada daerah penelitian. Selanjutnya dianalisis menggunakan stereonet sesar dengan bantuan perangkat lunak WinTensor. Hasil analisis menunjukkan bahwa arah *principal maximum stress* (tegasan utama/orde 1) di daerah penelitian berorientasi barat laut–tenggara, dengan arah dilatasi berkembang pada orientasi timur laut–barat daya. Berdasarkan analisis kinematika masing-masing sesar, diketahui bahwa sesar turun dekstral pada STA DL92 serta sesar turun sinistral pada salah satu stasiun pengamatan memiliki karakter kinematika yang berbeda dibandingkan sesar lainnya. Oleh karena itu, sesar tersebut diklasifikasikan sebagai sesar orde 2, yang ditunjukkan oleh pola orientasi tegasan yang berbeda (Gambar 13).

3.3.5 Distribusi pola unsur di lokasi penelitian

Berdasarkan hasil interpolasi data geokimia XRF menggunakan metode IDW, diperoleh pola distribusi anomali unsur As, Cu, Mo, Pb, dan Zn yang kemudian dikombinasikan dengan data struktur geologi berupa sesar, rekahan, dan vein. Integrasi ini dilakukan untuk menentukan pengaruh struktur geologi terhadap distribusi unsur-unsur di wilayah penelitian. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa unsur As, Cu, dan Mo memiliki hubungan yang cukup kuat dengan pola struktur geologi. Zona anomali ketiga unsur tersebut cenderung berkembang mengikuti arah sesar dan rekahan, terutama pada bagian tengah hingga selatan daerah penelitian. Sebaran ini juga berasosiasi dengan kemunculan vein, kalkopirit, dan malakit, yang mengindikasikan bahwa struktur geologi berperan sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal pembawa mineralisasi. Unsur Cu memperlihatkan hubungan struktur yang paling jelas, dengan pola anomali memanjang mengikuti arah struktur utama. Unsur Mo menunjukkan pola yang relatif serupa dengan Cu, meskipun penyebarannya lebih terbatas.

Sementara itu, unsur As berkembang di sekitar zona rekahan dan vein sehingga diinterpretasikan masih dikontrol oleh struktur geologi. Berbeda dengan unsur sebelumnya, distribusi Pb dan Zn menunjukkan pola yang lebih menyebar dan tidak sepenuhnya mengikuti arah struktur utama. Meskipun beberapa zona anomali berkembang di sekitar sesar dan rekahan, pengaruh struktur terhadap kedua unsur tersebut relatif lebih lemah dan kemungkinan turut dipengaruhi oleh faktor lain seperti litologi dan proses alterasi. Secara keseluruhan, struktur geologi pada daerah penelitian berperan penting dalam mengontrol distribusi unsur, terutama Cu, As, dan Mo, yang memperlihatkan hubungan spasial kuat terhadap zona sesar dan rekahan sebagai jalur mineralisasi hidrotermal (Gambar 14).



Gambar 14. Peta interpolasi 5 unsur di daerah penelitian

4. Kesimpulan

Daerah penelitian terdiri dari unit geomorfologi pegunungan dan perbukitan blok sesar dengan litologi utama Tuff Lapilli, Riodasit, Breksi Riodasit, Dacit, dan Diorit. Struktur geologi yang berkembang berupa rekahan, urat, dan sesar dengan variasi pergerakan dominan geser, normal, dan miring.

Perkembangan struktur dikontrol oleh tegasan utama berarah barat laut–tenggara (NW–SE) yang membentuk sistem rekahan konjugasi NW–SE dan NE–SW. Sistem ini berperan sebagai jalur utama fluida hidrotermal dan pengontrol mineralisasi. Mineralisasi dicirikan oleh dua orientasi urat utama, yaitu kuarsa teroksidasi (NE–SW) dan urat sulfida (NW–SE), yang merepresentasikan sistem rekahan konjugasi pada fase pre–syn mineralisasi.

5. REFERENSI

- Arini, Ivy Nur. 2018. *Kontrol Geologi Terhadap Mineralisasi Emas Sistem Epitermal Prospek 'Altin', Provinsi Gorontalo, Indonesia*. Universitas Gadjah Mada.
- Panai, A.A.H., Permana, A.P., & Kasim, M. (2024). Karakteristik Mineralisasi Endapan Epitermal Di Desa Hulawa, Kecamatan Buntulia, Kabupaten Pohuwato. *Geosfera (Jurnal Penelitian Geografi)*, 3(2), 58-65. <https://doi.org/10.37905/geojg.v3i2.28274>.
- Bemmelen, R. W., van. 1949. *The Geology of Indonesia, Vol. I-A*, Gov. Printed Office, The Hague, 732 p.
- Bachri, S., Sukindo, dan Ratman N. 1993. *Geologi Lembar Tilamuta, Sulawesi skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung

- Bachri, S. 2011. *Structural Pattern and Stress System Evolution During Neogene Pleistocene Times in The Central Part of the North Arm of Sulawesi*. Centre for Geological Survey. Bandung.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Pohuwato. 2018. *Kabupaten Pohuwato Dalam Angka 2018*. Kabupaten Gorontalo
- Carlile, J. C. & A. H. G. Mitchell, 1994, *Magmatic arcs and associated gold and copper mineralization in Indonesia*: Journal of Geochemical Exploration 30, Elsevier, Netherland, h.91-142
- Corbett, G.J. 2009. "Anatomy of porphyry-related Au-Cu-Ag-Mo Mineralised systems: Some Exploration implications" Northern Queensland Exploration and Mining 2009 Extended Abstracts
- Corbett, G.J. 2012. "Structural Controls to, and exploration for, epithermal Au-Ag deposits". Australian Institute of Geoscientist Bulletin 56
- Corbett, G. J., 2017, *Epithermal Gold-Silver and Porphyry Copper-Gold Exploration-Short Course Manual*: tidak diterbitkan.
- Fossen, H. (2010). *Structural Geology*. Cambridge University Press
- Guilbert, G.M., & Park, C. F., 1986. *The Geology of Ore Deposits*. W.H Freeman and Company, New York
- Hedenquist, J.W., White N.C. 1995. *Epithermal Gold Deposits: Style, Characteristic and Exploration*. Society of Economic Geology. USA
- Hinschberger, F. J., A. Malod. P. Rehault, M. Villeneuve, Y. Royer, & S. Burhanuddin. 2005. *Late Cenozoic Geodynamic Evolution of Eastern Indonesia*. Tectonophysics 404:91-118
- Hall, R., Wilson, M.E.J., 2000. *Neogene Sutures in Eastern Indonesia*. J. Asian Earth Sci. 18:787-814
- Idrus, A., Sufriadin & I. Nur, 2011, Hydrothermal Ore Mineralization in Sulawesi: A View Point of Tectonic Setting and Metallogenesis: Proceeding JCM Makassar 2011, 12h
- Kavalieris, I., 1984, *The Geology and Geochemistry of The Gunung Pani Gold Prospect, North East Sulawesi, Indonesia*. Australian National University
- Kavalieris, I., Van Leeuwen, Th, M., Wilson, M., 1992. *Geological Setting and styles of mineralization, North Arm Sulawesi, Indonesia*. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 7, 2/3 Hal. 113-129
- Maulana A., 2017. *Endapan Mineral*. Penerbit Ombak. Yogyakarta
- Muhtar, M., Permana, A.P, Kasim, M., & Sosang, A. (2025). Analisis Geologi Daerah Gunung Pani, Kecamatan Buntulia, Kabupaten Pohuwato, Provinsi Gorontalo. *Journal of Applied Geoscience and Engineering*, 3(2), 62-70. doi:<https://doi.org/10.37905/jage.v3i2.30307>
- Permana, A. P., Eraku, S. S., Nurfaika, Hutagalung, R., Suaib, A., Ahmad, F. A., & Wangi, A. V. (2025a). Limestone potential on the Bone Bolango coast as a groundwater reservoir based on porosity quality analysis. *Environment and Ecology Research*, 13(1), 77-87. <https://doi.org/10.13189/eer.2025.130107>
- Permana, A.P., Baderan, D.W.K., Hutagalung, R., & Ahmad, F.A., (2025b). Tectonic Geohistory of the Gorontalo Region Based in Foraminifera Fossil. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 3(471), 207–219. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-170X.471>
- Permana, A.P., Mansyur, J., Nadjamuddin, L., Rore, I., Widyastuti, W., Tadeko, N., Zaky, M., Hatta, I., Kasim, A.A., Asrafil, A., & Din, M. (2025c). Characteristics of Rocks Based on Petrographic and Geochemical Analysis: A Study in the 'Land of a Thousand Megaliths', Indonesia. *Geojournal of Tourism and Geosites*, 61(3), 1980–1989. <https://doi.org/10.30892/gtg.61355-1565>

-
- Permana A.P, Kasim M., Hutagalung R., Uno D.A.N., & Sandi I.N. (2026). Petrographic, Provenance, and Tectonic Setting of Dolokapa Formation Sandstone, North Gorontalo. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2(476), 319–334. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-170X.631>
- Schmidt, R., 1981, the Descriptive Classification and Nomenclature of Pyroclastics Deposits and Fragments
- Rickard, W.H., 1972, *Physical modelling of structural*, pp. RH-I -RH-9 In Federal Research Natural Areas in Oregon and Washington
- Van Leewuen, T. M. Dan Muhardjo, 2005, *Stratigraphy and Tectonic Setting of The Cretaceous and Paleogene Volcanic-Sedimentary Successions in Northwest Sulawesi, Indonesia: Implications for The Cenozoic Evolution of Western and Northern Sulawesi*. *Journal of Asian Earth Sciences*. 25:481 - 511